



СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

4(50) ' 2018

Заснований
у 2007 році

Наукове періодичне видання,
в якому відображені результати
наукових досліджень з розробки та
удосконалення систем управління,
навігації та зв'язку у різних
проблемних галузях.

Засновник:

Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка

Адреса редакційної колегії:

Україна, 36011, м. Полтава,
Першотравневий проспект, 24

Телефон: +38 (066) 706-18-30
(консультації, прийом статей).

E-mail:

kozelnkova@ukr.net

Інформаційний сайт:

<http://www.pntu.edu.ua>

Реферативна інформація

зберігається: у загальнодержавній
реферативній базі даних
„Україніка наукова” та публікується
у відповідних тематичних серіях
УРЖ „Джерело”.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Голова:

КОЗЕЛКОВ Сергій Вікторович (д-р техн. наук, проф., Україна)

Заступники голови:

ШЕФЕР Олександр Віталійович (канд. техн. наук, доц., Україна)

ШУЛЬГА Олександр Васильович (д-р техн. наук, доц., Україна)

Члени:

БЛАУНШТЕЙН Натан Олександрович (д-р техн. наук, проф., Ізраїль)

ВЕСОЛОВСЬКИЙ Кшиштоф (д-р техн. наук, проф., Польща)

ІЛЬІН Олег Юрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КОРОБКО Богдан Олегович (д-р техн. наук, доц., Україна)

КОШОВИЙ Микола Дмитрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЛАДАНЮК Анатолій Петрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЛУНТОВСЬКИЙ Андрій Олегович (д-р техн. наук, проф., Німеччина)

МАШКОВ Віктор Альбертович (д-р техн. наук, проф. Чехія)

МАШКОВ Олег Альбертович (д-р техн. наук, проф., Україна)

МОРГУН Олександр Андрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ПОПОВ Валентин Іванович (д-р фіз.мат. наук, проф., Латвія)

СТАНКУНАС Йонас (д-р техн. наук, проф., Литва)

СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ФРОЛОВ Євгеній Андрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ХОРОШКО Володимир Олександрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЧОРНИЙ Олександр Петрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ШЛОМЧАК Георгій Григорович (д-р техн. наук, проф., Україна)

Відповідальний секретар:

КОЗЕЛКОВА Катерина Сергіївна (д-р техн. наук, проф., Україна)

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор

Журнал індексується міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних: Index Copernicus (Польща), General Impact Factor (ЄС), Google Scholar (США), Academic Resource Index (ЄС), Scientific Indexed Service (США).

Затверджений до друку вченою радою Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (протокол № 1 від 12 вересня 2018 року)

Занесений до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук" (технічні науки) строком на п'ять років (від дати включення наказом Міністерства освіти і науки України) від 24.10.2017 № 1413 (додаток 7, п. 31)

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

З М І С Т

НАВИГАЦІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

<i>Барсов В. И., Плахотный А. В.</i> Определение расстояния до объекта и его геометрических параметров для навигации робота	3
<i>Ивашко А. В., Зуев А. А.</i> Разработка методов удаления дефектов на изображениях энергообъектов, полученных в процессе дистанционного мониторинга с помощью БПЛА	8

КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО ТА ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Гришманов Д. С., Несмьян О. Ю., Барилюк Ф. А., Толкаченко С. А.</i> Аналіз форм представлення інформації про моделі діяльності чергової зміни районного диспетчерського центру	13
<i>Павленко М. А., Шило С. Г., Дмитрієв О. М.</i> Модель функціональної діяльності оператора автоматизованої системи управління повітряним рухом	17
<i>Ситник Ю. Б., Стадник В. В.</i> Формування інформаційного поля в кабіні бойового літака в умовах застосування потужних вибухів	22

ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Boriak V.</i> Relationships between filter-extrapolator parameters and quality of filtration and forecast	27
<i>Волосюк В. К., Жила С. С., Помазан А. И.</i> Синтез когерентных изображений поверхностей пространственно-распределенными многоканальными системами в зоне Фраунгофера	33
<i>Запаловський М. Й., Скородєлов В. В., Мезенцев М. В.</i> Синтез управління для оптимізації динамічних процесів електроприводу змінного струму	38
<i>Кириченко Ю. В., Карлов В. Д., Кириченко И. Ю., Артеменко А. Н.</i> Плазменная антенна на основе стратифицированного плазменного столба	42

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

<i>Горбачов П. Ф., Макарічев О. В., Немна Т. В., Свічинський С. В.</i> Експериментальне дослідження прибутковості міжнародних автомобільних перевезень вантажів за разовими заявками	50
--	----

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

<i>Ахизер Е. Б., Дунаевская О. И., Сердюк И. В., Стрельникова А. Ю., Гармаш Д. В.</i> Методы решения многоиндексных транспортных задач высокой размерности	57
<i>Гадецька С. В., Гороховатський В. О.</i> Застосування статистичних мір релевантності для векторних структурних описів об'єктів у задачі класифікації зображень	62
<i>Дєдов О. П.</i> Визначення впливу середовища на динаміку машини на основі спектрального аналізу	69
<i>Дьяченко О. С.</i> Теоретичні дослідження просторових коливань віброустановки з пневматичними вібробудувачами коливань	73
<i>Самохвалов Ю. Я., Бурба О. И.</i> Оценка эффективности научных и научно-технических проектов на основе обобщенной функции Харрингтона	77
<i>Чала О. В.</i> Метод ієрархічного виведення в базі знань інформаційно-управляючої системи в парадигмі «Enterprise 2.0»	86
<i>Шуклін Г. В., Барабаши О. В.</i> Математичне моделювання керування процесами інформаційної безпеки в системі державного регулювання кібернетичною безпекою фондового ринку	91

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Alyoshin S., Borodina E., Kikot A., Zabran I.</i> Python programming features and new possibilities	95
<i>Бульба С. С., Давидов В. В., Кучук Г. А.</i> Метод розподілу ресурсів між композитними застосунками	99
<i>Ichanska N., Gritsenko A., Shefer V.</i> Development of software service for sale of vehicles	105
<i>Кальченко В. В.</i> Огляд методів проведення тестування на проникнення для оцінки захищеності комп'ютерних систем	109
<i>Коваленко О. В.</i> Розробка інформаційної технології передтестової компіляції та розподілу доступу	115
<i>Мелешко С. В.</i> Проблеми сучасних рекомендаційних систем та методи їх рішення	120
<i>Мерлак В. Ю., Зиков І. С., Молчанов Г. І.</i> Ситуаційно-орієнтований підхід при проектуванні віджетів	125
<i>Москаленко А. О., Сокол Г. В., Рвачова Н. В., Глуховець Ю. В., Варич В. В., Буряк Т. В.</i> Інформаційно-довідкова система сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки засобами C++/QT	129
<i>Нгуєн А.В., Сидоров Я. Е.</i> Рекуррентная нейронная сеть для обработки больших текстовых данных	135
<i>Певнев В. Я., Фролов А. В., Фролов В. В.</i> Результаты исследований генераторов псевдослучайных последовательностей с динамичными параметрами	139
<i>Рысований А. Н.</i> Метод генерирования нелинейной псевдослучайной последовательности без использования обратных связей	144
<i>Улічев О. С.</i> Дослідження моделей розповсюдження інформації та інформаційних впливів в соціальних мережах	147
<i>Хох В. Д.</i> Розробка скриптової мови запису правил в експертній системі на основі нечіткої логіки	152

ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

<i>Глива В. А., Левченко Л. О., Тихенко О. М.</i> Методи визначення концентрацій аероіонів у приміщеннях та моделювання їх змін	157
<i>Макогон О. А., Акінішин О. Г., Щокін В. М., Пономаренко А. П., Кумпан О. О., Шпінда Є. М.</i> Застосування методів перевірки статичних гіпотез для підвищення ефективності засобів пожежогасіння зразка ОБТ	161
<i>Тютюник В. В., Калугін В. Д., Писклакова О. О.</i> Основоположні принципи створення у єдиній державній системі цивільного захисту інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків надзвичайних ситуацій	168

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	178
----------------------------------	-----

В. И. Барсов, А. В. Плахотный

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ДО ОБЪЕКТА И ЕГО ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ НАВИГАЦИИ РОБОТА

Предметом исследования в данной статье является процесс определения расстояния до препятствия и его геометрических размеров, необходимых для выбора оптимального маршрута мобильного робота, позволяющего обходить препятствие в автоматическом режиме. **Цель** – разработать процедуру и реализующий ее алгоритм определения расстояния до препятствия и его геометрических размеров на основе использования одного источника лазерного излучения. **Задача:** на основе анализа известных подходов к определению расстояния до препятствия и определению его геометрических размеров разработать процедуру и реализующий ее алгоритм, позволяющий определять расстояние до препятствия и его геометрические размеры, с использованием одного источника лазерного излучения. Используемыми **подходами** являются: определение расстояния до препятствия при помощи лазерных дальномеров; определение геометрических размеров и форм препятствий на основе использования систем технического зрения; определение расстояния до препятствия на основе применения метода триангуляции. Получены следующие **результаты:** предложен подход, позволяющий с использованием только одного источника лазерного излучения и веб-камеры определять не только расстояние до препятствия, но и его геометрические размеры, который в отличие от известных, методов основанных на применении систем технического зрения не использует «маяк» (объект с заведомо известными размерами) и системы стереозрения. **Выводы.** Предложенный в работе подход позволяет определить расстояние до препятствия с точностью в 97,4%, геометрические размеры с точностью 91%. Рассмотренная процедура и реализующий ее алгоритм в дальнейшем могут быть использованы в системах навигации мобильных роботов.

Ключевые слова: система технического зрения, мобильный робот, лазерный дальномер, препятствие, навигация.

Введение

Одной из не полностью решенных задач робототехники остается задача навигации мобильного робота в пространстве, т.е. анализ ситуации и выбор оптимального маршрута в обход препятствий в автоматическом режиме. Если возникает необходимость навигации мобильного робота внутри помещений произвольной конфигурации, в которых могут находиться объекты с неизвестными габаритами и формами, появляются задачи [1-4]: определения расстояния до объекта, определение линейных размеров объекта, определение углового положения мобильного робота и т.д. Данные задачи можно решить при помощи систем технического зрения. Однако такой подход не всегда является оптимальным и не всегда позволяет получить всеобъемлющие решения данных задач.

Для построения оптимального маршрута движения мобильного робота в помещении необходимо знать расстояния до препятствий, а также их геометрические размеры, что и является **целью статьи**.

Определение расстояний до препятствий

Рассмотрим один из способов определения расстояния до объекта (препятствия) описанный в [1]. Подход основан на системе технического зрения, работающей по образу лазерного дальномера. В состав данной системы входит непосредственно источник лазерного излучения и камера, которая фиксирует данную сцену. Полученные данные обрабатываются вычислителем.

Определение расстояния основывается на использовании лазерной триангуляции. В данном подходе лазерная точка является указателем на объект, до которого измеряется расстояние.

Отражение фиксируется веб-камерой, которая установлена на некотором расстоянии от лазера, тем самым образуя треугольник между объектом, камерой и лазером. Отражение лазерной точки, попадая в камеру, образует угол между направлением лазера и отражением точки на камеру, что и позволяет определить расстояние до объекта (рис. 1).

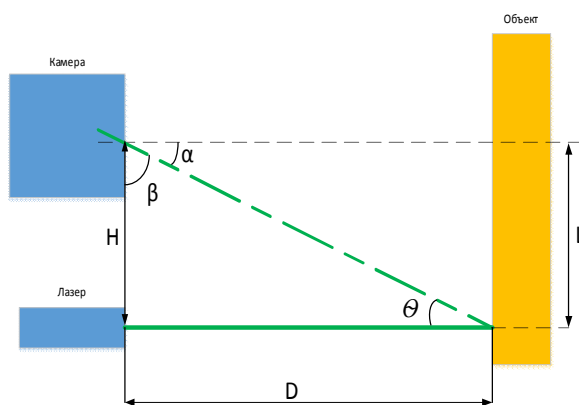


Рис. 1. Лазерная триангуляция

Расстояние до объекта определяется как

$$D = H / \operatorname{tg} \theta, \quad (1)$$

где D – расстояние до объекта, H – расстояние между веб-камерой и лазером, θ – угол между лучом

лазера и лазерной точкой. Угол между лазерным лучом и возвращаемой лазерной точкой можно найти таким образом:

$$\theta = P \cdot R + R_0, \quad (2)$$

где P – число пикселей от центра фокальной плоскости; R – число радиан на шаг пикселя; R_0 – смещение по радиусу.

Данный метод позволяет производить измерения расстояния до подвижных объектов в реальном времени. На рис. 2 представлена схема установки, реализующей данный метод.

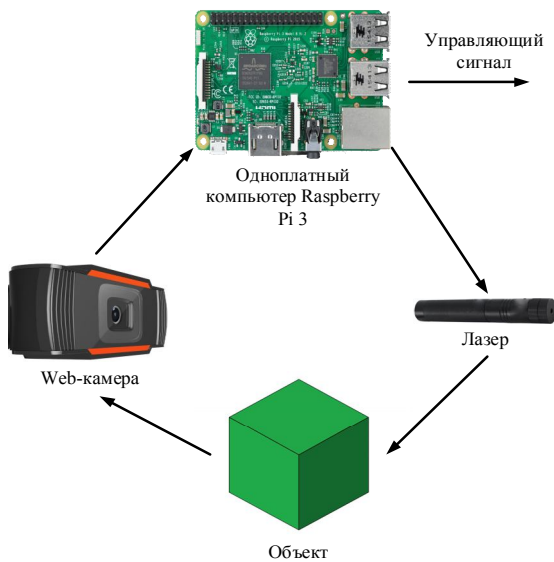


Рис. 2. Реализация метода лазерной триангуляции

Для калибровки установки, реализующей метод лазерной триангуляции, измеряются расстояния в пикселях от центра фокальной плоскости камеры до проецируемой точки. Затем рассчитываются углы θ для всех замеров, в данном случае это: 50 см, 1 м, 1.5 м, 2 м, 2.5 м, 3 м.

Полученные данные используются для построения графика зависимости угла θ от количества пикселей от центра фокальной плоскости P до метки и нахождения значений R и R_0 с помощью добавления к графику линии тренда и ее функции. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Зависимость расстояния от количества пикселей

Реальное расстояние, мм	Полученное расстояние, мм	Ошибка, %
500	490	2
1000	998	0,2
1500	1500	0
2000	1970	1,5
2500	2450	2
3000	2920	2,6

Используя выражение (1) вычисляется угол θ между проецируемым лучом и отраженным:

$$\text{tg } \theta = H/D, \quad (3)$$

т.е. $\theta = \text{arctg}(H/D), \quad (4)$

Расстояние между центром камеры до лазера, в данном случае составляло 10,4 см.

Далее рассчитывается угол θ для каждого расстояния D . После чего строятся соответствующие графические зависимости (рис. 3).

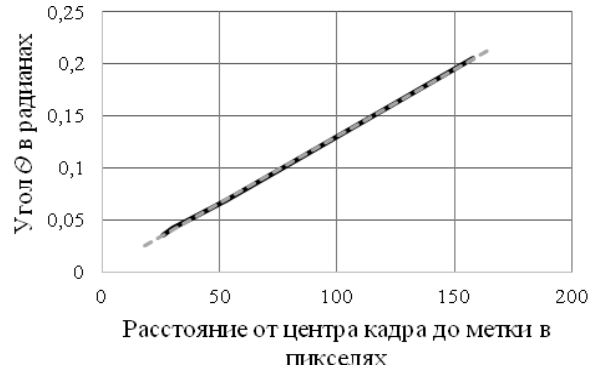


Рис. 3. График зависимости угла θ и количеством пикселей от центра фокальной плоскости

Для расчёта значений R и R_0 полученные данные аппроксимируются с применением инструмента Excel - линия тренда. Добавляя к полученным значениям линию тренда получим уравнение:

$$y = 0,0013x + 0,0017 \quad (5)$$

В уравнении (5) полученном с использованием выражения (2) для определения θ , $R=0,0013$ и $R_0=0,0017$, x – количества пикселей от центра фокальной плоскости P . Данное уравнение используется в расчетном алгоритме при проведении замеров.

Когда все величины получены, можно провести сравнение полученных значений с реальными. Результаты реализации представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Сравнение полученных результатов

Расстояние, м	P (количество пикселей)
0.5	158
1	80
1.5	53
2	39
2.5	30
3	26

Как видно из табл. 2, максимальная ошибка определения составляет 2,6 %, т.е. 8 см на расстоянии в 300 см.

Определение геометрических размеров

Существуют несколько подходов к решению задачи определения геометрических размеров объектов (высоту и ширину). Наиболее распространено использование «маяка» в кадре. Также широко используется подход, основанный на использовании стереозрения.

Рассмотрим предлагаемый подход, который в отличие от описанных выше позволяет определить геометрические размеры объекта без присутствия маяка в кадре и использования стереозрения.

Для определения расстояний до препятствий предлагаемый подход использует методику триангуляции описанную в [1].

Сложность реализации данного подхода заключается в выборе и определении геометрических размеров интересующего нас объекта среди множества объектов присутствующих в кадре. Для упрощения решения данной задачи было принято условие определять геометрические параметры только того объекта, на который попадает лазерная метка.

На рис. 4 представлена схема установки для определения размеров объекта (препятствия). Суть подхода заключается в рассмотрении прямоугольника, который образуется лучом лазера и линией фокальной плоскости (D – луч лазера, F – линия центра кадра).

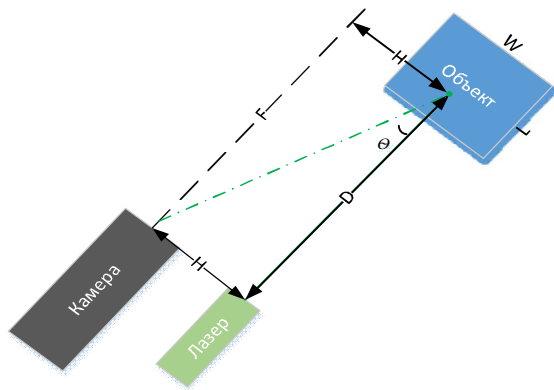


Рис. 4. Схема установки определения размеров объекта

Учитывая, что расстояние между камерой и лазером нам известно и составляет 10,4 см, то расстояние от центра кадра до метки лазера такое же, остается найти расстояние от центра кадра до метки в пикселях, и рассчитать размер пикселя в образованной плоскости:

$$K = 10,4 / D_{center} \quad (6)$$

где D_{center} – расстояние от центра кадра до метки в пикселях. Далее, с учетом результата уравнения (6) найдем ширину объекта.

$$W = K \cdot W_{px} \quad (7)$$

где W_{px} – ширина объекта в пикселях.

Высота объекта находится аналогично ширине.

$$L = K \cdot L_{px} \quad (8)$$

где L_{px} – высота объекта в пикселях

Общий алгоритм процедуры реализующей предлагаемый подход представлен на рис. 5. С его помощью геометрические размеры объекта определяются только в том случае, если на него указывает метка. В противном случае просто определяется расстояние, так как не всегда можно определить объект полностью, или он сливается с окружением.

Данный алгоритм был реализован на языке Python с использованием библиотеки OpenCV. Для более удобного отслеживания данных был разработан интерфейс главного окна программы, представленный на рис. 6, позволяющий проводить настройку параметров отслеживания лазерной метки и объекта.



Рис. 5. Общий алгоритм

Интерфейс разделен на две половины в правой части отображается видео поток текущей сцены с захватом объекта и метки лазера, а в левой находятся две кнопки. Первая открывает окно настройки фильтра метки лазера (рис. 7). Для захвата метки необходимо указать максимальный и минимальный порог цвета в формате HSV, за что и отвечают 6 ползунков, находящихся слева. Белая точка в правой части экранная и является лазерной меткой.

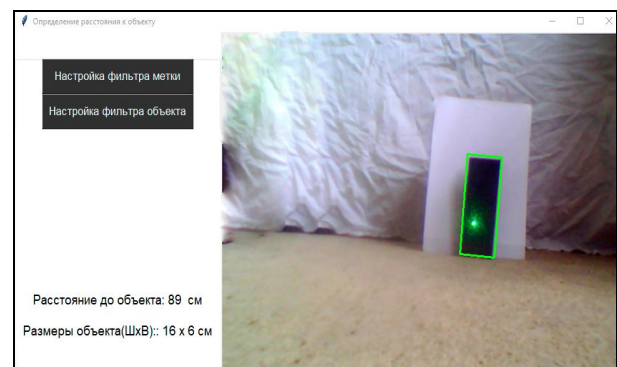


Рис. 6. Интерфейс главного окна программы

Вторая кнопка вызывает окно настройки фильтра объекта (рис. 8). Окно настройки фильтра объекта разделено на две части, в левой части ползунки настройки поиска границ объектов на изображении, в правой изображении полученных границ. Первые два ползунка отвечают за глубину изо-

браження, от массива оригинального изображения вычитается массив того же изображения только с применением размытия Гаусса, что позволяет усилить глубину контуров объектов. Следующие два ползунка отвечают за порог максимума и минимума функции Канны, для поиска границ, а последние – за закрытие полученных границ.

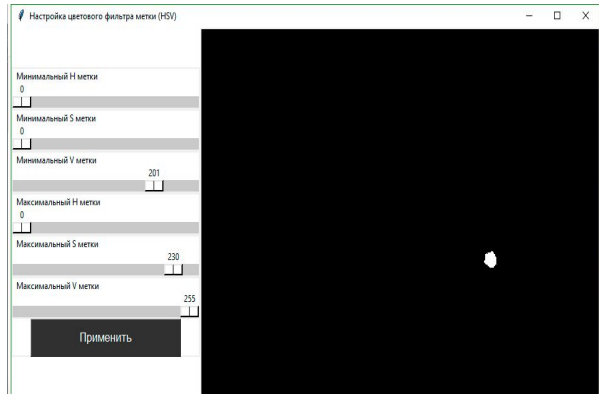


Рис. 7. Окно настройки фильтра метки



Рис. 8. Окно настройки фильтра объекта

В главном окне программы, представленном на рис. 6, в левой нижней части присутствует раздел, в котором отображается конечный результат, т.е. расстояние до объекта и его геометрические размеры.

Результаты экспериментальной проверки данного подхода при исследовании объектов различных размеров представлены на рис. 9,10.

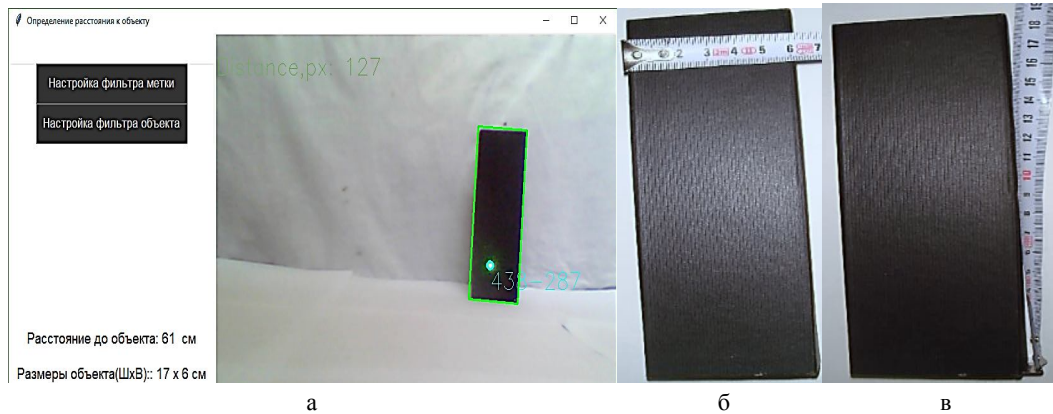


Рис. 9. Результаты экспериментальной проверки данного подхода при исследовании первого объекта (а – главное окно; б – ширина объекта; в – высота объекта)



Рис. 10. Результаты экспериментальной проверки данного подхода при исследовании второго объекта (а – главное окно; б – ширина объекта; в – высота объекта)

Выводы

Предложенный подход дает возможность определять расстояние до препятствия, а также его геометрические параметры на основе использования только одного источника лазерного излучения. Разработанный интерфейс реализующий алгоритм

предлагаемого подхода наглядно показывает результаты измерений.

Анализ полученных результатов определения расстояния показал, что максимальная ошибка составляет 2,6 % (табл. 2) т.е. результат является удовлетворительным. Результаты определения геометрических размеров объекта, представленные в

табл. 3, показують, що помилка визначення розмірів об'єкта може становити до 9,09%.

Таблиця 3 – Результати визначення геометричних розмірів

Реальні (выс./шир.), мм	Отримані (выс./шир.), мм	Помилка, %
180/63	170/60	5,5
108/74	100/70	7,4
163/82	150/80	7,9
165/223	150/210	9,09

Однак, точність визначення розмірів залежить від багатьох факторів, таких як якість вхідного зображення, а також точності визначення самого об'єкта на зображенні.

Отримана помилка стосується не кінцевого розрахунку розміру об'єкта, а безпосередньо визначення об'єкта.

Пропонується подальше застосування при створенні систем навігації мобільних роботів, для пошуку оптимального маршруту в невідомому приміщенні або на незнайомій території.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сорокин М.И. Лазерный дальномер и 2d сканирование помещения. Научно-практический электронный журнал «Аллея Науки». 2017. № 9. URL: http://alley-science.ru/domains_data/files/Journal_May2017/
2. Joe Minichino, Joseph Howse. Learning OpenCV 3 Computer Vision with Python. 2015. ISBN 13 9781785283840.
3. Sergiyenko O. Dynamic Laser Scanning method for Mobile Robot Navigation / O. Sergiyenko, V. Tyrsa, L. Devia, W. Hernandez, O. Starostenko, M. Rivas // Proceedings of ICCAS-SICE 2009, Fukuoka, Japan, 2009. – P. 4884–4889.
4. Lucas B.D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. Proc. of Imaging Understanding Workshop, 1981, pp. 121–130.
5. Библиотека OpenCV. URL: <https://opencv.org/>
6. Python Tutorial. URL: <https://www.tutorialspoint.com/python/>
7. OpenCV на python: наложение текста и графики URL: <http://robotclass.ru/tutorials/opencv-video-text-drawings/>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. В. Козелков,
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 28.04.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.07.2018

Визначення відстані до об'єкта та його геометричних параметрів у навігації робота

В. І. Барсов, О. В. Плахотний

Предметом дослідження в даній статті є процес визначення відстані до перешкоди і її геометричних розмірів, необхідних для вибору оптимального маршруту мобільного робота, що дозволяє обходити перешкоду в автоматичному режимі. **Ціль** - розробити процедуру та реалізуючий її алгоритм визначення відстані до перешкоди і її геометричних розмірів на основі використання одного джерела лазерного випромінювання. **Завдання:** на основі аналізу відомих підходів визначення відстані до перешкоди і визначення її геометричних розмірів розробити процедуру та реалізуючий її алгоритм, що дозволяє визначити відстань до перешкоди і її геометричні розміри, з використанням одного джерела лазерного випромінювання. Використаними підходами є: визначення відстані до перешкоди за допомогою лазерних далекомірів; визначення геометричних розмірів і форм перешкод на основі використання систем технічного зору; визначення відстані до перешкоди на основі застосування методу триангуляції. Отримані наступні **результати:** запропоновано підхід, що дозволяє з використанням тільки одного джерела лазерного випромінювання і веб-камери визначити не тільки відстань до перешкоди, але і її геометричні розміри, який на відміну від відомих, методів заснованих на застосуванні систем технічного зору не використовує «маяк» (об'єкт зі свідомо відомими розмірами) і системи стереозору. **Висновки:** запропонований в роботі підхід дозволяє визначити відстань до перешкоди з точністю в 97,4%, геометричні розміри з точністю 91%. Розглянута процедура і реалізує її алгоритм в подальшому можуть бути використані в системах навігації мобільних роботів.

Ключові слова: система технічного зору, мобільний робот, лазерний далекомір, перешкода, навігація.

Determining the distance to the object and its geometric parameters for navigating the robot

V. Barsov, O. Plakhotnyi

The **subject** of the study in this article is the process of determining the distance to the obstacle and its geometric dimensions necessary to select the optimal route for the mobile robot, which allows to bypass the obstacle in an automatic mode. The purpose is to develop a procedure and implement it algorithm for determining the distance to the obstacle and its geometric dimensions based on the use of a single source of laser radiation. The **problem:** based on the analysis of known approaches to determining the distance to the obstacle and determining its geometric dimensions, develop a procedure and an algorithm that realizes it, allowing to determine the distance to the obstacle and its geometric dimensions, using a single laser source. The approaches used are: determining the distance to the obstacle with the help of laser range finders; Determination of geometric dimensions and forms of obstacles based on the use of technical vision systems; Determination of the distance to the obstacle using the triangulation method. The **results** are obtained: an approach is proposed that allows using only one laser source and a web camera to determine the distance to the obstacle and its geometric dimensions. Unlike well-known, methods based on the application of technical vision systems do not use a "beacon" (an object with known known dimensions) and a stereo vision system. **Conclusions:** The approach proposed in the work allows us to determine the distance to the obstacle with an accuracy of 97.4%, geometric dimensions with an accuracy of 91%. The procedure considered and the algorithm that implements it can be used later in navigation systems for mobile robots.

Keywords: technical vision system, mobile robot, laser range finder, obstruction, navigation.

А. В. Ивашко, А. А. Зуев

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В ПРОЦЕССЕ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА С ПОМОЩЬЮ БПЛА

Целью статьи является разработка и экспериментальное исследование методов удаления дефектов на изображениях, полученных в результате дистанционного мониторинга энергообъектов с помощью БПЛА, вызванного построчным переносом изображения с матрицы камеры в устройство хранения. При проведении исследований использовались методы корреляционного оценивания относительного сдвига последовательностей, методы цифровой нелинейной фильтрации, математическое моделирование в пакете Scilab. Предложены и программно реализованы методы подавления артефактов вызванных эффектом построчного переноса, не требующие анализа последовательности кадров и позволяющие устранять искажения, вызванные как наклоном камеры, так и ее вибрацией. Использование предложенных методов позволяет создать программное обеспечение для бортового компьютера БПЛА, которое может устранять артефакты на изображениях, полученных в процессе мониторинга в реальном масштабе времени. Получены расчетные соотношения, позволяющие определить предполагаемые значения сдвига строк изображения, вызванного эффектом построчного переноса, предложены и программно реализованы методы удаления искажений на изображениях энергообъектов, получаемых в процессе дистанционного мониторинга с помощью БПЛА.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, дистанционный мониторинг, БПЛА, построчный перенос, обработка изображений, медианная фильтрация, взаимнокорреляционная функция.

Введение

В последние годы, в развитых странах имеющих электроэнергетическую инфраструктуру значительной протяженности, таких как США, ЕС, Китай, Бразилия, РФ, проводятся мероприятия по дистанционному мониторингу сетей ЛЭП [1]. Уровень развития науки и техники, позволяет использовать для решения таких задач, помимо классических, принципиально новые методы. Среди которых следует отметить дистанционный мониторинг энергетической инфраструктуры с помощью беспилотных летающих аппаратов (БПЛА) [2-3], основанный на визуальном, тепловизионном и лазерном сканировании ЛЭП, с последующей обработкой полученных данных. Преимуществом такого метода мониторинга является возможность широкой автоматизации и комплексного контроля параметров ЛЭП, характеризующих как внешнее состояние объектов энергосистемы, так и ее основных электрических параметров.

Основным источником данных в процессе мониторинга являются различные фото- и видео-камеры, установленные на БПЛА. Это могут быть как камеры регистрирующие изображения в видимом диапазоне, так и различные виды тепловизионных и мультиспектральных камер. Серьезной проблемой, возникающей при фото и видеосъемке с применением матриц CMOS (КМОП-сенсор) и других типов матриц, использующих не моментальную фиксацию изображения, а построчное считывание, является так называемый эффект "роллинг-шаттер" или построчный перенос (англ. *rolling shutter*, раскатывающийся затвор). Поскольку матрица фиксирует изображение построчно, сверху вниз, то при движении объекта или камеры на обработку подается лишь информация с одной или нескольких строк. За время съемки кадра объект успевает сменить место-

положение, что обусловлено характером движения БПЛА, и в результате участки одного кадра отображают разные моменты времени.

Такое запаздывание получения данных с матрицы относительно движения в кадре приводит к появлению хорошо заметных геометрических искажений объектов. Такие камеры имеют стоимость в несколько раз меньше, чем камеры, фиксирующие все изображение одновременно, таким образом, их применение позволяет существенно снизить стоимость системы мониторинга, но требует разработки специальных методов обработки полученных изображений, которые бы минимизировали геометрические искажения.

Пример изображения с артефактами построчного переноса приведен на рис. 1.

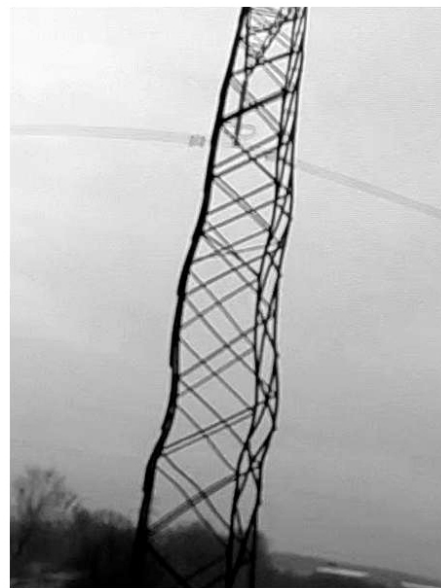


Рис. 1. Изображение опоры ЛЭП с артефактами построчного переноса

На изображении хорошо видны волнообразные искривления, вызванные вибрацией размещенной на БПЛА камеры. Этот эффект может проявляться в виде наклона или искривления отдельных объектов или всего кадра, появления горизонтальных пересеченных полос, а иногда даже в хаотичном искажении кадра и расплывании изображения, так называемый "эффект желе".

Такие искажения существенно усложняют автоматическое выделение контуров и объектов на изображении, а также определение количественных и качественных характеристик объектов по результатам фото- и видеосъемки. Это, в свою очередь, приводит к снижению эффективности или невозможности применения автоматических методов обработки данных полученных в результате мониторинга.

Анализ литературных данных и постановка проблемы

В работе [4] решается задача оценки качества электрических сетей на основе видеосъемок уличных осветительных ламп. Авторы отмечают, что артефакты, связанные с эффектом построчного переноса затрудняют решение таких задач, и они должны быть удалены.

В последнее время предпринимался ряд попыток разработки алгоритма подавления артефактов, возникающих при построчном переносе. Которые, однако, не всегда обеспечивают требуемый результат. В [5] предлагается анализировать пары последовательных кадров в видеопотоке и вычислять предполагаемый вектор движения при помощи дифференциального локального алгоритма Лукаса-Канаде, а затем корректировать искаженные кадры при помощи так называемого целочисленного Р-преобразования. При разработке алгоритма предполагается, что камера движется только прямолинейно. Это требование, а также ограничение на степень размытия и отсутствие локальных движений в кадре, значительно ограничивает круг решаемых задач при помощи предлагаемого алгоритма. Например, задачи мониторинга энергообъектов, для которых, требуется движение по сложным, непрямолинейным траекториям. Также особенности движения малоразмерных БПЛА при воздействии приземных воздушных потоков делают применение такого алгоритма невозможным.

Несколько более реалистичная модель движения камеры представлена в [6]. Авторы учитывают колебания камеры и объекта и компенсируют артефакты построчного переноса с учетом не только прямолинейного, но и колебательного движения. Следует, однако, отметить, что представленные авторами алгоритмы автокалибровки и оценки частоты колебаний требуют значительных вычислительных затрат и не всегда применимы в случае встроенной микроконтроллерной реализации бортового компьютера БПЛА. В работах [7, 8] также анализируется последовательность кадров, и предпринимаются попытки выделения областей изображения, подверженных артефактам связанных с эффектом построчного переноса. Приведенные алгоритмы

тестировались на реальных видеопотоках, в том числе и полученных с БПЛА.

Общим недостатком рассмотренных методов является необходимость анализа нескольких последовательных кадров, что не всегда удобно при съемке в экстремальных условиях и требует повышенных вычислительных затрат. Кроме того, большинство известных алгоритмов поворачивают на фиксированный угол весь кадр и неудовлетворительно борются с дрожаниями.

Целью статьи является разработка и экспериментальное исследование методов удаления дефектов на изображениях, полученных в результате дистанционного мониторинга объектов энергетической инфраструктуры с помощью БПЛА, вызванного построчным переносом изображения с матрицы камеры в устройство хранения.

Метод удаления артефактов изображений, связанных с эффектом построчного переноса

Изображение размером $N_1 \times N_2$ (N_1 – число строк, N_2 – число столбцов) просматривается построчно и для каждой строки определяется предполагаемый горизонтальный сдвиг относительно предыдущей, вызванный перемещением камеры. Для этого вычисляется оценка взаимной корреляции двух смежных строк изображения

$$R_{k,k+1}(s) = \frac{1}{N_2} \sum_{i=1}^{N_2} a_{k,i} \cdot a_{k+1,i+s}, \quad (1)$$

$$-s_{max} \leq s \leq s_{max},$$

где $a_{k,i}$ – k -й элемент i -й строки изображения; s – относительный сдвиг смежных строк, s_{max} – предполагаемое максимальное значение сдвига.

Затем определяется значение относительного сдвига k -й и $k+1$ -й строк изображения s_k , соответствующее максимальному значению взаимнокорреляционной функции (ВКФ) в диапазоне $\pm s_{max}$.

В случае, если ожидаемое значение относительного сдвига составляет менее одного пикселя, оно может быть определено как взвешенная оценка сдвига с учетом значений ВКФ:

$$s_k = \sum_{s=-s_{max}}^{s_{max}} s \cdot R_{k,k+1}(s) / \sum_{s=-s_{max}}^{s_{max}} R_{k,k+1}(s). \quad (2)$$

Предполагаемый сдвиг каждой из строк изображения относительно первой строки может быть получен путем накопления сдвигов пар смежных строк

$$s'_k = \sum_{j=1}^k s_k. \quad (3)$$

Если значение текущего сдвига, вычисленное по формуле (3), оказывается дробным, оно должно быть округлено до ближайшего целого значения.

Другой подход к определению величины сдвига, вызванного перемещением камеры, в случае, ес-

ли это значение составляет менее одного пикселя, состоит в том, что определяется сдвиг между строками, которые отстоят друг от друга на некоторое значение Δk , большее единицы:

$$R_{k,k+\Delta k}(s) = \frac{1}{N_2} \sum_{i=1}^{N_2} a_{k,i} \cdot a_{k+\Delta k,i+s}. \quad (4)$$

После этого вычисляется значение максимума ВКФ в пределах $\pm s_{\max}$ и соответствующий этому значению сдвиг s'_k , и производится накопление вычисленных локальных сдвигов.

После определения сдвига каждой из строк изображения, вызванного перемещением камеры, этот сдвиг может быть скомпенсирован путем смещения строки на соответствующее число пикселей в противоположном направлении.

Экспериментальное исследование предложенного метода

Предлагаемые методы были реализованы в среде моделирования Scila. Они были экспериментально проверены на реальных изображениях объектов энергетической инфраструктуры, которые получены с установленной на БПЛА видеокамеры и подверженной воздействию эффекта построчного переноса. На рис. 2 изображен график зависимости величины сдвига строки в пикселях от ее номера для метода взвешенного оценивания (2) при $s_{\max} = 5$.

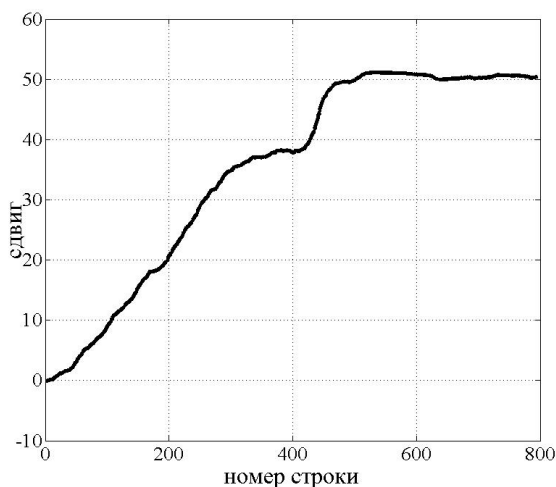


Рис. 2. График зависимости накопленного сдвига от номера строки для метода взвешенного оценивания для $s_{\max} = 5$

На рис. 3 приведены результаты обработки изображения, пораженного артефактами, связанными с эффектом построчного переноса. Применен алгоритм взвешенного оценивания с параметром $s_{\max} = 5$. В результате обработки снижен вызванный движением камеры наклон объекта и уменьшена амплитуда колебаний изображения объекта, хотя и несколько повышена их частота.

На рис. 4 изображен график зависимости сдвига строки от ее номера для метода максимума ВКФ при $\Delta k = 5$. На графике хорошо заметны дрожания, вызванные неустойчивостью алгоритма определе-

ния локальных сдвигов и существенно затрудняющие удаление артефактов вызванных эффектом построчного переноса.

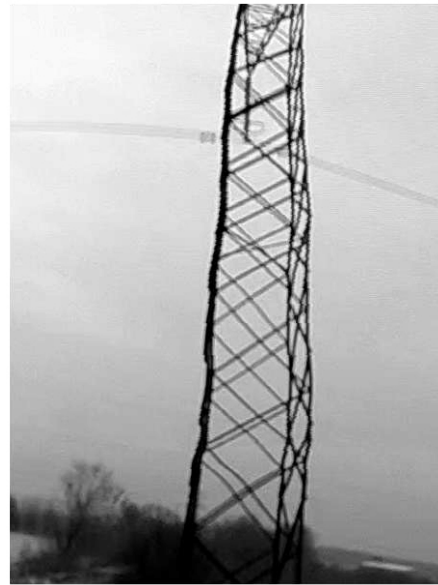


Рис. 3. Результаты обработки изображения опоры ЛЭП методом взвешенного оценивания для $s_{\max} = 5$

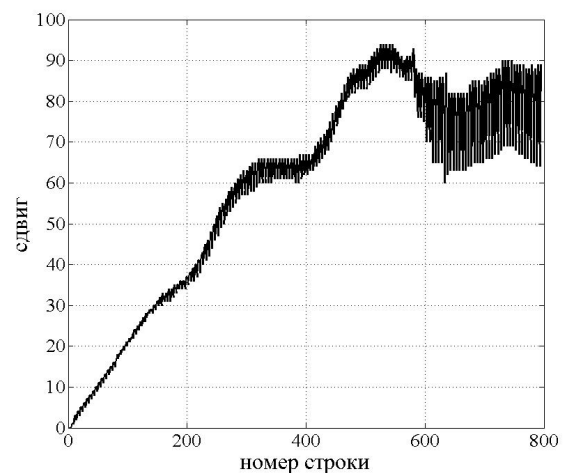


Рис. 4. График зависимости накопленного сдвига от номера строки для метода максимума ВКФ при $\Delta k = 5$

На рис. 5 показано негативное воздействие дрожаний, которое обуславливает размытие границ объекта. Для решения этой проблемы целесообразно применить к последовательности s'_k медианную фильтрацию. Медианная фильтрация [9] – метод нелинейной фильтрации, эффективный при очистке сигналов от импульсных шумов, который не приводит к "размытию" сигнала. Из графика, приведенного на рис. 6, следует, что после медианной фильтрации последовательности s'_k с апертурой окна равной 5, дрожания практически полностью устраняются.

Эффективность данного метода проявляется при анализе обработанных изображений (рис. 7). Так, при выборе параметра $\Delta k = 5$ и обработке последовательности сдвигов медианным фильтром обработанное с апертурой окна равной 5, изображение практически свободно от наклонов и искривлений, вызванных движением камеры.

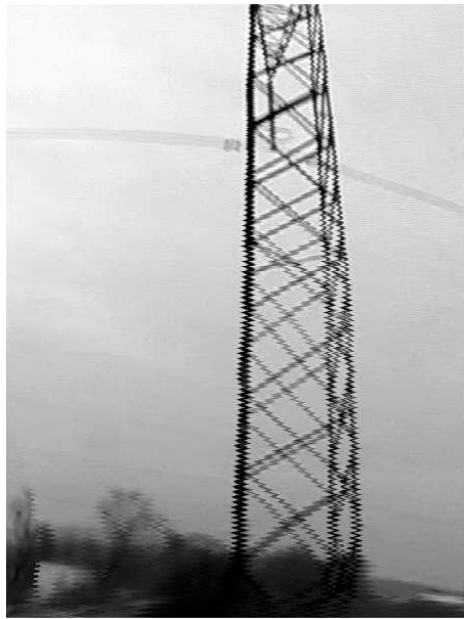


Рис. 5. Результаты обработки изображения опоры ЛЭП по методу максимума ВКФ при $\Delta k = 5$

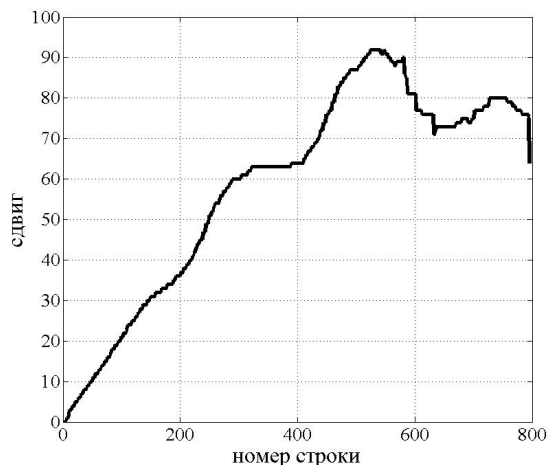


Рис. 6. График зависимости накопленного сдвига от номера строки для метода максимума ВКФ для $\Delta k = 5$, после обработки медианным фильтром

Дальнейшие исследования могут быть направлены на повышение устойчивости оценивания ВКФ, а также на выбор алгоритма обработки последовательности сдвигов s'_k . Также может быть проведен спектральный анализ последовательности сдвигов

с целью выделения частоты вибраций камеры и их последующей компенсации. Методы могут быть использованы для обработки термограмм.

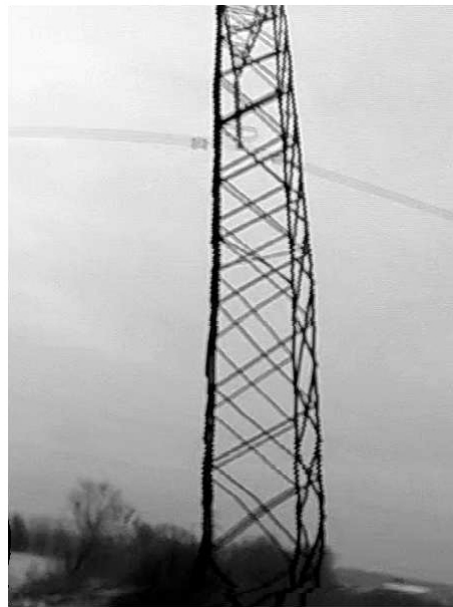


Рис. 7. Результаты обработки изображения опоры ЛЭП по методу максимума ВКФ для $\Delta k = 5$, после медианной фильтрации

Выводы

1. Обоснована необходимость удаления артефактов изображений, полученных в результате мониторинга энергетической инфраструктуры, связанных с построчным переносом.
2. Предложены методы, которые позволяют существенно снизить артефакты на изображениях, вызванные эффектом построчного переноса, что позволяет улучшить качество фото- и видеосъемки, производимой с БПЛА в процессе мониторинга.
3. Определен способ удаления размытых границ объектов вызванных дрожанием изображения при помощи медианной фильтрации.
4. Проведена разработка программного обеспечения и экспериментальные исследования реализации предложенных методов. Экспериментально показано, что методы позволяют практически полностью устранить артефакты на изображении, вызванные эффектом построчного переноса.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Skarbek L., Zak A., Ambroziak D. Damage detection strategies in structural health monitoring of overhead power transmission system. – 7th European Workshop on Structural Health Monitoring. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism. 2014. 3rd ed., vol. 2. pp. 68–73. **HAL Id : hal-01020412**
2. Li L. The UAV intelligent inspection of transmission lines. – International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Industrial Informatics. 2015. pp. 1542–1545. **doi: 10.2991/ameii-15.2015.285**
3. Adabo G. J. Unmanned aircraft system for high voltage power transmission lines of Brazilian electrical system. – Journal of Power and Energy Engineering. February 2014. 8(2). pp. 394–398. **doi: 10.1049/oap-cired.2017.1048**
4. Sheinin M., Schechner Y., Kutulakos N. Rolling shutter imaging on the electric grid. – IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP). 2018. pp.1–12. **doi: 10.1109/ICCPHOT.2018.8368472**
5. Chun J.-B., Jung H., Kyung, C.-M. Suppressing rolling-shutter distortion of CMOS image sensors by motion vector detection. – IEEE Transactions on Consumer Electronics. 2008. Vol. 54, Is. 4. pp. 1479–1487. **doi: 10.1109/TCE.2008.4711190**
6. Baker S., Bennett E., Kang S., Szeliski, R. Removing rolling shutter wobble. – IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2010. pp. 2392–2399. **doi: 10.1109/CVPR.2010.5539932**

7. Rengarajan V., Rajagopalan A., Aravind R., Seetharaman G. Image Registration and Change Detection under Rolling Shutter Motion Blur. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2017. Volume: 39, Issue: 10, pp. 1959–1972. doi: 10.1109/TPAMI.2016.2630687
8. Punnappurath A., Rengarajan V., Rajagopalan A. Rolling Shutter Super-Resolution. – IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). 2015. pp. 558–566. doi: 10.1109/ICCV.2015.71
9. Ali A., Rasha E., Alser T. Median Filter Performance Based on Different Window Sizes for Salt and Pepper Noise Removal in Gray and RGB Images. – International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition. 2015. Vol.8, No.10, pp.343–352. doi: 10.14257/ijcip.2015.8.10.34

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. Г. Гриб,
Національний технічний університет «ХПІ», Харків
Received (Надійшла) 16.05.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.08.2018

Розробка методів видалення дефектів на зображеннях енергооб'єктів, отриманих в процесі дистанційного моніторингу за допомогою БПЛА

А. В. Івашко, А. О. Зуєв

Метою статті є розробка та експериментальне дослідження методів видалення дефектів на зображеннях, отриманих в результаті дистанційного моніторингу об'єктів енергетичної інфраструктури за допомогою БПЛА, викликаного порядковим переносом зображення з матриці камери в пристрій зберігання. За час зйомки кадру об'єкт встигає змінити місце розташування, що обумовлено характером руху БПЛА, і в результаті ділянки одного кадру відображають різні моменти часу. Таке запізнення отримання даних з матриці щодо руху в кадрі призводить до появи добре помітних геометричних спотворень об'єктів. Камери з порядковим переносом, мають невисоку вартість, таким чином, їх застосування дозволяє істотно знизити вартість системи моніторингу, але вимагає розробки методів обробки отриманих зображень, які б мінімізували геометричні спотворення. При проведенні досліджень використовувалися методи кореляційного оцінювання відносного зсуву послідовностей що представляють собою рядки зображення, методи цифрової нелінійної фільтрації. Було проведено математичне моделювання в пакеті Scilab. Запропоновані і програмно реалізовані методи придушення ефекту порядкового перенесення, які не потребують аналізу послідовності кадрів і дозволяють усувати спотворення, викликані як нахилом відеокамери, так і її вібрацією. При цьому не потрібне проведення оцінки частоти коливань камери або виділення певних областей на зображенні. Використання запропонованих методів дозволяє створити програмне забезпечення для бортового комп'ютера БПЛА, яке може усувати артефакти на зображеннях, отриманих в процесі моніторингу в реальному масштабі часу. Що дозволяє спростити автоматичне виділення контурів і об'єктів на зображенні, а також визначення кількісних і якісних характеристик об'єктів за результатами фото- і відео-зйомки. Отримано розрахункові співвідношення, що дозволяють визначити передбачувані значення зсуву рядків зображення, викликаного ефектом порядкового перенесення. Крім зображень у видимому спектрі, запропоновані методи можуть бути використані для обробки термограм. Проаналізовано методи видалення спотворень на зображеннях та показано, що запропоновані методи дозволяють практично повністю усунути артефакти на зображенні, викликані ефектом порядкового перенесення.

Ключові слова: повітряні лінії електропередачі, дистанційний моніторинг, БПЛА, порядкове перенесення, обробка зображень, медіанна фільтрація, взаємнокореляційна функція.

Development of methods of removing defects in images of power facilities obtained in the process of remote monitoring using UAV

A. Ivashko, A. Zuev

The purpose of the article is to develop and experimentally study methods of artifacts removal on images obtained as a result of remote monitoring of power facilities by UAVs caused by line-by-line transfer of an image from the camera to the storage device. During the capturing of a frame, the objects change position, which is due to the nature of the UAV's movement, and as a result, parts of a frame display different points in time. Such a delay in obtaining data from the camera relative to motion in the frame leads to the appearance of well-noticeable geometric distortions of objects. Cameras with line-by-line transfer are low cost, thus, their use significantly reduce the cost of the monitoring system, but requires methods for processing the obtained images that would minimize geometric distortions known as rolling shutter effect. During the research, methods of correlation estimation of the relative shift of sequences representing image lines, and digital nonlinear filtering were used. Mathematical modeling was carried out in the Scilab package. Methods for suppressing the rolling shutter effect, which do not require analysis of the sequence of frames, have been proposed and implemented in software. Thus, it makes possible to eliminate distortions caused by both the inclination of the video camera and its vibration. This does not require an assessment of the camera frequency or selection of certain areas in an image. Proposed methods can be implemented in for UAV on-board computer that can eliminate artifacts on images acquired during monitoring in real time. This enables to simplify the automatic selection of contours and objects on an image, as well as the estimation of quantitative and qualitative characteristics of objects based on the results of photo and video recording. Obtained the calculated relationships, which allow determining the expected values of the line shift of an image caused by the rolling shutter effect. In addition to images in the visible spectrum, the proposed methods can be used to process thermal images. The analyses show that the proposed methods can almost completely eliminate image artifacts caused by the rolling shutter effect.

Keywords: overhead power lines, remote monitoring, UAV, line transfer, image processing, median filtering, cross-correlation function.

Контроль космічного та повітряного простору

УДК 004.82

doi: 10.26906/SUNZ.2018.4.013

Д. Є. Гришманов¹, О. Ю. Несміян², Ф. А. Барилюк³, Є. А. Толкаченко²

¹ Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

³ Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

АНАЛІЗ ФОРМ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО МОДЕЛІ ДІЯЛЬНОСТІ ЧЕРГОВОЇ ЗМІНИ РАЙОННОГО ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО ЦЕНТРУ

Предметом аналізу в статті є форми представлення інформації про моделі діяльності авіаційних диспетчерів чергової зміни районного диспетчерського центру (РДЦ) системи обслуговування повітряного руху. **Метою** є вибір раціональних форми представлення інформації про процеси діяльності авіаційного диспетчера при обслуговуванні повітряного руху. **Завдання:** обґрунтувати перспективність блочно-табличної форми представлення інформації з метою опису складної поліалгоритмічної діяльності чергової зміни РДЦ та визначення характеру взаємодій між авіаційними диспетчерами. Отримані такі **результати**. Проведено аналіз можливих форм представлення інформації про моделі діяльності чергової зміни РДЦ. Обрано спосіб зберігання, пошуку, відтворення та коригування інформації про діяльність чергової зміни РДЦ. **Висновки.** Для представлення інформації про процеси діяльності чергової зміни РДЦ було запропоновано застосовувати блочно-табличну форму, яка дозволяє враховувати поліалгоритмічність діяльності авіаційних диспетчерів. Вказано на важливість здійснення поточного об'єктивного контролю з метою отримання можливості оцінки діяльності авіаційного диспетчера в подальшому.

Ключові слова: авіаційний диспетчер; районний диспетчерський центр; моделювання діяльності авіаційного диспетчера; форми представлення інформації.

Вступ

Науково-технічний прогрес і пов'язана з ним автоматизація процесів управління істотно змінюють характер і умови праці авіаційних диспетчерів в системі обслуговування повітряного руху.

Впровадження нових алгоритмів діяльності з обслуговування повітряного руху, їх різноманітне поєднання, необхідність організації взаємодії між особами чергової зміни РДЦ та засобами автоматизації обумовлюють необхідність пошуку нових та вдосконалення існуючих форм представлення інформації про процеси діяльності авіаційних диспетчерів у складі чергової зміни районного диспетчерського центру.

Аналіз літератури показав [1, 5], що на сучасному етапі не має єдиного підходу щодо вибору форми представлення інформації про моделі діяльності чергової зміни районного диспетчерського центру.

Даний факт не дозволяє формалізувати питання застосування моделей діяльності для підтримки прийняття та реалізації рішень в ході роботи, для навчання і оцінки рівня підготовки авіаційних диспетчерів, а також для проведення досліджень щодо вдосконалення діяльності чергової зміни районного диспетчерського центру [2].

Метою статті є обґрунтування перспективності застосування блочно-табличної форми представлення інформації з метою опису складної поліалгоритмічної діяльності чергової зміни районного диспетчерського центру та визначення характеру взаємодій між авіаційними диспетчерами.

Основний матеріал

Аналіз форм представлення інформації про процеси діяльності чергової зміни РДЦ. В рамках трансформативної теорії динаміки систем показано [3, 4], що засоби відображення інформації (ЗВІ) на автоматизованих робочих місцях повинні формувати не тільки інформаційну модель об'єкта управління, а й інформаційну модель розв'язуваної задачі. Тобто адекватність інформаційної моделі, яка відображається, реальній обстановці не є єдиною необхідною умовою для ЗВІ. Найбільш загальною обов'язковою вимогою для ЗВІ є адекватність інформаційної моделі стратегії і психологічній структурі вирішення задачі управління.

З цього випливає, що в процесі застосування АСУ повітряним рухом необхідно організувати зберігання, пошук і відтворення інформації не тільки про повітряні об'єкти та свої засоби забезпечення польотів, а й про апріорні і реалізовані моделі діяльності чергової зміни районного диспетчерського центру в різних ситуаціях. Це дозволить вирішувати питання застосування моделей діяльності для підтримки прийняття та реалізації рішень в ході роботи, для навчання і оцінки рівня підготовки авіаційних диспетчерів, а також для проведення досліджень щодо вдосконалення діяльності чергової зміни РДЦ. Відомі такі форми подання (зберігання) інформації про моделі діяльності авіаційних диспетчерів:

- текстуальна (*P*-форма);
- таблична (*T*-форма);
- у вигляді логічних схем алгоритмів (*L*-форма);
- у вигляді блочних схем алгоритмів (*B*-форма);

– у вигляді мережевих моделей (*S*-форма);
 – за допомогою спеціальних технічних засобів зберігання, обробки і відображення інформації про рекомендовані дії (підсвічуються транспаранти, які підсвічуються, ЕОМ і т.п.) (*C*-форма).

Множину однорідних форм можна визначити виразом:

$$M = \{P, T, L, B, S, C\}. \quad (1)$$

Часто відмічені форми застосовуються комплексно, причому ступінь пізнання (запам'ятовування) моделей діяльності підвищується при одночасному поданні моделі множиною різних форм.

Розглянуті форми використовують так звані мовні знаки, що входять в природні або штучні знакові системи. Крім того, діяльність може відтворюватися немовних знаками (знаками-копіями) за допомогою засобів мікрофільмування, відеозапису, звукозапису і т.п.

Відповідно до положень теорії інформаційних семантичних систем повнота представлення інформації пов'язана з кількістю аспектів, кожен з яких характеризує певну властивість об'єкта і не піддається подальшому словесному поділу. У математичній інтерпретації аспект являє собою кортеж знаків (літер, слів, символів), довжина якого може бути довільною. У загальному випадку кортежем довжини n є запис виду:

$$\alpha = \langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{причому} \quad \alpha &= \{a_i \in \alpha; a_i \rightarrow R(a_i)\}, \\ \forall a_i (a_i \in \alpha) &\{Q(a_i) \vee \neg Q(a_i)\}, \\ \min \alpha &= a_1, \max \alpha = a_n, i = \overline{1, n}, \end{aligned}$$

де a_1, a_n – перша і остання компоненти кортежу відповідно; $R(a_i)$ – відношення «бути впорядкованими по місцях»; $Q(a_i)$ – відношення «бути однаковими».

Розглянемо аспекти використання різних форм представлення інформації про діяльність чергової зміни РДЦ.

Найбільш широке застосування в досліджуваних системах знайшли *P*-форма та *T*-форма – в інструкціях по експлуатації, в інструкціях по роботі і т.д. *L*-форма, *B*-форма та *S*-форма розробляються в основному в ініціативному порядку та використовуються в навчальних посібниках, статтях і інших матеріалах. *C*-форма пов'язана з оснащенням робочих місць диспетчерів елементами системи підтримки прийняття рішень.

Особливістю застосування перших чотирьох форм опису моделей діяльності є необхідність запам'ятовування необхідної послідовності дій або наявності інструкцій на робочому місці. У той же час ці форми дають можливість удосконалювати моделі на етапі експлуатації системи.

C-форма не вимагає запам'ятовування великих обсягів інформації, що істотно спрощує процес

навчання диспетчерів і зводить до мінімуму можливу кількість помилок в їх діях. Але дана форма для існуючих АСУ з урахуванням особливостей їх побудови може вдосконалюватися головним чином на етапі конструювання системи.

P-форма відрізняється найнижчим ступенем структурування інформації, що веде до суттєвих обсягів описів, складності уявлення взаємозв'язків дій різних диспетчерів чергової зміни і труднощів визначення кількісних характеристик алгоритму діяльності. Крім того, полісемія, притаманна природній мові, може привести до неоднозначного трактування настанов і, як наслідок, до їх помилкового відтворення.

Застосування *T*-форми дозволяє виявити структуру діяльності, послідовність і зміст необхідних дій конкретної особи чергової зміни РДЦ в заданих ситуаціях. Ця форма відрізняється простотою і наочністю, але пов'язана зі складністю опису логічних умов і циклічних процесів.

При використанні *L*-форми алгоритми діяльності записуються в рядок у вигляді необхідної послідовності практичних і аналітичних дій (логічних умов), позначаються буквами латинського алфавіту. Перевагою цієї форми є компактність запису, а до недоліків слід віднести низьку наочність, можливість опису простих логічних умов і необхідність розкриття змісту дій в додатковому додатку.

У блочній схемі (*B*-формі) елементи алгоритму діяльності – практичні дії (операційні елементи і елементи очікування) позначаються прямокутниками, а аналітичні дії (вирішальні елементи) – ромбами. Вони розташовуються в заданій послідовності з зазначенням взаємних зв'язків. У середині прямокутника розкривається зміст практичної дії (тип введення інформації в КЗА, зразок мовної команди і т.д.). У середині ромба показується короткий зміст аналітичного дії (логічного умови). Для побудови в подальшому мережевої моделі діяльності доцільно додатково вказувати витрати часу на реалізацію даного елемента алгоритму. Після ромба можливі дві і більше послідовностей дій в залежності від прийнятого рішення.

B-форма подання алгоритмів діяльності є основою методу структурно-алгоритмічного аналізу (МСА). Ця форма наочна, дозволяє показати взаємозв'язок дій диспетчерів чергової зміни РДЦ в різних ситуаціях і не вимагає розгорнутих додатків. До недоліків *B*-форми слід віднести меншу компактність в порівнянні з *L*-формою і труднощі виявлення послідовності дій певного авіаційного диспетчера в складних алгоритмах діяльності.

У мережевих моделях (*S*-формі) використовуються основні знаки двох видів: вузли, позначені кружками або деякими додатковими символами, і позначені стрілками спрямовані дуги, що з'єднують вузли. Кожній стрілці відповідає та чи інша робота, що розуміється як процес із заданою тривалістю. Одним з основних завдань, що вирішуються при аналізі мережевих моделей, є визначення часу настання кожної події і можливостей варіювання часу початку і закінчення кожної роботи. Порівняно

з *L*-формою мережеві моделі дозволяють краще уявити технологічні зв'язки, що визначають можливі послідовності робіт.

Але також, як і логічні схеми, мережеві моделі відрізняються низькою наочністю і повинні супроводжуватися пояснювальними таблицями, що зумовлює доцільність їх використання головним чином в дослідницьких цілях.

Переваги *B*-форми та *T*-форми обумовлюють перспективність їх застосування в цілях структурування інформації про діяльність чергової зміни РДЦ (зокрема, в різних документах і навчальних посібниках). Для опису складної поліалгоритмічної діяльності пропонується групувати блоки алгоритмів діяльності у вигляді стовпців таблиці для тих чи інших авіаційних диспетчерів чергової зміни РДЦ. Тим самим буде реалізований блочно-таблична мова представлення алгоритмів (мова МСА/Т) і використані переваги як *B*-форми так і *T*-форми. Крім того, застосування мови МСА/Т дозволить спростити процес виявлення і вдосконалення взаємодії між різними диспетчерами чергової зміни.

Вибір способів зберігання, пошуку, відтворення та коригування інформації про діяльність чергової зміни РДЦ. Через обмежені можливості людини з обробки інформації про алгоритми діяльності чергової зміни РДЦ (рис. 1), комплексне вирішення питань зберігання, пошуку і оперативного використання цієї інформації в ході виконання завдань управління повітряним рухом можливе тільки із застосуванням сучасних інформаційних засобів. При цьому необхідно включення в систему основних або допоміжних АРМ для відображення додаткової інформації про необхідні алгоритми діяльності в різних ситуаціях. Для забезпечення вдосконалення способів дій по мірі освоєння системи доцільно передбачити можливість розширення бібліотеки

алгоритмів діяльності і їх коригування в процесі експлуатації АСУ.

Питання оптимізації пошуку інформації про алгоритми діяльності, необхідні в тих чи інших ситуаціях, з використанням різних документів (посібників, інструкцій) можуть вирішуватися на основі раціональної побудови цих документів (наприклад, за рахунок введення предметного покажчика типових ситуацій і пов'язаних з ними алгоритмів). Для систем зберігання, обробки і відображення інформації про моделі діяльності на базі ЕОМ пошук потрібної інформації може бути організований на основі стандартних програм каталогів, підкаталогів, "меню", "вікон" і т.п.

Застосування моделей діяльності для цілей навчання і оцінки рівня підготовки чергової зміни РДЦ ґрунтується на тому факті, що модель є зразком (еталоном) діяльності в певних ситуаціях, до якого має прагнути, особа, яку навчають або перевіряють. В даному випадку повинні бути виконані дидактичні вимоги по наочності і доступності навчального матеріалу. Проведений вище аналіз особливостей різних форм представлення алгоритмів діяльності призводить до висновку, що зазначеним вимогам найбільшою мірою задовольняє блочно-таблична форма, побудована на основі методу структурно-алгоритмічного аналізу.

Але при цьому необхідно організувати контроль ситуацій, що виникають, і виконаних дій, враховуючи переваги і недоліки різних методів реєстрації даних (табл. 1). Важливість здійснення об'єктивного контролю реалізованих алгоритмів діяльності обумовлюється з одного боку необхідністю отримання достовірних даних про досягнутий рівень підготовки диспетчерів, а з іншого боку – можливістю використання диспетчерами моделей діяльності з новою, раніше невідомою структурою.



Рис. 1. Характеристики людини в системі збору та обробки інформації

Таблиця 1 – Переваги та недоліки автоматичних методів реєстрації даних

Переваги	Недоліки
1. Більша чутливість та точність. 2. Можливість реєстрації параметрів, які не сприймаються органами почуттів людини. 3. Можливість виключення суб'єктивних та систематичних помилок. 4. Можливість багаторазового відтворення даних. 5. Можливість оперативної реєстрації та одночасної обробки.	1. Недостатня універсальність. 2. Потребують більш витрат. 3. Можливість несправностей. 4. Необхідність постійного технічного забезпечення та обслуговування. 5. Складність пристосування до варіативних умов проведення перевірок.

Таким чином, можна виділити наступні аспекти застосування моделей діяльності чергової зміни РДЦ: оперативне інформування диспетчерів про алгоритми діяльності рекомендовані в даних ситуа-

ціях (A_1); навчання авіаційних диспетчерів по зразкам (еталонам) фрагментів роботи з обслуговування повітряного руху (A_2); контроль досягнутого рівня підготовки авіаційних диспетчерів (A_3); визначення

показників відомих алгоритмів діяльності (A_4); побудова нових алгоритмів діяльності і визначення їх показників (A_5).

ВИСНОВКИ

Зіставлення переваг і недоліків різних форм представлення інформації про моделі діяльності чергової зміни РДЦ дозволило виявити перспективність запропонованої блочно-табличної форми з метою опису складної поліалгоритмічної діяльності

чергової зміни РДЦ та визначення характеру взаємодій між авіаційними диспетчерами.

Показано, що важливість здійснення об'єктивного контролю реалізованих алгоритмів діяльності чергової зміни РДЦ обумовлюється з одного боку необхідністю отримання достовірних даних про досягнутий рівень підготовки авіаційних диспетчерів, а з іншого боку можливістю використання диспетчерами моделей діяльності з новою, раніше невідомою структурою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Grishmanov D., Pukhalska H., Yarokhovytsch O., Pysarchuk O. Application of the structural-algorithmic analysis method for modeling work duty shift area control centers // Сучасні інформаційні системи, — 2018. — №1. — С. 5-10.
2. Павленко М. А. Залежність функціональних станів оператора від комплексу зовнішніх та внутрішніх факторів при роботі з АСУ / М. А. Павленко, О. А. Черток, Є. А. Толкаченко, В. П. Ясинецький // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. — 2017. — № 4. — С. 111-114.
3. Математические основы эргономических исследований: монография / Бердник П.Г., Кучук Г.А., Кучук Н.Г., Обидин Д.Н., Павленко М.А., Петров А.В., Руденко В.Н., Тимочко А.И. — Кропивницький : КЛА НАУ, 2016. — 248 с.
4. Основи теорії систем та системного аналізу: підручник / Павленко М.А., Петров О.В., Хмелевський С.І. та ін. — Харків : ХНУПС, 2018. — 215 с.
5. Чинченко Ю.В. Подходы к автоматизации контроля уровня готовности авиадиспетчеров к действиям в кризисных ситуациях / Ю.В. Чинченко // Искусственный интеллект. — Донецк: «Наука і освіта», 2003. — №4. — С. 378-383.
6. Чинченко Ю.В. Автоматизация управления уровнем готовности авиадиспетчеров к действиям в кризисных ситуациях / Ю.В. Чинченко // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем». — Кировоград: ГЛАУ, 2003. — С. 67-68.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. В. Козелков,
Державний університет телекомунікацій, Київ
Received (Надійшла) 18.04.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.07.2018

Анализ форм представления информации о модели деятельности дежурной смены РДЦ

Д. Е. Гришманов, А. Ю. Несмиян, Ф. А. Барилук, С. А. Толкаченко

Предметом анализа в статье являются формы представления информации о модели деятельности авиационных диспетчеров дежурной смены районного диспетчерского центра (РДЦ) системы обслуживания воздушного движения. **Целью** является выбор рациональных форм представления информации о процессах деятельности авиационного диспетчера при обслуживании воздушного движения. **Задачи:** обосновать перспективность блочно-табличной формы представления информации с целью описания сложной полиалгоритмической деятельности дежурной смены РДЦ и определения характера взаимодействий между авиационными диспетчерами. Получены следующие **результаты.** Проведен анализ возможных форм представления информации о модели деятельности дежурной смены РДЦ. Выбран способ хранения, поиска, воспроизведения и корректировки информации о деятельности дежурной смены РДЦ. **Выводы.** Для представления информации о процессах деятельности дежурной смены РДЦ было предложено применять блочно-табличную форму, которая позволяет учитывать полиалгоритмичность деятельности авиационных диспетчеров. Указано на важность осуществления текущего объективного контроля с целью получения возможности оценки деятельности авиационного диспетчера в дальнейшем.

Ключевые слова: авиационный диспетчер; районный диспетчерский центр; моделирование деятельности авиационного диспетчера; формы представления информации.

Analysis of the forms of representation of information about the model of the developmental change activity of the ACC

D. Grishmanov, O. Nesmiian, F. Baryiluk, Yu. Tolkachenko

The **subject matter** of the article are the forms for presenting information on the model of the operation of air traffic controllers of the duty shift of the regional dispatch center (ACC) of the air traffic services system. The **goal** is the choice of rational forms of presentation of information on the processes of the operation of the air traffic controller in the maintenance of air traffic. The **tasks** to substantiate the prospect of a block-tabular form of information representation in order to describe the complex poly-algorithmic activity of the duty shift of the ACC and to determine the nature of the interactions between the air traffic controllers. The following **results** were obtained: The analysis of possible forms of representation of the model of the activity of duty shift of the ACC is carried out. The way of storing, searching, reproducing and updating information on the activity of the duty shift of the ACC is selected. **Conclusions.** To provide information on the processes of the duty shift of the ACCs, it was proposed to use a block-tabular form that allows taking into account the multi-algorithmicity of the operations of air traffic controllers. It is indicated the importance of implementing the current objective control in order to obtain the possibility of assessing the activities of the aircraft controller in the future.

Keywords: aviation dispatcher; area control center; modeling of the air controller activities; forms of presentation of information.

М. А. Павленко¹, С. Г. Шило¹, О. М. Дмитрієв²

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

²Кіровоградська льотна академія національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

В роботі представлено підходи до розробки моделі функціональної діяльності оператора автоматизованої системи управління повітряним рухом (АС УПР). Модель враховує обов'язкові етапи та дії операторів по оцінці обстановки, що складається в зоні відповідальності. Запропоновано граф схему для опису подій, дій та переходів в процесі функціональної діяльності. Наведено аналітичні вирази, які пояснюють порядок отримання кількісних характеристик окремих складових моделі. Отримано площинну ієрархічну модель діяльності оператора АС УПР. Запропонована модель дозволяє більш точно визначити структуру діяльності оператора, виділити основні матеріальні та нематеріальні сторони діяльності оператора. При цьому основні однотипні дії оператора виділяються в рамках єдиної площини і можуть бути піддані вивченню самостійно та відособлено і при подальшому уточненні характеристик діяльності знову можуть включатися в розроблювану модель. Наведена модель дозволяє реалізувати переваги методу поетапного моделювання як до всієї моделі в цілому, так і щодо кожної площини окремо. Це має в підсумку дозволити підвищити точність і адекватність побудови моделі діяльності оператора.

Ключові слова: особа, що приймає рішення; функціональна діяльність; система підтримки прийняття рішень; інформаційна модель, засоби відображення інформації; орієнтовний граф; площинна ієрархічна модель.

Вступ

Автоматизація процесів інформаційного забезпечення діяльності операторів на пунктах управління займає центральне місце, при вирішенні комплексної проблеми автоматизації процесів управління повітряним рухом. Одними з вирішальних умов організації та успішного реагування на зміни ситуацій повітряної обстановки є обґрунтоване і своєчасне прийняття рішень по управлінню повітряним рухом [1, 2, 5-7]. Діяльність операторів автоматизованих систем управління протікає в умовах невизначеності і динамічності змін ситуацій повітряної обстановки; дефіциту часу на вироблення управлінських рішень; інформаційного перевантаження.

Постановка проблеми. Вдосконалення процесів прийняття рішень операторами АС УПР є двоєдиним завданням. З одного боку, необхідно удосконалювати способи обробки та аналізу інформації для системи підтримки прийняття рішень. З іншого боку, потребують вдосконалення методи синтезу та інтерпретації інформаційних моделей (ІМ) для інформаційної підтримки прийняття рішень операторів АС УПР. При цьому виникає проблема адекватного подання процесу функціональної діяльності операторів АС УПР для можливості подальшої формалізації процесів підтримки прийняття рішень операторів в АС УПР.

Аналіз остатніх досліджень і публікацій. Діяльність операторів в складних ергатичних системах, достатньо повно досліджена в ряді робіт, присвячених проблематиці ергономіки та інженерної психології [2-9]. Згадані роботи дозволяють отримати формалізовані описи функціональної діяльності при вирішенні задач управління в складних системах. В роботі [6] запропоновано виділити основні та допоміжні дії операторів в процесі сприйняття та оцінки інформації, а також отримано аналітичні вирази для оцінок часових характеристик процесу інформаційного пошуку.

Відкритими та недостатньо розглянутими є питання отримання моделей функціональної діяльності осіб, що приймають рішення (ОПрР), які б дозволяли прозоро враховувати структурні елементи діяльності оператора та при цьому надавали можливість досліджувати, змінювати або модифікувати лише окремі риси моделі, не порушуючи при цьому цілісність і характер інших складових загальної моделі діяльності.

Розроблені раніше моделі діяльності оператора АС УПР не дозволяють досліджувати, змінювати або модифікувати лише окремі риси часткових складових моделі, не порушуючи при цьому цілісність і характер інших складових загальної моделі [1-10].

Метою статті є розробка моделі діяльності оператора АС УПР, яка враховує етапи функціональної діяльності по оцінці обстановки, що складається в зоні відповідальності. Модель має дозволити враховувати структурні елементи діяльності оператора та отримувати кількісні характеристики окремих дій в процесі оцінки обстановки.

Виклад основного матеріалу дослідження

Під терміном діяльність оператора АС УПР мається на увазі логічна послідовність дій, згідно з функціональними обов'язками особи, що приймає рішення в АС УПР. При цьому кожна дія має кількісну характеристику.

Діяльність оператора в системі управління повітряним рухом включає такі основні етапи [2, 5]: сприйняття інформації про об'єкти, процеси та явища; переробка інформації; формування концептуальної моделі (КМ); аналіз концептуальної моделі; адаптація і модифікація концептуальної моделі; прийняття рішення про необхідні дії; виконавчі дії.

У кожному з цих етапів, в свою чергу, можна виділити елементарні дії (операції): фіксація погля-

ду і впізнання характеристики; переробка інформації і прийняття рішення; переміщення погляду в межах інформаційного поля засобу відображення інформації (ЗВІ); переміщення погляду від одного ЗВІ до іншого; перекодування інформації у внутрішній алфавіт; перекодування в алфавіт концептуальної моделі; виконавчі дії, тощо.

Слід зазначити, що такі функціональні операції діяльності ОПРР як формування і модифікація КМ дуже важко піддаються опису і адекватному відображенню в моделі, тому при її розробці виникає необхідність введення уявних вершин, які відповідають операціям роботи з КМ. Це, в свою чергу, дозволяє врахувати витрати часу на підготовку прийняття рішення, що в відомих моделях часто не підлягає врахуванню безпосередньо, а це в свою чергу вносить похибки в отримані результати. Для систем реального часу, таких як АС УПР даний чинник може мати критичне значення.

Алгоритм розв'язання задачі оператором може бути поданий в операторній формі, у вигляді блок-схеми або у вигляді граф-схеми [8]. Останній спосіб представлення алгоритму, поряд з наочністю дозволяє проводити кількісну оцінку діяльності оператора і найкращим чином задовольняє цілям дослідження.

Множина дуг графа позначається через U . Множина цілком визначає відображення графа і навпаки Γ , цілком не визначає U , тому граф можна записати у вигляді: $G = (X, U)$.

При побудові граф-схеми моделі діяльності оператора АС УПР слід врахувати, що в реальній обстановці оператор може часто повторювати виконання деяких операцій декілька разів, і навіть повертатися до тих операцій, які вже були виконані. В цьому випадку в графі з'являються петлі і контури.

Очевидно, що наявність петлі призводить до послідовного виконання однієї і тієї ж операції, повторне виконання якої має характеризувати ймовірністю реалізації петлі P_n .

Середній час виконання операції при наявності петлі визначається як [3]:

$$\bar{t}_x = \sum_j (t_x + j t'_x) P_n^j,$$

де t_x – час виконання операції x за відсутності петлі, t'_x – час повторного виконання операції x , $j = 1, 2, \dots, n$ – число реалізацій петлі.

Також при реалізації діяльності оператора в виді графа можуть виникати контури [6]. Контуром є кінцевий шлях $\mu_1 = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_1]$, у котрого початкова вершина співпадає з кінцевою [4]. Шлях $\mu_1 = [x_a, x_2, x_3, x_4, x_5, x_k]$, на котрому всі операції повинні бути виконані з імовірністю $P_\mu = 1$ є основним. Шлях μ_1 при розв'язанні задачі оператором може виникати з імовірністю $P_k > 0$ в тому випадку, коли після виконання операцій на шляху $\mu' = (x_1, x_2, x_3) \in \mu$ виконується множина операцій $x \notin \mu$, але $x \in \mu_1$. Ймовірність та число повторення

операцій на μ_1 визначається характером задачі, яка вирішується, структурою інформаційного поля ЗВІ, психофізіологічними особливостями оператора, тощо.

В динаміці рішення задачі операції на μ_1 виконуються послідовно за операціями на μ' . Час їх виконання складає:

$$t_{\mu_1} = \sum_{t_{x_i} \in \mu_1} t_{x_i},$$

де t_{x_i} – час виконання x_i -ї операції.

Кількість операцій x_i при рішенні y_k задачі визначається тим, які ЗВІ використані для побудови інформаційної моделі. Окрім цього вибір ЗВІ впливає на кількість операцій x'_j і x''_s .

Через $X = x^* \cup x' \cup x''$ позначається множина всіх операцій, котрі необхідно виконати при вирішенні задачі y_k , використовуючи всі можливі комплекси ЗВІ. Будь яка підмножина операцій $x \subset X$, при виконанні котрих задача y_k може бути вирішена, позначаються через x^+ .

Порядок побудови графа рішення задачі управління при використанні всіх можливих комплексів ЗВІ буде наступним.

Спочатку для кожного комплексу ЗВІ будується алгоритм рішення задачі y_k управління в виді орієнтованого графу $G = (x_i^*, \Gamma)$. Далі проводиться об'єднання усіх G_i :

$$G(X, U) = \bigcup_i G_i,$$

де $X = \{x_i\} = \bigcup_i x_i^+$ – множина вершин, $U = \{u_{ij}\}$ – множина дуг u_{ij} , в графі G . Множина X включає в себе x_a і x_k , для котрих справедливо:

$$\Gamma^{-1}x_a = \emptyset, \Gamma x_k = \emptyset.$$

Отриманий таким чином граф G володіє наступною властивістю: для кожної дуги $u_{ij} \in$ хоча б один шлях μ_e із початкової вершини x_a в кінцеву x_k , котрий включає дану дугу.

Приклад моделі діяльності оператора АС УПР у вигляді орієнтованого графу, що побудовано з дотриманням правил зазначених раніше наведено на рис 1. Інтерпретацію вершин та дуг побудованої моделі діяльності оператора АС УПР наведено в табл. 1 та 2 відповідно.

Для виду діяльності оператора, що досліджується, процес сприйняття інформації фактично зводиться до інформаційного пошуку, тобто до знаходження в ІМ об'єктів (ознак), що характеризують властивості обстановки, яка складається. До таких ознак можуть належати наприклад вихід повітряного судна з повітряного коридору, порушення порядку ешелонування, конфліктна ситуація в ближній зоні аеродрому, тощо.

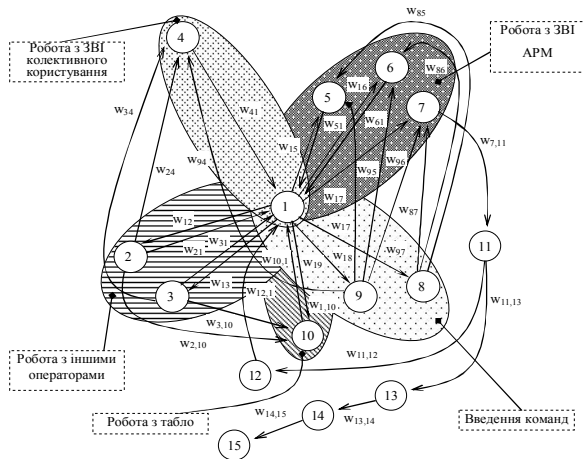


Рис. 1. Модель діяльності оператора АС УПР

Таблиця 1 – Події моделі діяльності оператора

Подія	Зміст події
1	Початок роботи ОПРР
2, 3	Взаємодія ОПРР з іншими операторами
4	Аналіз інформації, котра відображується на ЗВІ КК виконано
5	Аналіз загальної інформації, котра відображується на екрані АРМ виконаний
6	Аналіз узагальненої інформації на екрані АРМ виконаний
7	Аналіз інформації котра подана в ІМ виконаний
8	Введення інформації з клавіатури проведено
9	Введення інформації з використанням маніпулятора миша проведено
10	Додаткова інформація з планшетів і табло сприйнята
11	Оцінка інформації виконана
12	Рішення не прийнято
13	Рішення прийнято
14	Моторна дія виконана
15	Рішення задачі завершено

Таблиця 2 – Інтерпретація вершин моделі діяльності оператора

Переходи	Дії, котрі виконує оператор при переході з одного стану в інший
$w_{4,1}, w_{5,1}, w_{6,1}$	Сприйняття оператором інформації на ЗВІ КК та на екрані АРМ
$w_{10,1}$	Сприйняття оператором додаткової інформації, котра відображується за допомогою планшетів и табло
$w_{11,12}, w_{11,13}$	Прийняття рішення
$w_{13,14}$	Підтвердження команди на прийняття рішення
$w_{14,15}$	Кінець рішення задачі

Поряд з основними операціями сприйняття і оцінки інформації, що відображується ОПРР видає розпорядження та приймає доповіді про результати рішення часткових задач іншими операторами АС УПР. Умовно такі дії можуть бути визначені як допоміжні [5]. Таким чином час оцінки обстановки t_{OBO} залежить від часу пошуку інформації t_{un} та часу виконання допоміжних дій t_e :

$$t_{OBO} = t_{un} + t_e.$$

Час інформаційного пошуку є складною функцією ряду аргументів [4, 6]:

$$t_{un} = f(N, p_a, ПФ),$$

де N – осяг інформаційного поля (загальне об'єктів); p_a – апіорна ймовірність успіху на 1-му кроці пошуку; $p_a = M/N$, де M – число об'єктів, що відшукуються та володіють заданими ознаками; ПФ – психологічні фактори, що стосуються організації засобів відображення і роботи ОПРР з ними (яскравість зображення B , контрастність K , кутові розміри поля Θ і знаків ϑ , тактика пошуку T , тощо).

Аргументи останньої групи можуть вважатися постійними для системи, яка розглядається. Відповідно необхідно визначити залежність часу t_{un} від наступних аргументів:

$$t_{un} = \phi(N, p_a) = \phi(N, M).$$

При обробці інформації, яка представлена на ЗВІ, час який витрачається на одну фіксацію погляду на об'єкті, майже не залежить від того цільовий чи фоновий об'єкт фіксується оком. В залежності від умов сприйняття час фіксації погляду складає: $t_{\phi} = 0,025, \dots, 0,65$ с і більше [2].

В ряді досліджень [2, 5, 6] показано, що для орієнтовної оцінки часу пошуку інформації в ІМ, можна використовувати вираз:

$$\bar{t}_{un} \cong \frac{N+1}{M+1} \bar{t}_{\phi}.$$

Час виконання допоміжних дій (t_e) також являється складною функцією ряду аргументів:

$$t_e = f(\bar{t}_{p,k}, \bar{t}_{op,k}, p_k),$$

де $\bar{t}_{p,k}$ - час видачі розпоряджень про підготовку необхідних даних і прийом доповідей при вирішенні k -ої допоміжної задачі при оцінці обстановки ($k = 1, 2, \dots, K$); $\bar{t}_{op,k}$ - час рішення k -ої допоміжної задачі;

p_k – апіорна ймовірність виникнення k -ої допоміжної задачі. Досвід розробки моделі (рис. 1) дає підстави для формування удосконаленого підходу щодо моделювання діяльності оператора АС УПР.

При розробці моделі окремим етапом необхідно виділити наступні характерні структурні елементи діяльності оператора: рецепторна діяльність; інтелектуальна діяльність; психомоторна діяльність; фактори, що впливають на діяльність (шум, температура, вологість, тиск, забрудненість, тощо).

Структурі діяльності оператора властива деяка невизначеність в послідовності етапів переробки інформації та вироблення рішень. Тому структура діяльності оператора не може розглядатися як алгоритм його діяльності. Вона відображає тільки основні етапи, які не передбачаючи і не визначаючи їх послідовність і результати, одержувані після виконання кожного з етапів.

Виділення в діяльності оператора деяких відокремлених етапів (структурних елементів) дозволяє

розділити його діяльність на «шари» або «площини», що відповідають особливостям діяльності оператора і характеризуються певними операціями, що виконуються оператором. Таким чином, операції представлені в табл. 1, можна розділити на операції, пов'язані зі сприйняттям інформації, взаємодією із засобами управління комплексу засобів автоматизації, тощо. Тоді модель, діяльності ОПР, яку наведено на рис. 1, можна представити у вигляді площинної ієрархічної моделі наступним чином (рис. 2).

Позначки на отриманій площинній ієрархічній моделі відповідають операціям наведеному на графі (рис. 1) та в табл. 2. При цьому на відміну від графової моделі площинна ієрархічна модель діяльності дозволяє відображати основні сторони діяльності оператора зазначені раніше. Зв'язки між площинами мають логічний характер і відображають логіку переходів. При уточненні та деталізації моделі діяльності оператора даним зв'язкам можуть бути приписані різні характеристики, наприклад, значення ймовірності переходу між операціями (площинами) або витрати часу на переходи між ними.

При такому поданні моделі діяльності оператора стає можливим прозоро розглядати структуру його діяльності. Також виникає дуже корисна властивість щодо можливості досліджувати, змінювати або модифікувати лише окремі площинні моделі, не порушуючи при цьому цілісність і характер інших площин. Аналіз діяльності оператора з використанням площинної ієрархічної моделі дозволяє більш точно визначити структуру діяльності оператора, виділити основні матеріальні (об'єкти управління, засоби відображення інформації, елементи керування, тощо), а також нематеріальні (інтелектуальні, вольові, емоційні) сторони діяльності оператора. При цьому основні однотипні дії оператора виділяються в рамках єдиної площини і можуть бути піддані вивченню самостійно і відособлено і при подальшому уточненні характеристик діяльності знову можуть включатися в розроблювану модель.

При цьому модель на площині може бути: простою (є множина окремих однотипних операцій не пов'язаних між собою). Кожна операція має зв'язки тільки з елементами або групами елементів інших площин; складною (мається множина окремих однотипних операцій пов'язаних між собою). Можуть мати місце зв'язки як окремої операції, так і групи операцій з елементами або групами елементів інших площин; змішаною (мається множина окремих однотипних операцій, як пов'язаних, так і не пов'яза-

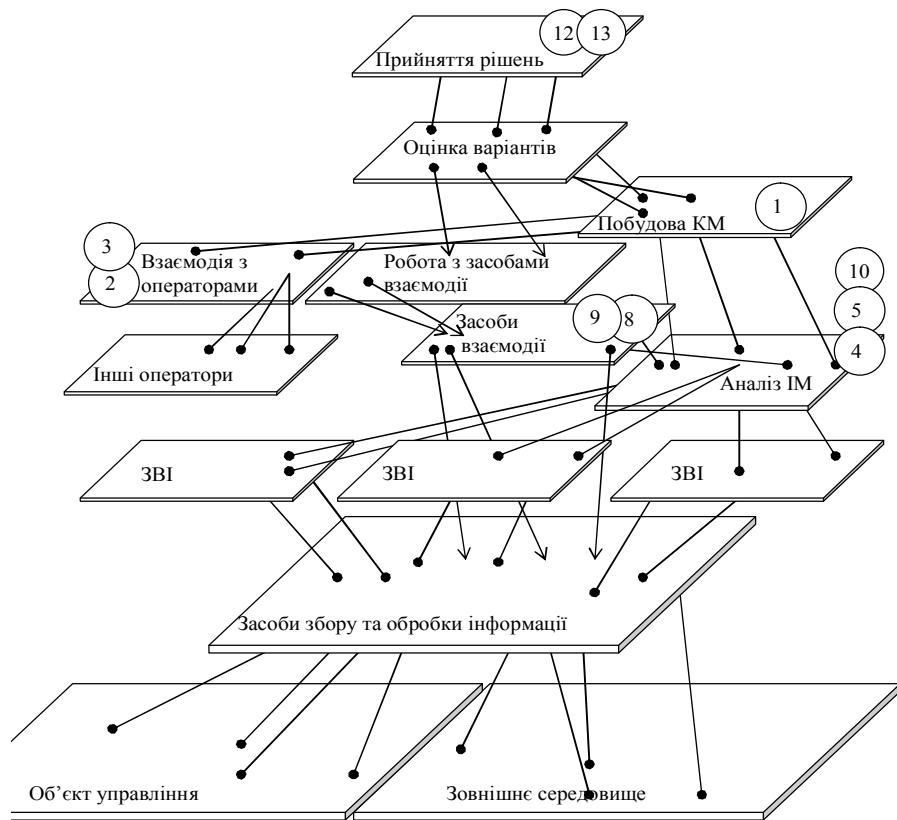


Рис. 2. Варіант площинної ієрархічної моделі діяльності оператора

них між собою). Можуть мати місце зв'язки як окремої операції, так і групи операцій з елементами або групами елементів інших площин.

Таким чином, при використанні запропонованого підходу до побудови моделі діяльності оператора можуть бути реалізовані всі переваги методу поетапного моделювання як щодо всієї моделі в цілому, так і щодо кожної площини окремо. Це має в підсумку дозволити підвищити точність і адекватність побудови моделі діяльності оператора в цілому.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Значні витрати часу на оцінку обстановки ОПР в АС УПР пов'язані з недоліками інформаційного забезпечення діяльності оператора. До основних з них належать недостатньо повний облік специфіки діяльності оператора при проектуванні системи інформаційних моделей, в тому числі і АРМ та неузгодження ергономічних властивостей інформаційних моделей з властивостями оператора. Існуючі моделі для подання процесу функціональної діяльності операторів АС УПР не дозволяють в повній мірі враховувати специфіку вирішення професійних задач, що не дозволяє досліджувати, змінювати або модифікувати лише окремі риси часткових складових моделі, не порушуючи при цьому цілісність і характер інших складових загальної моделі

Запропонована модель враховує етапи функціональної діяльності оператора по оцінці обстановки, що складається в зоні відповідальності та дозволяє враховувати структурні елементи діяльності оператора та отримувати кількісні характеристики окремих дій в процесі оцінки обстановки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Карлов В. Д. Разработка процедуры оценки опасности оперативно-тактической обстановки / В.Д. Карлов, М.А. Павленко, Н.А. Королюк // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Вип. 3(9). – Харків: ХУ ПС, 2012. – С. 110–113.
2. Павленко М. А. Метод анализа деятельности оператора автоматизированных систем управления воздушным движением / М.А. Павленко, П.Г. Бердник, И.Ю. Хромов // Системи обробки інформації. – Харків: ХУ ПС.- 2007.- Вип. 1(59).- С. 78-81.
3. Павленко М.А. Метод формализации знаний о процессе распознавания ситуаций нарушения правил движения воздушными судами / М.А. Павленко// Системи управління, навігації і зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ НіУ», 2012. – Вип. 2(22). – С. 86-92.
4. Полонський Ю. І. Формалізований опис процесу відбору інформаційних ознак для формування моделі повітряної обстановки / Ю.І. Полонський, І.О. Борозенець, С.Г. Шило, М.І. Литвиненко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил – 2016. – № 2. – С. 115-117.
5. Полонський Ю. І. Метод відбору інформаційних ознак для формування моделі повітряної обстановки / Ю.І. Полонський, І.О. Борозенець, С.Г. Шило // Системи управління, навігації та зв'язку – Полтава, Полтавський національний технічний університет, 2015. – Вип. 3(35). – С. 109-112.
6. Павленко М. А. Розподіл часу оцінки повітряної обстановки особою, що приймає рішення, в диспетчерській службі єдиної системи управління повітряним рухом / М. А. Павленко, С. Г. Шило, І. О. Борозенець, Ю. І. Полонський // Системи обробки інформації. – 2016. – № 8. – С. 37-39.
7. Шмелева Т. Ф. Формализация деятельности человека-оператора авиационной эргатической системы во внештатных ситуациях / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №. 5. – С. 296–300.
8. Кондратенко С. В. Методы анализа и моделирования деятельности операторов в процессе эргономического обеспечения разработки и эксплуатации человеко-машинных комплексов / С.В. Кондратенко, В.В. Спасенников // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. – №. 1. – С. 87.
9. Шило С. Г. Модель оцінки оперативної обстановки надзвичайної ситуації оперативно-диспетчерською службою МНС / С.Г. Шило, А.Б. Фещенко та інш. // Збірник наукових праць УЦЗ України. – 2009. – Вип. 9. – С. 170-176.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. І. Тимочко,

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

Received (Надійшла) 18.05.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.07.2018

**Модель функциональной деятельности оператора
автоматизированной системы управления воздушным движением**

М. А. Павленко, С. Г. Шило, О. Н. Дмитриев

В работе представлены подходы к разработке модели функциональной деятельности оператора автоматизированной системы управления воздушным движением (АС УВД). Модель учитывает обязательные этапы и действия операторов по оценке обстановки, которая складывается в зоне ответственности. Предложено граф схему для описания событий, действий и переходов в процессе функциональной деятельности. Приведены аналитические выражения, которые объясняют порядок получения количественных характеристик отдельных составляющих модели. Получено плоскостную иерархическую модель деятельности оператора АС УВД. Предложенная модель позволяет более точно определить структуру деятельности оператора, выделить основные материальные и нематериальные стороны деятельности оператора. При этом основные однотипные действия оператора выделяются в рамках единой плоскости и могут быть подвергнуты изучению самостоятельно и обособленно и при дальнейшем уточнении характеристик деятельности вновь могут включаться в разрабатываемую модель. Приведенная модель позволяет реализовать преимущества метода поэтапного моделирования как во всей модели в целом, так и по каждой плоскости отдельно. Это должно в итоге позволить повысить точность и адекватность построения модели деятельности оператора.

Ключевые слова: лицо, принимающее решение; функциональная деятельность; система поддержки принятия решений; информационная модель, средства отображения информации; ориентированный граф; плоскостная иерархическая модель.

Model of functional activity of the operator of the automated air traffic control system

M. Pavlenko, S. Shylo, O. Dmitriyev

The paper presents approaches to the development of the functional activity model for the operator of an automated air traffic control system (ATC AT). The model takes into account the mandatory steps and actions of operators in assessing the situation, which is formed in the area of responsibility. A graph is proposed for describing events, actions and transitions in the process of functional activity. Analytical expressions are given that explain the order of obtaining the quantitative characteristics of the individual components of the model. A planar hierarchical model of the ATC operator's activity was obtained. The proposed model allows to more accurately determine the structure of the operator's activity, to identify the main material and non-material aspects of the operator's activity. At the same time, the operator's main activities of the same type are singled out within a single plane and can be studied independently and separately, and with further specification of the characteristics of the activity can again be included in the developed model. The given model allows to realize the advantages of the method of stage-by-stage modeling both for the whole model as a whole and for each plane separately. This should eventually increase the accuracy and adequacy of constructing the operator's activity model.

Keywords: the person making the decision; functional activity; decision support system; information model, means of information display; oriented graph; planar hierarchical model.

Ю. Б. Ситник¹, В. В. Стадник²¹ Кропивницька льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОЛЯ В КАБІНІ БОЙОВОГО ЛІТАКА В УМОВАХ ЗАСТОСУВАННЯ ПОТУЖНИХ ВИБУХІВ

Підвищення багатофункціональності та характеристик бортового обладнання, збільшення обсягів інформації, що надходить на літак (який в даний час можна вже розглядати як елемент розподіленої інформаційно-ударної системи), а також зовнішні загрози, які можуть виникнути на театрі військових дій, пред'являють більш високі вимоги до відображення інформації і компонуванні кабін бойових літаків. Формування в кабіні літака інформаційного поля для виведення інформації льотчику при виконанні бойового завдання на бомбометання необхідно мати не тільки розраховані параметри області бомбометання з урахуванням типу засобів поразки, швидкості літального апарату, густини повітря та кута пікірування, а і необхідно враховувати рельєф місцевості, протидію об'єктові та зональній системи ППО. **Мета статті** – розробка методу визначення параметрів небезпечних зон впливу на літальний апарат під час виконання бойового завдання необхідних для надання інформації льотчику в реальному режимі часу на дисплеї в кабіні літака. **Висновки.** Забезпечення екіпажу виводом даної інформації в кабіні літака на тактичному дисплеї з прив'язкою до супутникової навігаційної системи дає можливість більш ефективно застосовувати засоби поразки, при цьому не входить в зони поразки своїх засобів і ефективно обходити зони поразки ППО противника. Побудова даних зон в трьохвимірному просторі повинно базуватися на автоматичному розрахунку зон поразки виходячи з фактичних параметрів польоту літака, типу авіаційного засобу поразки та типу ППО противника, які будуть протидіяти в заданому районі нанесення удару.

Ключові слова: інформаційне поле, область бомбометання, умови безпеки, літальний апарат, зона впливу, штучний зсув повітряних мас.

Вступ

Постановка проблеми. Підвищення бойових можливостей тактичної авіації в країнах НАТО пов'язується в першу чергу з поліпшенням льотно-технічних характеристик перебувають на її озброєнні літаків. Це досягається як за рахунок вдосконалення аеродинамічних характеристик планерів, силових установок і зброї, так і завдяки застосуванню додаткових, більш складних бортових систем. Використання останніх вимагає установки в кабінах все зростаючої кількості пристроїв відображення інформації та управління.

Найважливішими оперативно-тактичними вимогами, що пред'являються до бойових дій авіації, є раптовість, точність і своєчасність. Це, в свою чергу, вимагає від екіпажів літальних апаратів вміння точно виходити на задані наземні і морські цілі в строго призначений час, здійснюючи політ по таких траєкторіях, які забезпечують найбільш ефективне виконання поставленого завдання.

Комплекс заходів, що проводяться штурманською службою суб'єкта державної авіації з метою досягнення високої точності і надійності повітряної навігації, ефективності і якості бойового (спеціального) застосування, успішного вирішення завдань бойової (спеціальної) підготовки і безпеки польотів – є штурманське забезпечення польотів [1].

Нові інформаційні технології вимагають реорганізації підходів щодо управління та виконання штурманської підготовки льотного складу до виконання поставленого бойового завдання. Тому виникає науково-прикладне завдання, яке полягає у вирішенні протиріччя невідповідності існуючих підходів до підготовки льотного складу в штурманському відношенні, з одного боку, і необхідністю досягнен-

ня заданого рівня підготовки в мінімальні часові терміни та відповідною точністю з іншого.

Питання стоїть не тільки в автоматизації штурманських розрахунків перед виконанням польоту [2], а й в отриманні достовірної поточної інформації під час виконання польоту в складних умовах вогневої і інформаційної протидії противника, швидкої зміни оперативно-тактичної та метеорологічної обстановки в районі виконання польоту.

Звідси виникають питання: яку інформацію буде надавати льотчику інформаційне поле в кабіні літака при виконанні бойової задачі? В якому обсязі і як будуть проводитися розрахунки необхідних параметрів?

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні світові тенденції розвитку військової авіації вимагають нових, наукових підходів до організації рівня підготовки льотного складу, що ґрунтується на аналізі кінцевої мети підготовчого процесу – забезпечення готовності авіаційних частин (підрозділів) з високою ефективністю виконувати поставлені бойові завдання [3].

Рівень бортового інтелекту літака в більшому ступені визначається вдосконаленням радіоелектронних засобів, їх можливостями як інформаційних систем і датчиків [4]. Також на результативність бойового застосування значний вплив має бортове радіоелектронне обладнання. Але важлива складова інтелекту бойового літака полягає в спроможності виконувати покладені на авіаційний комплекс функції в протиборстві з противником, уміти перемогти в бою, залишившись неушкодженим в складній тактичній і інформаційній обстановці.

Задачі поточного призначення або корекції цілі функціонуванні, вибору способу доставки цієї цілі, його реалізації вирішуються сумісно екіпажем і апа-

ратно-програмними засобами бортових систем, основу яких складає алгоритмічне та інформаційне забезпечення бойових дій літака і застосування авіаційного озброєння [5].

Саме алгоритми, реалізовані в програмах бортової цифрової обчислювальної машини верхнього рівня (бойового застосування), сумісно з індикаційним полем кабіни літака будують інформаційно-керуюче середовище, в якому вирішуються завдання авіаційного бойового комплексу. Досягнення нових тактико-технічних можливостей авіаційного комплексу в результаті інтелектуалізації процедур з прийняття рішень, керування і обробки інформації, а також підвищення точнісних характеристик систем комплексу бортового обладнання з використанням нових інформаційних технологій дозволить забезпечити:

- переваги в повітрі за рахунок своєчасного і раціонального застосування керованого озброєння і засобів радіоелектронної протидії;

- ефективну оборону літального апарату від ракет противника класу «повітря-повітря» та зенітних керованих ракет;

- достовірну інформацію про зовнішню обстановку і підказку екіпажу літака про найкращий варіант виконання бойової задачі з урахуванням самозбереження [5].

Відповідно до вимог зарубіжних спеціалістів [6], до розроблювальних перспективних кабін з інтегрованим управлінням і підтримкою прийняття рішення для забезпечення дій багатофункціонального ударного літака пред'являється ряд вимог, із яких відзначається:

- забезпечити льотчику (екіпажу) ситуаційну обізнаність на всіх етапах польоту, на якому театрі військових дій і при будь-якій інтенсивності бойових дій, а також можливість застосування літака в будь-який час доби в простих і складних метеоумовах за рахунок інформації, одержуваної від усіх можливих джерел: бортових датчиків, зовнішніх джерел, включаючи також головки самонаведення керованої високоточної зброї;

- надати допомогу в плануванні виконання бойової задачі та її оперативного зміни в реальному масштабі часу, що передбачає наявність апаратури обміну даними, бортової бази даних і бортових експертних систем;

- забезпечити відображення інформації різних форматів і будь-якого обсягу (включаючи, наприклад, фотографію району цілі, отриману з розвідувального космічного апарату або безпілотного літального апарату [7]) і передбачити декілька способів управління бортовим радіоелектронним обладнанням;

- забезпечити виконання маловисотного польоту з обходом перешкод, що також передбачає наявність активних бортових систем з низькою ймовірністю перехоплення сигналу, інформаційних баз даних (з місцевістю польотів), системи синтезу тривимірних зображень;

- для забезпечення мінімальної помітності необхідно передбачити введення в бортову обчислювальну (експертну) систему сигнатур літака в інтересах підвищення безпеки польоту і ефективності

вирішення бойових завдань, також використання сигнатур літаків противника для визначення їх небезпечних зон дії озброєння;

- забезпечення відслідковування напрямку погляду і жестикуляції льотчика за допомогою нейрошоломів та застосування систем додаткової реальності.

Тому розробка і вдосконалення існуючих систем обробки інформації та індикації в кабіні літака має велике значення для збільшення бойової ефективності бойового літака.

Перспективна інформаційно-обчислювальна система бойового літака буде забезпечувати ефективне рішення тактичних задач протиборства з противником, задач бойового управління літаком і використанням високоточної зброї класів «повітря-повітря» і «повітря-поверхня», інформаційне забезпечення бойових режимів польоту з побудовою ситуаційної обізнаності екіпажу як основного елементу всієї системи. Причому інформаційне поле в кабіні літального апарату також повинне надавати інформацію про небезпечні зони впливу авіаційних засобів поразки на літак для забезпечення не попадання в них літака.

Мета статті – розробка методу визначення параметрів небезпечних зон впливу на літальний апарат під час виконання бойового завдання необхідних для надання інформації льотчику в реальному режимі часу на дисплеї в кабіні літака.

Виклад основного матеріалу

Для формування інформаційного поля в кабіні бойового літака використовуються розрахунки щодо зон ураження засобів ППО противника. Але необхідно також мати обриси небезпечних зон застосування свого авіаційного озброєння для безпечного виходу з атаки. Методики розрахунку небезпечних зон застосування авіаційного озброєння були розроблені і використовуються для розрахунків бойового застосування авіації по наземних і повітряних цілях [8].

Питанням безпеки бомбометання завжди приділялося багато уваги. Проте в теперішній час вони придбали особливу актуальність. Це пояснюється використанням при бомбометанні малих та гранично малих висот [9], суттєвим збільшенням кількості авіабомб, які скидаються літаком в одній атаці, а також нанесення бомбардувальних ударів групами літаків по одній і тій самій цілі або по різних, але близько розміщених. Як відомо, вимоги до умов, які б забезпечували високу ефективність та безпеку бомбометання, в деяких випадках являються взаємно протилежними. Тому при плануванні польотів необхідно призначити такі умови скидання авіабомб, котрі, з одного боку, забезпечували досягнення найбільшої ймовірності враження цілі, а з іншого боку – повністю виключають можливість пошкодження своїх літаків [10]. Тому постала необхідність у відтворенні на дисплеї льотчика картографічної інформації у 3D з обриси небезпечних зон застосування авіаційних засобів поразки та протидії систем ППО противника (рис. 1, 2). Перспективним напрямком в області індикації картографічної інформації є створення повністю електронних засобів формування цифрової карти місцевості.

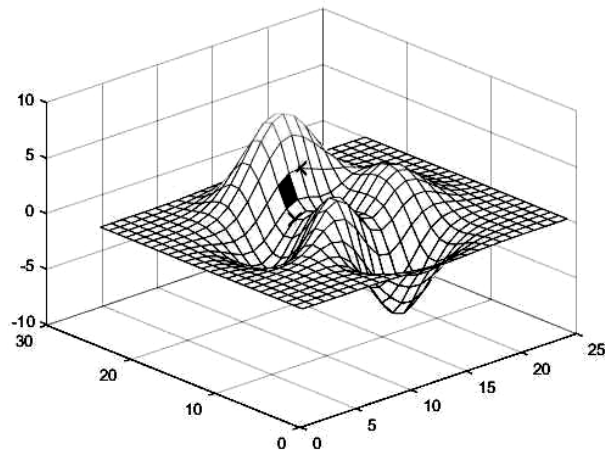


Рис. 1. Тривимірний модель поверхні Землі з нанесенням місця розташування об'єкту нанесення удару

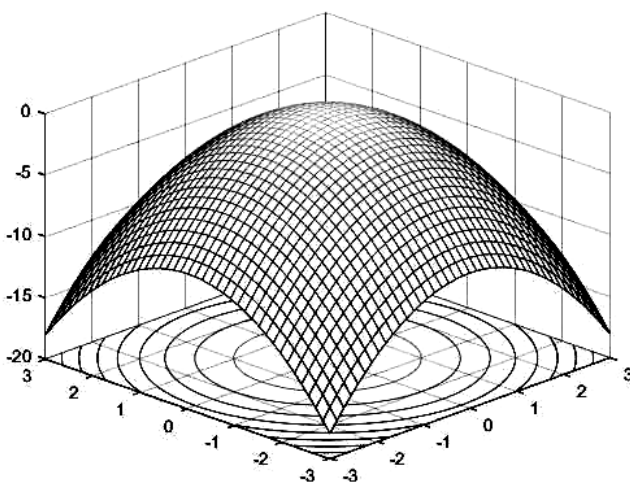


Рис. 2. Формування зони поразки літального апарату при нанесенні удару по наземній цілі

Так, фірма «Хьюз» на замовлення ВВС США розробляє апаратуру ITARS, за допомогою якої картографічна інформація відображається у вигляді тривимірної карти з кольоровим кодуванням особливостей рельєфу місцевості, споруд і дерев. Інформація надається льотчику в вигляді карти місцевості або синтезованого ЕОМ схематичного зображення лежачої попереду місцевості, як би видимої з літака. Відтворення здійснюється на індикаторах горизонтальної або вертикальної обстановки або на електронно-оптичному індикаторі з відображенням на тлі лобового скла.

На карту можуть бути накладені символи, отримані від РЛС, ІК станції та інших датчиків.

Крім того, картографічна інформація передається на інші системи літака для забезпечення автоматичного польоту в режимі проходження рельєфу місцевості, навігації та застосування зброї.

При виході апарату в район цілі льотчику необхідно мати інформацію про область та оптимальні умови застосування даного засобу.

Окрім цього також розраховується мінімальна відносна висота польоту перешкод у зоні (районі) виконання спеціальних завдань ($ОСН_{зони}$) [11]. Так,

наприклад, для розрахунків області та оптимальних умов бомбометання необхідно знати:

- швидкість літака в момент бомбометання, а також траєкторію його польоту після скидання авіабомб;

- висоту цілі над рівнем моря та температуру повітря в районі цілі, необхідних для розрахунку густини повітря;

- основні характеристики авіабомби – масу, площу міделя, балістичні характеристики авіабомби, характеристики її гальмівного пристрою, якщо він є, та інше;

- характеристики осколкуватості авіабомби – початкову швидкість осколків та її залежність від маси осколків і напрямків їх розльоту, закони розподілу осколків по величині маси і напрямкам розльоту, коефіцієнт сили лобового опору осколків та інше.

Область бомбометання (ОБ) при бомбометанні з пікірування визначається в координатах:

- D – дальність;

- H – висота бомбометання;

- λ – кут пікірування.

Ближня границя ОБ представляє собою сукупність точок, які розташовані на мінімальних відстанях бомбометання, які, в основному, визначаються:

- умовами безпеки;

- обмеженнями по максимальному перевантаженню та темпу його створення при виводі літака з пікірування;

- швидкістю літака на виводі із пікірування;

- технічними характеристиками детонаторів.

За параметр безпеки використовується мінімальна дальність виходу з атаки, яку визначають [7]:

$$D_{вих}(H_0) = 0,5 \cdot V_1 \cdot t_n + \frac{H_0 + R_{еув}(1 - \cos \lambda)}{\sin \lambda}; \quad (1)$$

$$D_{вих}(R_0) = 0,5 \cdot V_1 \cdot t_n + \sqrt{2 \cdot R_{еув} \cdot R_0 + R_0^2}. \quad (2)$$

Із двох значень, знайдених за рівняннями (1) і (2), приймається більше:

$$D_{вих} = \max \{D_{вих}(H_0), D_{вих}(R_0)\}. \quad (3)$$

На рис. 3 зображено схему розрахунку області бомбометання у вертикальному розрізі. Необхідно отримати 3D модель області бомбометання з урахуванням всіх вище наведених обмежень.

При застосуванні авіаційних засобів ураження великої потужності необхідно враховувати при побудові області бомбометання і проходження ударної хвилі, яка спричинює штучний зсув повітряних мас [12].

Так, для виведення інформації льотчику при виконанні бомбометання необхідно мати не тільки розраховані параметри області бомбометання з урахуванням типу засобів ураження, швидкості літального апарату, густини повітря та кута пікірування, а і необхідно враховувати рельєф місцевості, протидію об'єктовій та зональній системі ППО. Причому дана інформація не повинна загромаджувати інформаційне поле льотчика.

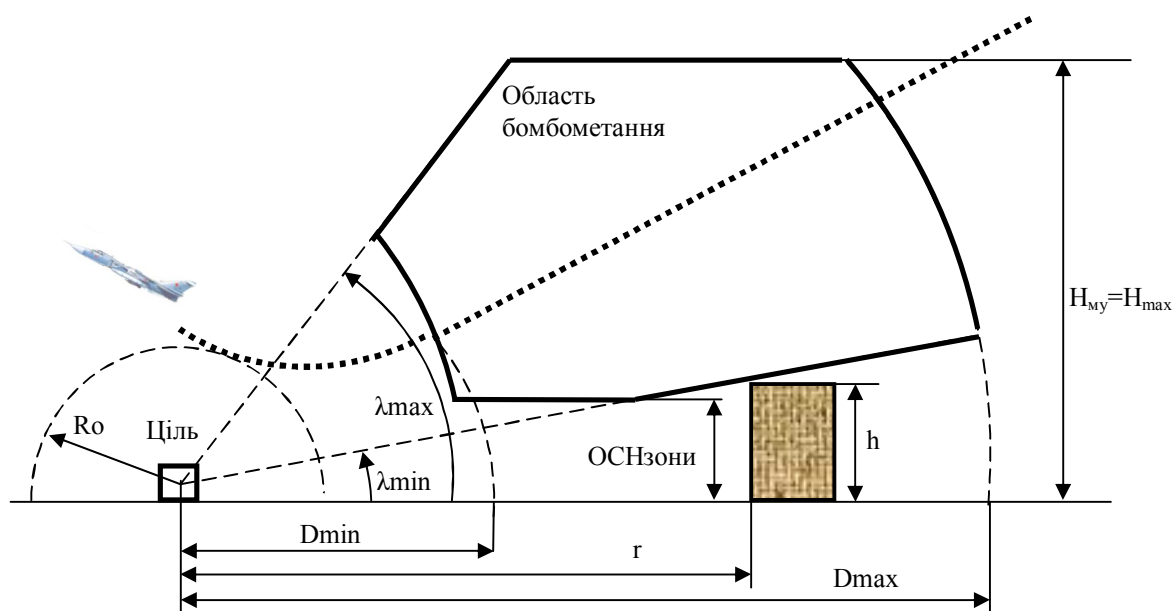


Рис. 3. Розрахунок області виконання бомбометання для літального апарату з урахуванням впливу небезпечних факторів

Одна людина (льотчик), приймаючи рішення про оптимальну траєкторію виходу до цілі і застосуванні зброї, повинна керувати літальним апаратом і використовувати пілотажні, навігаційні, зв'язкові, радіолокаційні і оптоелектронні системи, а також засоби державного впізнання і радіоелектронної боротьби. Крім того, льотчик повинен постійно контролювати виконання бойового завдання на основі інформації, отриманої від бортових розвідувально-прицільних засобів і зовнішніх джерел. Виконати такий обсяг функцій в процесі вирішення різних бойових завдань неможливо без об'єднання перерахованих вище засобів в комплексні інтегровані системи, а також без забезпечення їх взаємодії з льотчиком (екіпажем).

В процесі взаємодії льотчика з комплексом бортового обладнання літаків різних поколінь спостерігаються зміни, що обумовлює зміни компонування, структури і характеристик технічного вигляду інформаційно-керуючого поля кабін цих машин.

У міру збільшення складу обладнання та кількості розв'язуваних функціональних завдань необхідно збільшувати ступінь автоматизації роботи обладнання для зменшення навантаження на льотчика. Таким чином, ускладнення системи авіаційного радіоелектронного обладнання повинно супроводжуватися спрощенням роботи льотчика.

Висновки

Використання даного методу визначення небезпечних зон дії авіаційних засобів ураження, прив'язаних до 3D картографічної інформації в зоні виконання бойового завдання, в програмному продукту дає можливість швидко і точно спланувати нанесення удару літальним апаратом по цілям противника, а також можливість використання в бортових обчислювальних машинах для обчислення і надання льотчику інформації на тактичний дисплей з прив'язкою до місцевості чи до повітряної обстановки та зон поразки системи ППО противника в тривимірному просторі.

Забезпечення екіпажу виводом даної інформації в кабіні літака на тактичному дисплеї з прив'язкою до супутникової навігаційної системи дає можливість більш ефективно застосовувати засоби поразки, при цьому не входить в зони поразки своїх засобів і ефективно обходити зони поразки ППО противника.

Побудова даних зон в трьохвимірному просторі повинно базуватися на автоматичному розрахунку зон поразки виходячи з фактичних параметрів польоту літака, типу авіаційного засобу поразки та типу ППО противника, які будуть протидіяти в заданому районі нанесення удару.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Наказ МОУ №100 від 23 лютого 2016 року. Правила штурманського забезпечення польотів державної авіації України. <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0418-16>
2. Афанасьев В.В. Применение компьютера для штурманских расчетов на этапе предварительной подготовки к полету. / Афанасьев В.В. // Системы обработки информации. - 2006. - Вып. 6. - С.3-8.
3. Онипченко П.М. Напрямки підвищення оперативності і якості бойової підготовки льотного складу авіації ПС ЗС України. / П.М. Онипченко, М.А. Павленко, О.І. Тимочко// Системы обработки информации. - 2016. - Вып. 3(140). - С. 264-266.
4. Сітков О.М. Вибір ділянки корекції координат місцеположення літака з врахуванням геометричного фактору навігаційного поля радіонавігаційних систем. / О.М. Сітков, Ю.В. Афанасьев // Системы обработки информации. - 2016. - Вып. 3(140). - С. 103-106.

5. Баханов Л.Е. Системы управления вооружения истребителей. Основы интеллекта многофункционального самолёта. / Л.Е. Баханов, А.Н. Давыдов, В.Н. Корниенко, В.В. Слатин, Е.П. Федосеев, Е.А. Федосов, Б.Е. Федун, Л.Е. Широков. // М.: Машиностроение, 2005 - 400с.
6. Боровицкий Д. Системы отображения полётной информации: информационноуправляющее поле кабины летательных аппаратов. / Д. Боровицкий // Зарубежное военное обозрение. – 2005. – Вып. 2 – С.42-48.
7. Шамко Є. В. Основні особливості застосування Повітряних Сил в сучасних умовах ведення збройної боротьби / Є. В. Шамко, О. М. Жарик, В. В. Коваль // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2017. — Вип. 2. — С. 15-18.
8. Чикуров В.А. Основы боевого применения вооружения фронтовой авиации. / В.А. Чикуров, Н.А. Жук, Ю.С. Хаецкий, А.М. Барбарин, А.А. Давыдов. // Х: ХВВАУЛ, 1994. - 246с.
9. Алімпієв А.М. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2017. — Вип. 2. — С. 19-25.
10. Миропольський Ф.П. Методика проведення занять и выполнения расчётов по определению безопасных условий бомбометания. / Ф.П.Миропольський // Выпуск 189. ВВИОЛОРКА имени Н.Е.Жуковского, - 1978. – 54 с.
11. Наказ МОУ №700 від 09 грудня 2015 року "Про затвердження Правил польотів державної авіації в повітряному просторі України." <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1622-15>.
12. Колодяжний О.І. Моделювання небезпечних зон впливу штучного зсуву повітряних мас на динаміку руху високоманевренного літака. / О.І. Колодяжний, О.І. Тимочко. // Системи обробки інформації, – 2017. Вип. 1(147). – С. 80-87.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. В. Козелков,
Державний університет телекомунікацій, Київ
Received (Надійшла) 28.05.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.07.2018

Формирование информационного поля в кабине боевого самолёта в условиях применения мощных взрывов

Ю. Б. Ситник, В. В. Стадник

Повышение multifunctionality и характеристик бортового оборудования, увеличение объемов информации, поступающей на самолет (который в настоящее время можно уже рассматривать как элемент распределенной информационно-ударной системы), а также внешние угрозы, которые могут возникнуть на театре военных действий, предъявляют более высокие требования к отображению информации и компоновке кабин боевых самолетов. Формирование в кабине самолета информационного поля для вывода информации летчику при выполнении боевого задания на бомбометание необходимо иметь не только рассчитанные параметры области бомбометания с учетом типа средств поражения, скорости летательного аппарата, плотности воздуха и угла пикирования, а и необходимо учитывать рельеф местности, противодействие объектовой и зональной системы ПВО. **Цель статьи** - разработка метода определения параметров опасных зон влияния на летательный аппарат во время выполнения боевого задания, необходимых для предоставления информации летчику в реальном режиме времени на дисплее в кабине самолета. **Выводы.** Обеспечение экипажа выводом данной информации в кабине самолета на тактическом дисплее с привязкой к спутниковой навигационной системы дает возможность более эффективно применять средства поражения, при этом не входя в зоны поражения своих средств и эффективно обходить зоны поражения ПВО противника. Построение данных зон в трехмерном пространстве должно базироваться на автоматическом расчете зон поражения исходя из фактических параметров полета самолета, типа авиационного средства поражения и типа ПВО противника, будут противодействовать в заданном районе нанесения удара.

Ключевые слова: информационное поле, область бомбометания, условия безопасности, летательный аппарат, зона влияния, искусственный сдвиг воздушных масс.

The information field formation cockpit combat aircraft in the conditions for the application of powerful explosions

Yu. Sitnik, V. Stadnik

Increasing the multifunctionality and characteristics of on-board equipment, increasing the amount of information received by the aircraft (which can now be seen as an element of the distributed information-shock system), as well as external threats that may arise at the theater of military action, bring higher requirements for information display and layout of cockpits of combat aircraft. Formation in the cockpit of an information field for the information output of the pilot in the performance of the combat task for bombing must have not only calculated parameters of the area of bombing, taking into account the type of defeat, speed of the aircraft, air density and the angle of dive, but also need to take into account the terrain, counteraction to object and zonal air defense system. With the increase of equipment and the number of solved functional tasks, it is necessary to increase the degree of automation of the equipment to reduce the load on the pilot. Thus, the complication of the aviation ra-dioelectronic equipment system should be accompanied by simplification of the work of the pilot. **The purpose of the article** is the development of a method for determining the parameters of hazardous areas of influence on the aircraft during the execution of the combat task required to provide information to the pilot in real time mode on the display in the cockpit. **Conclusions.** The use of this method of determining the non-safe areas of aviation damage, linked to 3D cartographic information in the area of combat task, in the software program allows you to quickly and accurately plan the impact of an aircraft on the objectives of the protagonist. Providing the crew with the output of this information in the cabin of the aircraft on a tactical display with anchoring to the satellite navigation system makes it possible to more effectively use the means of defeat, while not entering the zone of defeat their means and effectively circumvent the areas of defeat enemy air defenses. The construction of these zones in a three-dimensional space should be based on the automatic calculation of the defeat zones based on the actual parameters of the flight of the aircraft, such as the aircraft means of defeat and the type of enemy air defense, which will counteract in the specified area of impact.

Keywords: information field, bombing area, safety conditions, aircraft, impact zone, artificial displacement of air masses.

B. Boriak

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

RELATIONSHIPS BETWEEN FILTER-EXTRAPOLATOR PARAMETERS AND QUALITY OF FILTRATION AND FORECAST

Introduction. In the article I analyzed the relationships between parameters of the adaptive exponential smoothing filter and quality of filtration and forecast. Adaptation principle of the exponential filter is based on use of the method of least squares. **Aims.** To analyze the quality of the algorithm's adaptation and define the conditions in which it can work appropriately. To get the information that describes connection between data processing parameters and quality of filtration and forecast. **Methodology.** I have applied concepts of time series analysis and mathematical simulation in Matlab package. **Results.** I have obtained approximate values of different parameters that describe conditions of the system or device in which this filtering and forecasting algorithm can be integrated. I assessed the quality of smoothing factor adaptation method establishing relationships between parameters. **Originality.** For the first time I have defined the relationships between rms-errors (filtration and forecast) and the following parameters: the number of steps which the forecast is made for, the quantity of steps which the data processing algorithm uses for quality estimation of filtering process, the value that defines acceptable error and smoothing factor initial value. I also got the information that describes the connection between some of the tparameters mentioned above. **Practical value.** I have built a structure of the data processing algorithm that can be integrated into different automated control systems. This research gives an opportunity to choose appropriate parameters of the filtering and forecasting algorithm that will give an ability to filter and make a prediction of a signal in channels of measurement and control channels. Proposed data processing algorithm can be implemented as a program for a microcontroller.

Keywords: data processing algorithm, exponential smoothing, noise, forecast, original signal, adaptation, smoothing factor.

Introduction

The task of the automated control system parameters optimization, as a rule, depends on the accuracy of the data obtained from the measuring devices, as well as the quality of control signals. Many automated control systems can not function without data processing algorithms such as filtration and prediction of the original signal.

The quality of filtration and prediction, as well as speed of the control process, depends on the parameters that determine the degree of the signal smoothing, the time which the forecast is made for and others. Sometimes the elements of the system, in which the filtering algorithm is integrated, are exposed to distortions that are not stationary. That is why the data processing algorithm must include the adaptation of the filter parameters.

Algorithms of adaptation operate with different speed due to the fact that data accuracy which is needed to estimate the quality of filtering process can be different and the resources that are necessary to implement data processing algorithm into computing machines are different as well.

This paper is the first one where I tried to conduct a comparative analysis of the exponential filter which adaptation process is based on use of the method of least squares [1], filter with two loops previously presented in [2] and the filter with three loops described in [3], trying to establish a relationship between the change in filter parameters and the magnitude of prediction and smoothing errors.

In this article I focused attention on the exponential smoothing filter whose adaptation algorithms is based on use of the method of least squares [1].

Formulation of the problem

There is a double exponential smoothing in the basis of all three filters structures, which can be conditionally called the simplest filtering element. The combination of these elements and connections between them form the main filtering structure which principle was previously presented in [4].

Each structure of the adaptation algorithm can be extended. It is well known that complex structure demands more resources than simple. That is why proposed algorithms should be analysed to get information about conditions and automated control systems in which data processing algorithms can be integrated before trying to make them more complex.

Different types of measuring and controlling devices can also impose limitations on data processing algorithm. In this case it is important to define the range of parameter values and their combinations that can give satisfactory results.

There are two main parameters which can influence on the quality of filtration and forecast excluding smoothing factor. They are the number of steps which the forecast is made for and the number of steps which the data processing algorithm uses for quality estimation of the filtering process. If we are talking about a filter which adaptation algorithms are based on use of the method of least squares there are

two more parameters that can significantly affect the quality of forecast and filtration. They are the value that defines acceptable error and the initial value of smoothing factor. The first of them is important because it is a key parameter in this method of adaptation and the second one is needed to be researched since this method of adaptation does not provide increase of smoothing factor.

Adaptation of the filter using the method of least squares

The algorithm of the filter's parameters adaptation based on the method of least squares working principle extend description was represented before [1]. Briefly I can present working principle with flowchart shown in the figure 1.

Filtering parameters are:

α – smoothing factor;

α_0 – smoothing factor initial value;

m – the quantity of steps which the forecast is made for;

e_t – the quantity of steps which the data processing algorithm uses for quality estimation of filtering process;

$\Delta\alpha$ – the value of smoothing factor change after estimation process;

e_{acc} – the value that defines acceptable error;

$x(k)$ – the value of input signal;

$x^*(k)$ – original signal;

$N(k)$ – noise or distortion;

n – the quantity of measurements;

t – the counter that checks whether the data array for estimation is filled;

$x_{pred}(k+m), x_{filt}(k)$ – predicted and filtered signal value;

$x_{pred}[e_t]$ – data array of predicted signal;

$x_{lms}(k)$ – the function that describes the approximated signal got with *polyfit* Matlab function on the basis of array $x_{pred}[e_t]$;

e_{rms} – root-mean-square error between values of the predicted signal and values of approximated signal.

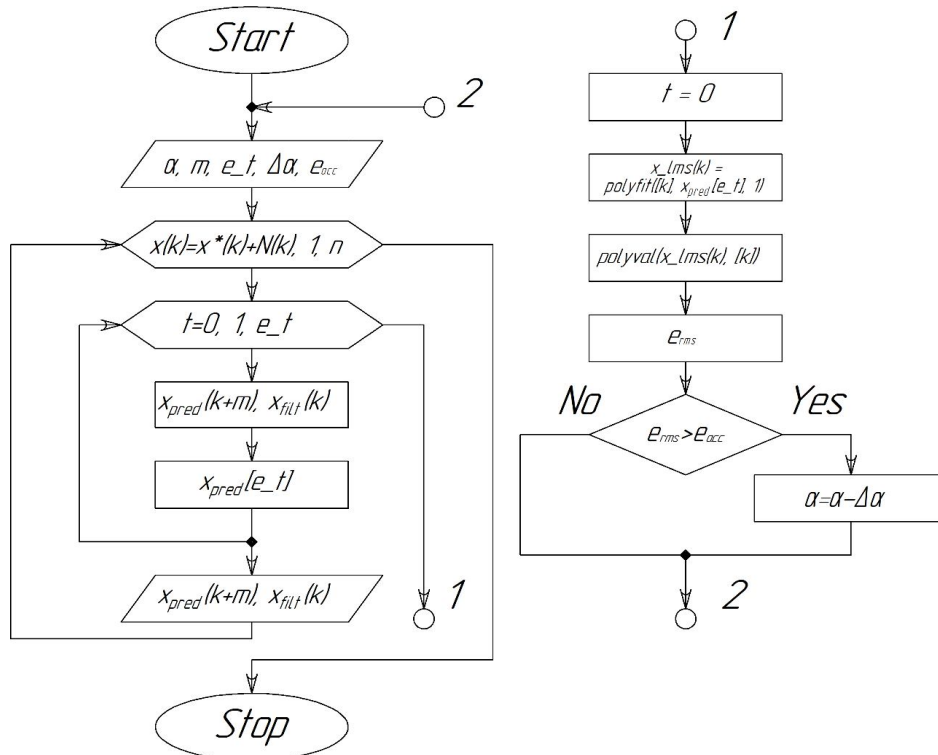


Fig. 1. Adaptation of the filter using the method of least squares flowchart

Relationships between rms-errors and filter parameters

As an input signal I used a sinusoidal wave signal distorted with white noise which standard deviation parameter is changing during the process.

The change of the standard deviation and the shape of the input and tracking signals are shown in the fig. 2.

The period of the sinusoidal wave signal is equal to 720 points and the amplitude value of the tracking signal is equal to 1.

I chose this signal because it includes both linear and nonlinear shapes.

For the quality estimation of filtration and forecast in this research I used two quantities. The first of them is the root-mean-square deviation (rms-error) between the original signal and filtered signal and the second is root-mean-square deviation between values of predicted delayed signal and original signal. The first relationship I researched was between rms-errors (filtration and forecast) and the smoothing factor initial value and the value of steps which the data processing algorithm uses for quality estimation of the filtering process.

First of all, I decided to research the case when the smoothing factor adaptation starts with different values of initial smoothing factor. Since the value of α can vary in a range of 0-1 I chose a range between 0.1 and 0.9.

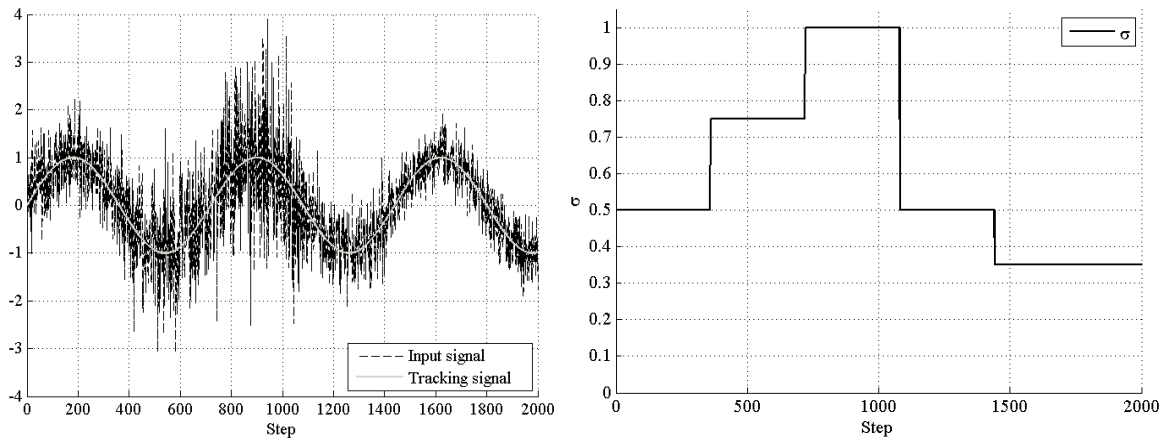


Fig. 2. Input and tracking signal (left plot), values of the standard deviation (right plot)

In this case the value of prediction steps is equal to 2. It means that in such conditions the data processing

algorithm works as a filter. The results of the simulation are shown in the fig. 3.

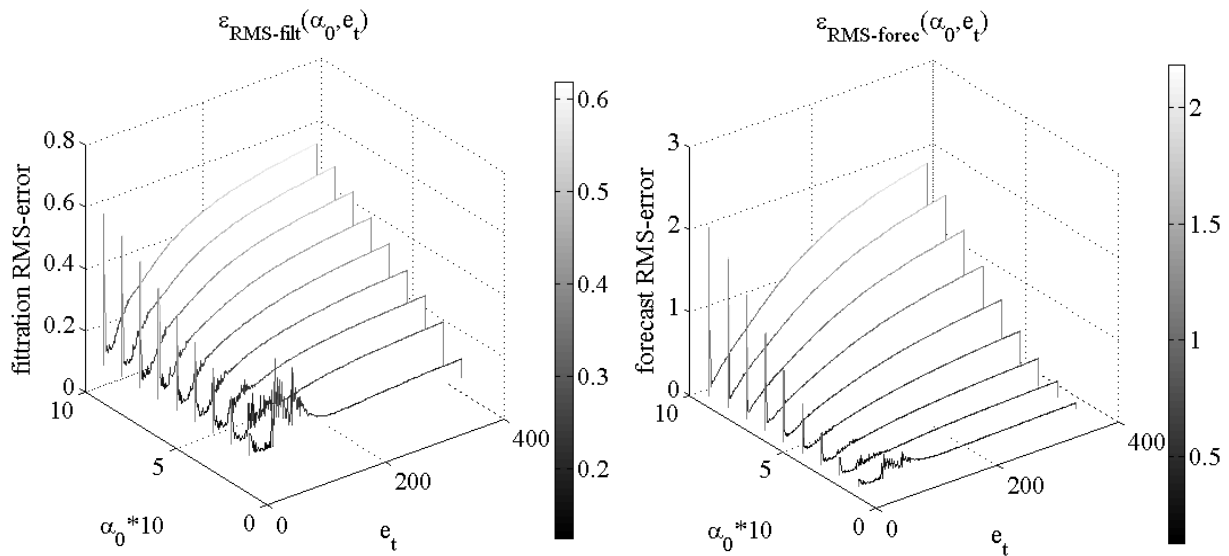


Fig. 3. Plots of the rms-errors (filtration and forecast) versus smoothing factor initial value and value of steps which the data processing algorithm uses for quality estimation of the filtering process

Analyzing graphics got after the simulation I made the following statements:

- Using low values of e_t (1,2,3) does not give information about the quality of the filtering process and it is unacceptable because of the high values of rms-errors.

- When data processing algorithm starts adapting to the distortion level from the high initial value of smoothing factor, increasing of the e_t value leads to increase of rms-errors. Using such composition of values is appropriate when there is lack of information that describes level of noise or distortion.

- Comparing different curves shown in the fig. 3 I defined that the least errors are available when e_t values lie in the range between small values that were described in the first statement and values use that lead to errors values fluctuations. In conclusion, the values of e_t that give the least values of rms-errors lie in a range between 10 and 20 approximately for such conditions when the original signal is a sinusoidal wave with a

period that is equal to 720 and with noise which amplitude value is changing during the process.

In the second research I tried to define the relationship between the rms-errors (filtration and forecast) and smoothing factor initial value and the value that defines acceptable error. The range of α_0 was the same as in the first research. The acceptable error values lay within the range from 0.01 to 1. The results of the simulation are shown in the fig. 4.

Analyzing the graphics shown in the fig. 4 I defined the following statements:

- In the case when we set a low value of acceptable error and low initial smoothing factor value, data processing algorithm inertia grows. This leads to the lag growth and error growth as well. That is why the combination of these two low values is unacceptable.

- The value that defines acceptable error is one of the main parameters that define the quality of filtration and forecast. It is clearly demonstrated in fig. 4. The growth of e_{acc} leads to the decrease of the accuracy

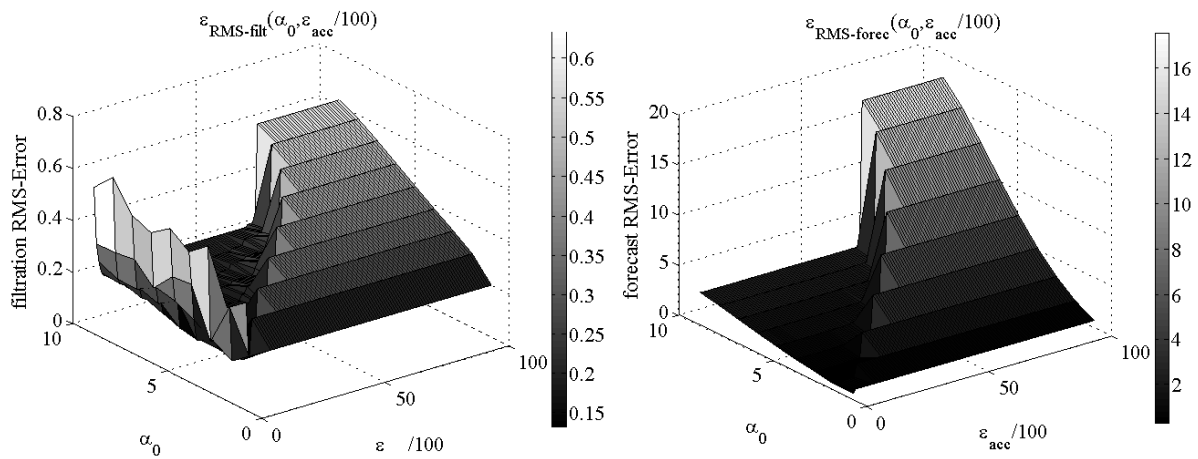


Fig. 4. Plots of the rms-errors (filtration and forecast) versus smoothing factor initial value and value that defines acceptable error

requirements. Acceptable error high values especially decrease the quality of prediction.

- Smoothing factor initial value change has insignificant influence on the relationship between the rms-errors (filtration and forecast) and smoothing factor initial value and the value that defines acceptable error and does not change the shape of the plots in general.

Summarizing statements above, the quality of filtration and forecast generally depends on the acceptable error that is why relationships between this parameter and others are important to be researched.

That is why a few next experiments I performed trying to define relationships between acceptable error and other parameters. The first one was the relationship between rms-errors (filtration and forecast) versus the quantity of steps which the forecast is made for and value that defines acceptable error.

The plots got from the experiment with a parameter e_t which is equal to 80. At first, I chose the value equal to 20 according to the fig. 3 because it was in the range of the smallest values of rms-errors. Due to the fact that the first experiment which results are

shown in the fig. 3 was performed with m parameters equal to 2 I performed this experiment with values of e_t [16, 20, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200].

Most of experiments were performed with $\alpha_0 = 0.1$.

According to the collected data I determined the following statements:

- Setting values of e_t parameter lower than 16 leads to a stable value of filtration rms-error which value is about 0.2. The value of forecast rms-error grows according to increase of m parameter.

- After increasing e_t value to 50 I noticed a tendency that in a case when e_{acc} lies in a range of low values (about 0.01) due to the fact that data processing algorithm becomes more inertial the value of filtration rms-error sharply grows up.

- The field of decreased values of filtration and forecast rms-errors appears as it shown in the fig. 5 in the range of e_t values from about 15 to 100.

Using these values in accordance with parameters m and e_{acc} will give an opportunity to improve the quality of filtration and forecast.

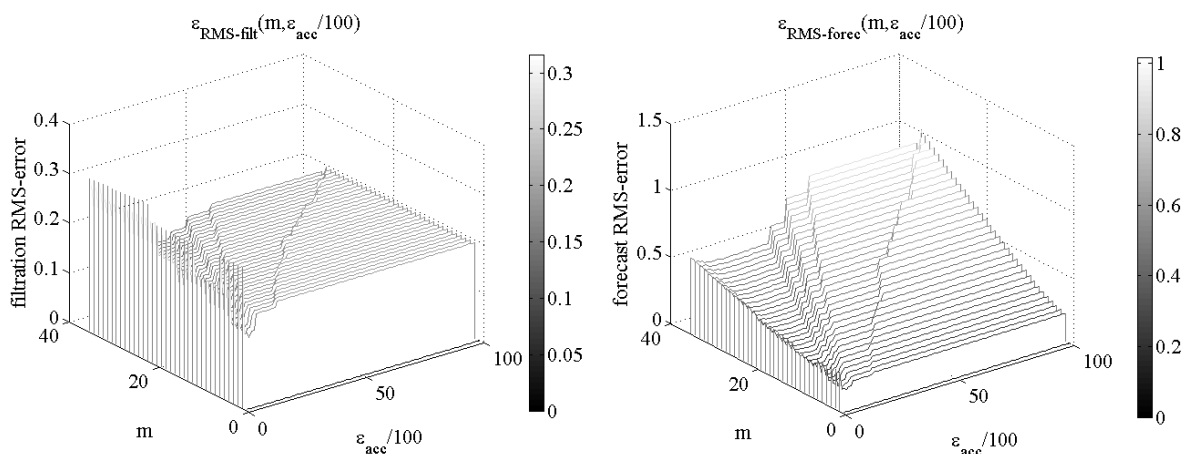


Fig. 5. Plots of the rms-errors (filtration and forecast) versus the quantity of steps which the forecast is made for and value that defines acceptable error

- Increasing e_t values to 16-90 increases the decreased values of filtration and forecast rms-errors area but further increase of the value of e_t will increase the average values of errors.

- Increasing α_0 leads to limitation of the field of decreased values that depends on m parameter. Change of e_t parameter influences on errors values as it was mentioned in previous statement.

It is important to note that values of e_t that will give an opportunity to get the least values of filtration and

forecast errors first of all depend on the shape of the signal and in this article this connection was not investigated.

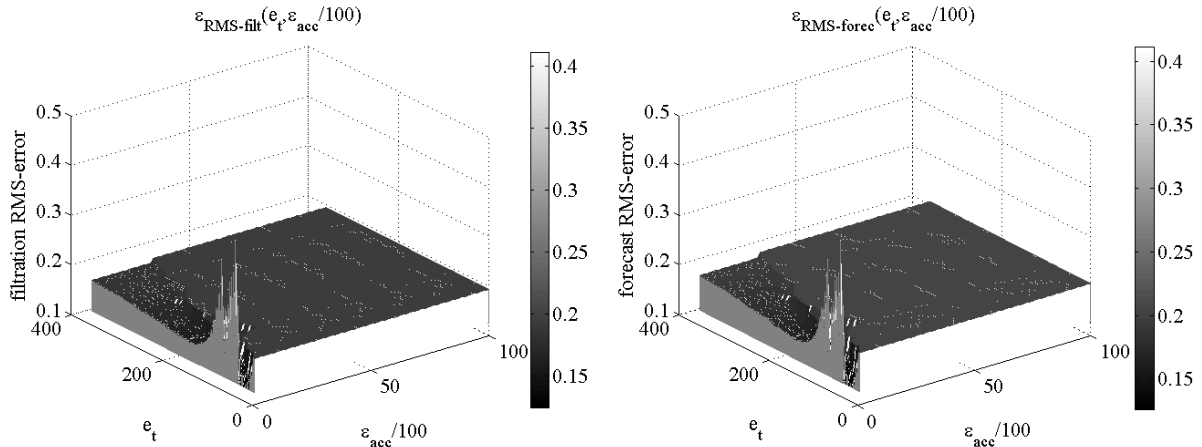


Fig. 6. Plots of the rms-errors (filtration and forecast) versus the quantity of steps which the data processing algorithm uses for quality estimation of filtering process and the value that defines acceptable error

The experiment that is shown in the figure 6 was performed with the following values of parameters: $\alpha_0 = 0.1$, $m=2$. Analyzing the plots of the rms-errors (filtration and forecast) versus the quantity of steps which the data processing algorithm uses for quality estimation of filtering process and the value that defines acceptable error I defined following statements:

- These graphics combine peculiar properties of the experiments results that were shown in the fig. 3 and 5.
- Increasing the value of m parameter will not change the shape of the surface (fig.6) much but the average value of rms-errors (filtration and forecast) will be higher.
- I tend to think that the relationship between these parameters does not give additional information and can be not taken into account during the setting parameters process.

Analyzing plots of the rms-errors (filtration and forecast) versus the quantity of steps which the forecast is made for and the quantity of steps which the data processing algorithm uses for quality estimation of filtering process I made the following statements:

- Comparing plots shown in the 7th figure and plots in the figure 3 I determined that fluctuations on the plots begin from the value of e_t that is equal to 50 and approximately and on the point that is about 100.
- The least values of the rms-errors are available in the case when the parameter m is varying between 2 and 10 approximately and e_t parameter is varying between 4 and 50 approximately.
- Proposed data processing algorithm can be used as a filter in a case when a value of e_t is higher than 100 but it is impractical to use it to get a forecast of the tracking signal.

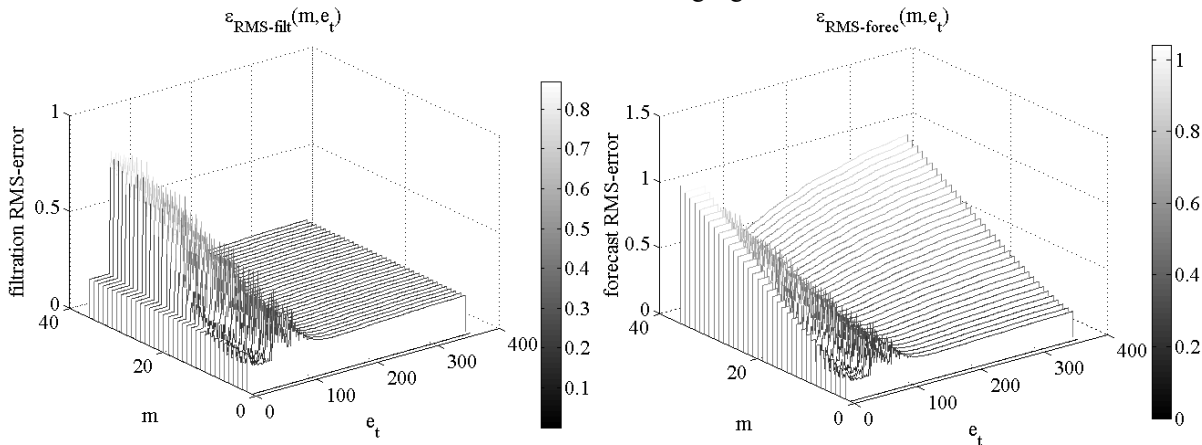


Fig. 7. Plots of the rms-errors (filtration and forecast) versus the quantity of steps which the forecast is made for and the quantity of steps which the data processing algorithm uses for quality estimation of filtering process

Conclusions

Statements that described specific connection between filter-extrapolator parameters and quality of filtration and forecast were presented above. Moreover, the performed research gives an opportunity to define some general conclusions:

- Proposed structure of the filter-extrapolator is able to process data defining tracking signal and its forecast with rms-errors (filtration and forecast) as it was mentioned above.
- The statement that the quality of filtration and forecast depends on before-mentioned 4 parameters was confirmed by experiments.

- Some combinations of different parameters give an opportunity to use this algorithm in a case when there is a lack of a priori information that describes working conditions of the system.

- The shape of the tracking signal plays the most important role in the setting parameters of the filter and should be additionally researched.

REFERENCES

1. Boriak B. R. Method of brown's exponential filter adaptation by using the method of least squares / B. R. Boriak, A. M. Silvestrov, V. V. Lutsio // Electronics and Control Systems. – 2017. – № 54. – С. 27–32.
2. Boriak B.R. Аналіз ефективності застосування адаптивного двоконтурного фільтра-екстраполятора в залежності від форми сигналу / B.R. Boriak, A.M. Silvestrov // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Т. 6 (46). – С. 255-259. – Режим доступу: <http://journals.pntu.edu.ua/sunz/article/view/757> (дата звернення: 14.05.2018).
3. Boriak B.R. Триконтурний адаптивний експоненціальний фільтр-екстраполятор / B.R. Boriak, A.M. Silvestrov // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Т. 5 (45). – С. 6-8. – Режим доступу: <http://journals.pntu.edu.ua/sunz/article/view/422> (дата звернення: 14.05.2018).
4. Boriak B.R. Алгоритм згладжування та прогнозування сигналу на основі експоненціального фільтра моделі Брауна / B.R. Boriak, A.M. Silvestrov // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Т. 4 (44). – С. 150-152. – Режим доступу: <http://journals.pntu.edu.ua/sunz/article/view/395> (дата звернення: 14.05.2018).

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. О. Можаяв,

Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків

Received (Надійшла) 15.05.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.07.2018

Взаємозв'язок між параметрами фільтра екстраполятора та якістю фільтрації та прогнозу

Б. Р. Боряк

Вступ. У статті розглянуто взаємозв'язок між параметрами адаптивного експоненціального фільтра та якістю фільтрації та прогнозування. Принцип адаптації експоненціального фільтра заснований на використанні методу найменших квадратів. **Цілі.** Проаналізувати якість адаптації алгоритму та визначити умови, в яких він може працювати належним чином. Отримати інформацію, яка описує зв'язок між параметрами обробки даних та якістю фільтрації та прогнозування. **Методологія.** Я застосував концепції аналізу часових рядів та математичне моделювання в пакеті Matlab. **Результати.** Я отримав значення параметрів, які визначають умови системи або пристрою, в яких можна інтегрувати цей алгоритм фільтрації та прогнозування. Я здійснив оцінювання якості адаптації коефіцієнта згладжування, встановлюючи взаємозв'язки між параметрами фільтра. **Оригінальність.** Вперше я визначив зв'язок між середньоквадратичними похибками (фільтрації та прогнозу) та наступними параметрами: кількість кроків, на які здійснюється прогнозування; кількість кроків, які алгоритм обробки даних використовує для оцінки якості процесу фільтрації; значення, яке визначає прийнятну похибку та початкове значення коефіцієнта згладжування. Я отримав інформацію, яка описує взаємозв'язок власне між параметрами, згаданими вище. **Практичне значення.** Я побудував структуру алгоритму обробки даних, який можна інтегрувати в різні автоматизовані системи управління. Це дослідження дає можливість вибрати відповідні параметри алгоритму фільтрації та прогнозування, що дасть можливість фільтрувати та робити прогнозування сигналу в каналах вимірювання та каналах керування. Запропонований алгоритм обробки даних може бути реалізований як програма для мікроконтролера.

Ключові слова: алгоритм обробки даних, експоненціальне згладжування, шум, прогноз, корисний сигнал, адаптація, коефіцієнт фільтрації.

Взаимосвязь между параметрами фильтра экстраполятора и качеством фильтрации и прогнозирования

Б. Р. Боряк

Введение. В статье рассмотрена взаимосвязь между параметрами адаптивного экспоненциального фильтра и качеством фильтрации и прогнозирования. Принцип адаптации экспоненциального фильтра основан на использовании метода наименьших квадратов. **Цели.** Проанализировать качество адаптации алгоритма и определить условия, в которых он может работать. Получить информацию, которая описывает связь между параметрами обработки данных и качеством фильтрации и прогнозирования. **Методология.** Я применил концепции анализа временных рядов и математическое моделирование в пакете Matlab. **Результаты.** Я получил значения параметров, которые определяют условия системы или устройства, в которые можно интегрировать этот алгоритм фильтрации и прогнозирования. Я совершил оценивание качества адаптации коэффициента сглаживания, устанавливая взаимосвязи между параметрами фильтра. **Оригинальность.** Впервые я определил связь между среднеквадратичными погрешностями (фильтрации и прогноза) и следующими параметрами: количество шагов, на которые осуществляется прогнозирование; количество шагов, которые алгоритм обработки данных использует для оценки качества процесса фильтрации; значение, которое определяет приемлемую погрешность и начальное значение коэффициента сглаживания. Я получил информацию, которая описывает взаимосвязь непосредственно между параметрами, указанными выше. **Практическое значение.** Я построил структуру алгоритма обработки данных, который можно интегрировать в различные автоматизированные системы управления. Это исследование дает возможность выбрать соответствующие параметры алгоритма фильтрации и прогнозирования, что позволит фильтровать и делать прогнозирования сигнала в каналах измерения и каналах управления. Предложенный алгоритм обработки данных может быть реализован как программа для микроконтроллера.

Ключевые слова: алгоритм обработки информации, экспоненциальное сглаживание, шум, прогноз, полезный (искомый) сигнал, коэффициент фильтрации.

В. К. Волосюк, С. С. Жила, А. И. Помазан

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського "ХАІ", Харків, Україна

СИНТЕЗ КОГЕРЕНТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ МНОГОКАНАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ В ЗОНЕ ФРАУНГОФЕРА

Раскрыты основные этапы обработки электромагнитного поля в многоканальных оптических и радиотехнических системах формирования первичных когерентных изображений поверхностей в зоне Фраунгофера. Исследована точность восстановления первичных когерентных изображений и предложены варианты повышения разрешающей способности в пространственно-распределенных и многоканальных системах с синтезированной апертурой. Рассмотрены несколько вариантов вторичной обработки первичных когерентных изображений при веерном, последовательном и телескопическом обзорах подстилающей поверхности. Показано, что в дальней зоне Фраунгофера удается выполнить синтез апертуры и повысить разрешающую способность только в случае телескопического обзора.

Ключевые слова: синтезированное изображение, дальняя зона Фраунгофера, многопозиционная обработка.

Введение

Восстановление радиолокационных [1] и оптических [2] изображений актуально при решении задач радиолокации, дистанционного зондирования Земли [3] и медицины. Формируемые при этом изображения условно можно разделить на два основных класса – когерентные и некогерентные. Под некогерентными изображениями понимают двумерные функции пространственного распределения суммарной интенсивности преобразованных полей. При построении когерентного изображения используют информацию о фазах волн, отраженных от исследуемого объекта. Наличие фазовой структуры в когерентных изображениях позволяет выполнять их вторичную обработку многоканальными пространственно-распределенными радиотехническими и оптико-электронными системами. В большинстве случаев [4-6] вторичную обработку выполняют в предположении работы таких систем в зоне Френеля. В тоже время не всегда условия проведения экспериментов и имеющиеся технические средства позволяют выполнить когерентное накопление сигналов с учетом квадратичного набега фаз принятого электромагнитного поля. В таком случае актуальными являются исследования возможности восстановления синтезированных когерентных изображений в дальней зоне Фраунгофера.

1. Первичная обработка принятого электромагнитного поля

Определим основные операции восстановления когерентных изображений в зоне Фраунгофера для геометрии на рис. 1. Здесь D' – многоканальная область регистрации излученных или переизлученных электромагнитных полей исследуемой поверхностью D . Будем полагать, что на поверхности D заданы граничные условия в виде коэффициента рассеяния $\dot{F}(\vec{r})$. Коэффициент рассеяния $\dot{F}(\vec{r})$ будем считать идеальным когерентным изображением $\dot{F}(\vec{r})$, которое учитывает в своей амплитудно-фазовой структуре влияние неоднородностей химического состава, градиента показателя преломления,

а также неровностей рельефа подстилающей поверхности. Область регистрации D' описывается амплитудно-фазовым распределением приемной чувствительности (АФР).

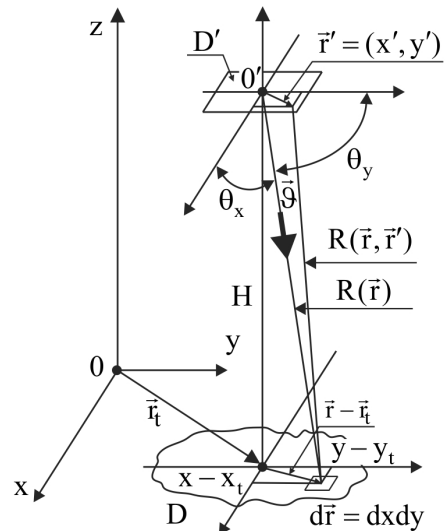


Рис. 1. Геометрия восстановления когерентных изображений поверхностей в зоне Фраунгофера

В дальней зоне Фраунгофера наблюдаемое поле в каждой точке D' представим таким образом [1]:

$$\dot{E}(\vec{r}', \vec{r}_t) = \int_D \dot{F}_1(\vec{r}, \vec{r}_t) e^{-jkR(\vec{r}, \vec{r}_t)} e^{-jk\vec{r}'\vec{\mathcal{Q}}(\vec{r}, \vec{r}_t)} d\vec{r}, \quad (1)$$

где

$$\dot{F}_1(\vec{r}, \vec{r}_t) = \dot{F}(\vec{r})R^{-1}(\vec{r}, \vec{r}_t),$$

$$R(\vec{r}, \vec{r}_t) = H + (x - x_t)^2 / 2H + (y - y_t)^2 / 2H,$$

H – высота, $\vec{r}' = (x', y')$ – координаты области D' , $\vec{r} = (x, y)$ – координаты подстилающей поверхности,

$$\vec{\mathcal{Q}}(\vec{r}, \vec{r}_t) = (\mathcal{Q}(x, x_t) = \cos \theta(x, x_t) = (x - x_t)R^{-1}(\vec{r}, \vec{r}_t),$$

$$\mathcal{Q}(y, y_t) = \cos \theta(y, y_t) = (y - y_t)R^{-1}(\vec{r}, \vec{r}_t) -$$

вектор направляющих косинусов, $\vec{r}_t = (x_t, y_t)$ – координаты центра фаз области D' , k – волновое число, X, Y – линейные размеры области регист-

рации. Полученный интеграл (1) – преобразование Фурье функции $\hat{F}_1(\vec{r}, \vec{r}_i)$.

Приближенную оценку функции $\hat{F}_1(\vec{r}, \vec{r}_i)$ находим, выполнив обратное преобразование Фурье в конечных пределах области D' с АФР

$$\begin{aligned} \hat{I}(\vec{r}', \vec{r}_i) &= \exp(jk R(\vec{r}_1, \vec{r}_i)) \exp(jk \vec{r}' \vec{\Theta}(\vec{r}_1, \vec{r}_i)) : \\ \hat{F}_1(\vec{r}_1, \vec{r}_i) &= \int_{-D'/2}^{D'/2} \hat{E}(\vec{r}', \vec{r}_i) e^{jk \vec{r}' \vec{\Theta}(\vec{r}_1, \vec{r}_i)} d\vec{r}' = \\ &= \int_{-D/2}^{D/2} \hat{F}_1(\vec{r}, \vec{r}_i) \psi(\vec{r}, \vec{r}_1, \vec{r}_i) d\vec{r}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\psi(\vec{r}, \vec{r}_1, \vec{r}_i) = \phi(\vec{r}, \vec{r}_1, \vec{r}_i) \Psi(\vec{r}, \vec{r}_i) -$ (3)

аппаратная функция системы формирования оценки $\hat{F}_1(\vec{r}_1, \vec{r}_i)$,

$$\begin{aligned} \phi(\vec{r}, \vec{r}_1, \vec{r}_i) &= \exp\{-jk[R(\vec{r}, \vec{r}_i) - R(\vec{r}_1, \vec{r}_i)]\} = \\ &= \exp\{-jk \vec{\Theta}(\vec{r}_1, \vec{r}_i)[\vec{r}_1 - \vec{r}]\} = \exp\{-jk \vec{\Theta}_1[\vec{r}_1 - \vec{r}]\}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Psi(\vec{r} - \vec{r}_i) &= \int_{-X'/2}^{X'/2} \int_{-Y'/2}^{Y'/2} e^{-jk[x'(x, y, \vec{r}_i) - y' \vec{\Theta}(x_1, y_1, \vec{r}_i)]} dx' dy' = \\ &= X' Y' \text{sinc} \left[\frac{k(x - x_1) X'}{2R(\vec{r}, \vec{r}_i)} \right] \text{sinc} \left[\frac{k(y - y_1) Y'}{2R(\vec{r}, \vec{r}_i)} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Оценку (2) теперь можно приближенно представить таким выражением

$$\hat{F}_1(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_i) = \int_D \hat{F}(\vec{r}) \Psi(\vec{r}_1 - \vec{r}) \exp\{-jk \vec{\Theta}_1[\vec{r}_1 - \vec{r}]\} d\vec{r}. \quad (6)$$

Такое преобразование назовем скользящим кратко масштабным преобразованием Фурье, свидетельствующим о том, что в ограниченных пределах интегрирования, заданных шириной функции $\Psi(\vec{r}_1 - \vec{r})$, выделяется спектр пространственных частот функции $\hat{F}(\vec{r})$ в окрестности частоты

$$\vec{\omega} = \|\omega_x = 2\pi \cos \theta_x / \lambda, \omega_y = 2\pi \cos \theta_y / \lambda\|, \quad (7)$$

а разрешающая способность первичного когерентного изображения (6) определяется шириной Δx и Δy функции $\Psi(x_1 - x, y_1 - y)$ на нулевом уровне

$$\Delta x = \lambda R(\vec{r}, \vec{r}_i) / X', \Delta y = \lambda R(\vec{r}, \vec{r}_i) / Y'. \quad (8)$$

Качество полученного первичного когерентного изображения можно повысить выполняя вторичную обработку в виде обратного спектрального преобразования с комплексно-сопряженными базисными функциями

$$\hat{I}_{syn}(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_1) = \hat{\phi}^*(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_1) \Psi^*(\vec{r}_2 - \vec{r}_1). \quad (9)$$

В дальнейшем изображения, полученные после вторичной обработки, будем называть синтезированными. Алгоритмические или физические операции таких преобразований будем называть синтезированием апертуры, а полученные новые изображения – синтезированными. Этим операциям будут соответствовать определенные реальные области интегриро-

вания, которые будем называть синтезированными апертурами, а функции $\hat{I}_{syn}(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_1, \vec{r}_2)$ – их АФР. Максимальные размеры синтезированной апертуры определяются выражениями (8). Применяя обратное преобразование к $\hat{F}(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_1)$ с использованием базисной функции (9) можно выполнить интегрирование по переменной \vec{r}_1 , или по переменной \vec{r}_i

$$\begin{aligned} \hat{F}_{syn}(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_2) &= \int_{D_{\vec{r}_1}(\text{или } D_{\vec{r}_i})} \hat{F}(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_1) \hat{\phi}^*(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_1, \vec{r}_2) \times \\ &\times \Psi^*(\vec{r}_2 - \vec{r}_1) d\vec{r}_1 (\text{или } d\vec{r}_i) = \\ &= \int_D \hat{F}_1(\vec{r}) \int_{D_{\vec{r}_1}(\text{или } D_{\vec{r}_i})} \hat{\phi}(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_1, \vec{r}) \Psi(\vec{r} - \vec{r}_1) \times \\ &\times \hat{\phi}^*(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_1, \vec{r}_2) \Psi^*(\vec{r}_2 - \vec{r}_1) d\vec{r}_1 (\text{или } d\vec{r}_i) d\vec{r} = \\ &= \int_D \hat{F}_1(\vec{r}) \Psi_{syn}(\vec{\Theta}_1, \vec{r}, \vec{r}_2) d\vec{r}, \end{aligned} \quad (10)$$

Выбор переменной интегрирования зависит от выбора вида обзора исследуемой поверхности. Рассмотрим на рис. 2 три характерных вида обзора исследуемой поверхности, иллюстрирующих возможности формирования в каждом из них синтезированных изображений. Первый вид на рис. 2, а назовем веерным обзором, второй на рис. 2, б – последовательным обзором, а третий на рис. 2, в – телескопическим. Заметим, что во всех этих вариантах речь идет о возможности получения в новой аппаратной функции, ширина которой, по крайней мере, в несколько раз должна быть меньше ширины аппаратной функции $\Psi(\vec{r}_1 - \vec{r})$, характеризующей разрешающую способность системы формирования первичного изображения.

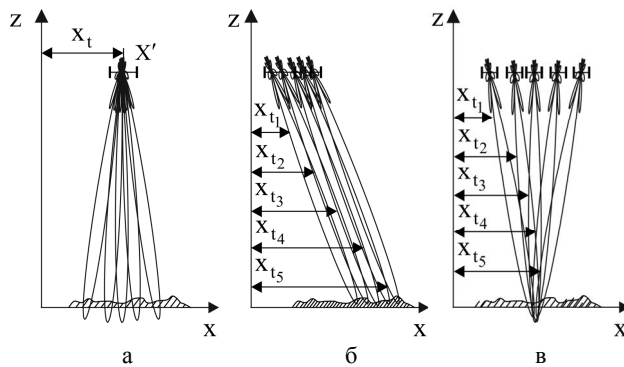


Рис. 2. Возможные варианты обзора местности

2. Вторичная обработка в случае веерного обзора

В случае геометрии, что показана на рис. 2, а, единственной переменной, по которой можно синтезировать вторичное изображение, является переменная \vec{r}_1 . Тогда, умножая первичное изображение (6) на функцию (9) и интегрируя по переменной \vec{r}_1 , находим синтезированное изображение

$$\begin{aligned} \hat{F}_{syn, a}(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_2) &= \\ &= \int_{D_{\vec{r}_1}} \hat{F}(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_1) \hat{\phi}^*(\vec{\Theta}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_1) \Psi(\vec{r}_2 - \vec{r}_1) d\vec{r}_1 = \end{aligned}$$

$$= \int_D \dot{F}(\vec{r}) \int_{D_1} \Psi(\vec{r}-\vec{r}_1) \Psi(\vec{r}_2-\vec{r}_1) e^{jk\bar{\Theta}_1(\vec{r}-\vec{r}_1)} e^{-jk\bar{\Theta}_1(\vec{r}_2-\vec{r}_1)} d\vec{r}_1 d\vec{r} =$$

$$= \int_D \dot{F}(\vec{r}) \Psi_{\otimes}(\vec{r}-\vec{r}_2) e^{-jk\bar{\Theta}_1(\vec{r}-\vec{r}_2)} d\vec{r}, \quad (11)$$

где $\phi^*(\bar{\Theta}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_1) = e^{-jk\bar{\Theta}_1(\vec{r}_2-\vec{r}_1)}$,

$$\Psi_{\otimes}(\vec{r}-\vec{r}_2) =$$

$$= \int_{D_1} \Psi(\vec{r}-\vec{r}_1) \Psi(\vec{r}_2-\vec{r}_1) e^{jk\bar{\Theta}_1(\vec{r}-\vec{r}_1)} e^{-jk\bar{\Theta}_1(\vec{r}_2-\vec{r}_1)} d\vec{r}_1. \quad (12)$$

В зоне Фраунгофера можно считать в пределах аппаратной функции $\Psi_{\otimes}(\vec{r}-\vec{r}_2)$ все лучи параллельными и полагать $\bar{\Theta}(\vec{r}) \approx \bar{\Theta}_1(\vec{r}_1) \approx \bar{\Theta}_2(\vec{r}_2)$, тогда

$$\hat{F}_{syn,a}(\vec{r}_2) = \int_D \dot{F}(\vec{r}) \Psi_{\otimes}(\vec{r}-\vec{r}_2) \phi[\bar{\Theta}_2(\vec{r}_2), \vec{r}, \vec{r}_2] d\vec{r} =$$

$$= \int_D \dot{F}(\vec{r}) \Psi_{\otimes}(\vec{r}-\vec{r}_2) \exp\{-jk\bar{\Theta}_2(\vec{r}-\vec{r}_2)\} d\vec{r}. \quad (13)$$

Полученное синтезированное и первичное изображения по разрешающей способности практически не отличаются. Однако, операция вторичной корреляционной обработки $\hat{F}(\bar{\Theta}_1, \vec{r}_1)$ путем его умножения на функцию $\phi^*(\bar{\Theta}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_1)$ и интегрирования по переменной \vec{r}_1 является оптимальной при восстановлении первичного изображения, наблюдаемого в смеси с белым шумом. Такая обработка более полно использует энергетику изображения и подавляет белый шум.

3. Вторичная обработка в случае последовательного обзора

При последовательном обзоре область D' сфокусирована на исследуемую поверхность только в одном j -м направлении, под углом $\bar{\Theta}_j$. В этом случае $\vec{r}_1 = \vec{r}_t + \vec{r}_{\Delta j}$, $\vec{r}_{\Delta j} = const$, $\bar{\Theta}_j = const$, где $|\vec{r}_{\Delta j}|$ – расстояние от точки с координатами \vec{r}_t до точки пересечения оси j -го луча с поверхностью D . Первичное изображение получаем путем последовательного или параллельного покрытия выбранным лучом (единственным и с фиксированным угловым направлением его максимума) области определения оцениваемого изображения (в идеале всех его точек). Это достигается путем соответствующего изменения по переменной \vec{r}_t положения области наблюдения и регистрации D' и, соответственно, положения выбранного луча. Подставим в (4) значение $\vec{r}_1 = \vec{r}_t + \vec{r}_{\Delta j}$

$$\phi(\vec{r}_t, \vec{r}, \vec{r}_1) =$$

$$= \phi(\bar{\Theta}_1, \vec{r}, \vec{r}_t + \vec{r}_{\Delta j}) = \exp[jk\bar{\Theta}_1(\vec{r}-\vec{r}_t - \vec{r}_{\Delta j})], \quad (14)$$

Тогда первичную оценку (6) когерентного изображения при континуальном изменении переменной \vec{r}_t запишем в виде

$$\hat{F}(\bar{\Theta}_1, \vec{r}_1) \Big|_{\vec{r}_1 = \vec{r}_t + \vec{r}_{\Delta j}} = \hat{F}(\bar{\Theta}_j, \vec{r}_t) =$$

$$= \int_D \dot{F}(\vec{r}) \Psi(\vec{r}-\vec{r}_t - \vec{r}_{\Delta j}) \exp[jk\bar{\Theta}_j(\vec{r}-\vec{r}_t - \vec{r}_{\Delta j})] d\vec{r}. \quad (15)$$

Умножая первичную оценку на комплексно сопряженный множитель при $\dot{F}(\vec{r})$ и интегрируя по переменной \vec{r}_t , получим синтезированное изображение

$$\hat{F}_{syn,\sigma}(\vec{r}_2) =$$

$$= \int_{D_t} \hat{F}(\bar{\Theta}_j, \vec{r}_t) \Psi(\vec{r}_2 - \vec{r}_t - \vec{r}_{\Delta j}) e^{-jk\bar{\Theta}_j(\vec{r}_2 - \vec{r}_t - \vec{r}_{\Delta j})} d\vec{r}_t =$$

$$= \int_D \dot{F}(\vec{r}) \int_{D_t} \Psi(\vec{r}-\vec{r}_t - \vec{r}_{\Delta j}) \Psi(\vec{r}_2 - \vec{r}_t - \vec{r}_{\Delta j}) \times$$

$$\times e^{jk\bar{\Theta}_j(\vec{r}-\vec{r}_t - \vec{r}_{\Delta j})} e^{-jk\bar{\Theta}_j(\vec{r}_2 - \vec{r}_t - \vec{r}_{\Delta j})} d\vec{r}_t d\vec{r} =$$

$$= \int_D \dot{F}(\vec{r}) e^{jk\bar{\Theta}_j(\vec{r}-\vec{r}_2)} \int_D \left(\Psi(\vec{r}-\vec{r}_t - \vec{r}_{\Delta j}) \times \right.$$

$$\left. \times \Psi(\vec{r}_2 - \vec{r}_t - \vec{r}_{\Delta j}) \right) d\vec{r}_t d\vec{r}.$$

Окончательно получим

$$\hat{F}_{syn,\sigma}(\vec{r}_2) = \int_D \dot{F}(\vec{r}) \Psi_{\otimes}(\vec{r}-\vec{r}_2) e^{-jk\bar{\Theta}_j(\vec{r}-\vec{r}_2)} d\vec{r}. \quad (17)$$

В этом, как и в предыдущем случае, первичная и вторичная обработка по разрешающей способности также практически не отличаются, т.е. синтез апертуры отсутствует.

4. Синтез апертуры в зоне Фраунгофера в случае телескопического обзора

В случае телескопического обзора исследуемой поверхности, рис. 2, в, изменяется параметр \vec{r}_t и соответственно положение области наблюдения и регистрации поля D' . Но путем изменения АФР $\dot{F}(\vec{r}', \vec{r}_t, \vec{r}_1)$ в области D' при различных ее положениях фиксируется пространственное положение функции $\Psi(\vec{r}-\vec{r}_1) = \Psi(\vec{r}-\vec{r}_{10})$, где $\vec{r}_1 = \vec{r}_{10} = const$. Пространственные размеры этой функции являются внешними размерами синтезируемого изображения, т.е. его областью определения. Будем полагать, что при перефокусировке функция $\Psi(\vec{r}-\vec{r}_{10})$ меняет свой вид не существенно. Теоретически возможные размеры области изменения переменной \vec{r}_t (синтезированной апертуры) и области соответствующих изменений угловых положений участка поверхности, выделенного функцией $\Psi(\vec{r}-\vec{r}_{10})$ относительно положения первичной апертуры D' , можно не ограничивать. Однако в этой задаче область изменения переменной \vec{r}_t выбираем сравнительно небольшой, чтобы выполнялось приближение дальней зоны Фраунгофера, т.е. учитывались только линейные члены разложения в ряд Тейлора расстояния как функции пространственных координат.

Фиксируя функцию $\Psi(\vec{r}-\vec{r}_1)$ в окрестности переменной $\vec{r}_1 = \vec{r}_{10}$, выразим подынтегральное вы-

ражение (6) с учетом (4) и (5) в виде явной зависимости от переменной \vec{r}_i

$$\begin{aligned} \widehat{F}(\vec{r}_i, \vec{r}_{10}) &= \\ &= \int_D \dot{F}(\vec{r}) \Psi(\vec{r} - \vec{r}_{10}) e^{jk(\vec{r}_{10} - \vec{r})(\vec{r} - \vec{r}_{10})/H} d\vec{r}. \end{aligned} \quad (18)$$

Умножая это выражение на функцию $\Psi(\vec{r} - \vec{r}_{10})$ и на комплексно сопряженный множитель (4), выраженный в виде функции переменной \vec{r}_i

$$\varphi^*(\vec{r}_2, \vec{r}_{10}, \vec{r}_i) = e^{jk\vec{\Theta}(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10})} = e^{-jk(\vec{r}_{10} - \vec{r}_i)(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10})/H}, \quad (19)$$

и интегрируя по этой переменной, находим синтезированное изображение ($\vec{r}_{10} = const$)

$$\begin{aligned} \widehat{F}_{syn, \Theta}(\vec{r}_2, \vec{r}_{10}) &= \\ &= \int_{D_{\vec{r}_i}} \widehat{F}(\vec{r}_i, \vec{r}_{10}) \Psi(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10}) \varphi^*(\vec{r}_2, \vec{r}_{10}, \vec{r}_i) d\vec{r}_i = \\ &= \int_D \dot{F}(\vec{r}) \Psi(\vec{r} - \vec{r}_{10}) \Psi(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10}) \times \\ &\times \int_{D_{\vec{r}_i}} e^{jk(\vec{r}_{10} - \vec{r}_i)(\vec{r} - \vec{r}_{10})/H} e^{-jk(\vec{r}_{10} - \vec{r}_i)(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10})/H} d\vec{r}_i \quad (20) \\ &= \int_D \dot{F}(\vec{r}) \Psi(\vec{r} - \vec{r}_{10}) \Psi(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10}) e^{jk\vec{r}_{10}(\vec{r} - \vec{r}_2)/H} \times \\ &\times \int_{D_{\vec{r}_i}} \exp\{-jk\vec{r}_i(\vec{r} - \vec{r}_2)/H\} d\vec{r}_i d\vec{r}, \end{aligned}$$

где $\vec{r}_i \in D_{\vec{r}_i}$, $x_i \in (-X_t/2 + x_{10}, X_t/2 + x_{10})$,

$$\begin{aligned} y_i &\in (-Y_t/2 + y_{10}, Y_t/2 + y_{10}) \\ &\int_{D_{\vec{r}_i}} \exp\{-jk\vec{r}_i(\vec{r} - \vec{r}_2)/H\} d\vec{r}_i = \\ &= \Psi_{syn}(\vec{r} - \vec{r}_2) \exp[jk\vec{\Theta}_{10}(\vec{r} - \vec{r}_2)], \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \Psi_{syn}(\vec{r} - \vec{r}_2) &= X_t Y_t \text{sinc}\{0,5jkX_t(x - x_2)/H\} \times \\ &\times \text{sinc}\{0,5jkY_t(y - y_2)/H\}. \end{aligned} \quad (22)$$

При узкой аппаратной функции системы синтеза изображения

$$\begin{aligned} \Psi(\vec{r} - \vec{r}_{10}) \Psi(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10}) &\approx \\ &\approx |\Psi(\vec{r} - \vec{r}_{10})|^2 \approx |\Psi(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10})|^2. \end{aligned} \quad (23)$$

Тогда синтезированное изображение, полученное при телескопическом обзоре в зоне Фраунгофера в результате обработки первичного изображения можно представить таким выражением

$$\begin{aligned} \widehat{F}_{syn, \Theta}(\vec{r}_2, \vec{r}_{10}) &= \int_D \dot{F}(\vec{r}) |\Psi(\vec{r} - \vec{r}_{10})|^2 \times \\ &\times \Psi_{syn}(\vec{r} - \vec{r}_2) \exp[jk\vec{\Theta}_{10}(\vec{r} - \vec{r}_2)] d\vec{r} \approx \\ &\approx |\Psi(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10})|^2 \times \\ &\times \int_D \dot{F}(\vec{r}) \Psi_{syn}(\vec{r} - \vec{r}_2) \exp[jk\vec{\Theta}_{10}(\vec{r} - \vec{r}_2)] d\vec{r}, \end{aligned} \quad (24)$$

где множитель $\exp[jk\vec{\Theta}_{10}(\vec{r} - \vec{r}_2)]$ существенного значения не имеет при симметричном расположении областей D' относительно области определения изо-

бражения $|\Psi(\vec{r} - \vec{r}_{10})|^2$. В связи с этим можно перенести начало координат в точку \vec{r}_{10} , т.е. считать, что $\vec{r}_{10} = 0$ и $\exp[jk\vec{\Theta}_{10}(\vec{r} - \vec{r}_2)] = 1$. Разрешающая способность синтезированного изображения в случае телескопического обзора выше чем у первичного и равна ширине функции (22) по первым нулям

$$\Delta x_{syn, \Theta} = \lambda H / X_t, \quad \Delta y_{syn, \Theta} = \lambda H / Y_t. \quad (25)$$

Относительно вертикального направления вместо координат \vec{r}_i можно перейти к координатам в виде направляющих косинусов

$$(\vec{r}_{10} - \vec{r}_i) / H \approx \vec{\Theta}, \quad (26)$$

указывающих направления на точку \vec{r}_{10} от начал координат областей D' в различных их положениях в плоскости наблюдения. Тогда

$$\varphi^*(\vec{r}_2, \vec{r}_{10}, \vec{r}_i) \approx \exp[-jk\vec{\Theta}(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10})], \quad (27)$$

и можно синтезировать изображение путем интегрирования по направляющим косинусам $\vec{\Theta}$

$$\begin{aligned} \widehat{F}_{syn}(\vec{r}_2, \vec{r}_{10}) &= \int_{\Theta} \widehat{F}(\vec{\Theta}, \vec{r}_{10}) \varphi^*(\vec{r}_2, \vec{r}_{10}, \vec{\Theta}) d\vec{\Theta} = \\ &= \int_D \dot{F}(\vec{r}) \Psi(\vec{r} - \vec{r}_{10}) \Psi(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10}) \times \\ &\times \int_{\Theta} \exp[jk\vec{\Theta}(\vec{r} - \vec{r}_{10})] \exp[-jk\vec{\Theta}(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10})] d\vec{\Theta} d\vec{r} \approx \\ &\approx |\Psi(\vec{r}_2 - \vec{r}_{10})|^2 \int_D \dot{F}(\vec{r}) \int_{\Theta} \exp[jk\vec{\Theta}(\vec{r} - \vec{r}_2)] d\vec{\Theta} d\vec{r}, \end{aligned} \quad (28)$$

где $\Psi_{syn}(\vec{r} - \vec{r}_2) = \int_{\Theta} \exp[jk\vec{\Theta}(\vec{r} - \vec{r}_2)] d\vec{\Theta}$. (29)

Полученные алгоритмические операции интегрирования по направляющим косинусам и соответствующие им аппаратные функции требуют более детального исследования, которое выходит за рамки данной работы.

Выводы

Рассмотрены основные операции обработки сигналов в оптических и радиолокационных системах восстановления когерентных изображений в зоне Фраунгофера. Показано, что первичные когерентные изображения являются скользящим кратко масштабным преобразованием Фурье истинных изображений поверхности. Предложено выполнять вторичную обработку, формировать так называемые синтезированные изображения, с учетом пространственно-временной обработки сигналов в пространственно-распределенных системах. Раскрыты алгоритмы вторичной обработки в случае веерного, последовательного и телескопического обзоров подстилающих поверхностей. Исследования точности синтезированных когерентных изображений поверхности показывают, что при веерном и последовательном обзоре разрешающая способность по пространственным координатам не увеличивается. В тоже время при телескопическом обзоре пространственное разрешение повысилось пропорционально размеру области синтеза.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Волосюк В.К. Статистическая теория радиотехнических систем дистанционного зондирования и радиолокации / В.К. Волосюк, В.Ф. Кравченко. Под ред. В.Ф. Кравченко. – М.: Физматлит, 2008. – 740 с.
2. Hunziker, O. V. Morozov, O. V. Volosyuk, V. K. Volosyuk and S. S. Zhyla, "Optical Coherence Tomography imaging with a planar broadband light beam," 2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), Kharkiv, 2016, pp. 1-4. doi: 10.1109/MSMW.2016.7538007
3. Верба В. С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В. С. Верба, Л. Б. Неронский, И. Г. Осипов, В. Э. Турук. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
4. Антипов В. Н. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В. Н. Антипов, В. Т. Горяинов [и др.]. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
5. V. K. Volosyuk and S. S. Zhyla, "Optimal radar cross section estimation in synthetic aperture radar," 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, 2017, pp. 189-193.
6. V. K. Volosyuk, S. S. Zhyla, M. O. Antonov and O. A. Khaleev, "Optimal acquisition mode and signal processing algorithm in synthetic aperture radar," 2017 IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kiev, 2017, pp. 511-516. doi: 10.1109/ELNANO.2017.7939804

REFERENCES

1. Volosyuk, V. K., Kravchenko, V. F. (2008), Statisticheskaya teoriya radiotekhnicheskikh sistem distantsionnogo zondirovaniya i radiolokatsii [Statistical theory of radio engineering systems of remote sensing and radar], Fizmatlit, Moscow, 740 p.
2. Hunziker P., Morozov O. V., Volosyuk O. V., Volosyuk V. K., Zhyla S. S. "Optical Coherence Tomography imaging with a planar broadband light beam," 2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), Kharkiv, 2016, pp. 1-4. doi: 10.1109/MSMW.2016.7538007
3. Verba V. S., Neronskiy L. B., Osipov I. G., Turuk V. E. (2010), Radiolokatsionnyye sistemy zemleobzora kosmicheskogo bazirovaniya [Space-borne Earth surveillance radar systems], Radiotekhnika, Moscow, 680 pp.
4. Antipov V. N., Goriainov V. T., Kulin A. N., Mansurov V.V., Okhonskii A.G. (1988), Radiolokatsionnyye stantsii s tsifrovym sintezirovaniyem apertury anteny [Synthetic aperture radar stations with digital processing], Radio i Sviaz', Moscow, 304 p.
5. Volosyuk, V.K., Zhyla, S.S. Optimal radar cross section estimation in synthetic aperture radar, 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017, Kiev, pp. 189-193. doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100471
6. Volosyuk V. K., Zhyla S. S., Antonov M. O., Khaleev O. A. "Optimal acquisition mode and signal processing algorithm in synthetic aperture radar," 2017 IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kiev, 2017, pp. 511-516. doi: 10.1109/ELNANO.2017.7939804/

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л. Ф. Купченко,

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

Received (Надійшла) 26.05.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.07.2018

Синтез когерентних зображень поверхонь просторово-розподіленими багатоканальними системами в зоні Фраунгофера

В.К. Волосюк, С.С. Жила, А. І. Помазан

Розкрито основні етапи обробки електромагнітного поля в багатоканальних оптичних і радіотехнічних системах формування первинних когерентних зображень поверхонь в зоні Фраунгофера. Досліджено точність відновлення первинних когерентних зображень та запропоновані варіанти підвищення роздільної здатності в просторово-розподілених і багатоканальних системах з синтезом апертури. Розглянуто кілька варіантів вторинної обробки первинних когерентних зображень при виявленні, послідовного та телескопічного оглядів підстильної поверхні. Показано, що в далекій зоні Фраунгофера вдається виконати синтез апертури і підвищити роздільну здатність тільки у разі телескопічного огляду.

Ключові слова: синтезоване зображення, дальня зона Фраунгофера, багатопозиційна обробка.

Synthesis of surfaces coherent images by spatially distributed multichannel systems in the Fraunhofer region

V. Volosyuk, S. Zhyla, A. Pomazan

The geometry of remote sensing problem in the far field Fraunhofer region is proposed and analytical expressions for the observed field in every point of the receiving area are obtained. The conception of primary images recovering is proposed. It is based on application of the integral transformation with the kernel of inverse Fourier transform. It is shown that the primary coherent images are sliding short-scale Fourier transformation of the ideal surface images. This result corresponds to the classical theory of resonant scattering. The main mathematical operations of the received electromagnetic field processing in multichannel optical and radio engineering systems are developed. The resolution of the primary coherent images is analyzed and possible ways of its enhancement based on secondary multi-channel and multi-position signal processing and aperture synthesis method are shown. It is suggested to call images obtained after secondary processing the synthesized coherent images, and algorithmic or physical operations of such processing to call aperture synthesis. To restore synthesized coherent images it is proposed to apply inverse short-scale Fourier transformation to the primary coherent images. To study the possibilities synthesized coherent images recovering, several geometries for surface remote sensing are proposed in the Fraunhofer region. Observation methods in accordance with these geometries are called the fan mode, serial mode and spotlight mode. Several algorithmic operations for recovering synthesized images were developed according to these modes. Studies of the obtained results show that in the far-field Fraunhofer region it is possible to perform aperture synthesis and to increase the spatial resolution only in the case of spotlight mode.

Keywords: synthesized image, far-field Fraunhofer region, multiposition processing.

М. Й. Заполовський, В. В. Скородєлов, М. В. Мезенцев

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

СИНТЕЗ УПРАВЛІНЬ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЗМІННОГО СТРУМУ

Розглянуті питання розробки та дослідження моделей для синтезу систем керування електроприводом змінного струму дизель-поїзду. Проведено огляд літературних джерел на задану тематику та аналіз існуючих підходів до розв'язання найпоширеніших задач у даній галузі. Розглянуті як стандартні системи керування так і сучасні варіанти з використанням алгоритмів векторного управління. Побудовані математичні моделі та структурні схеми досліджуваних об'єктів, проведено моделювання їхнього функціонування. Отримані аналітичні співвідношення, які можуть бути використані для розробки структури САР електроприводу дизель-поїзда і розрахунку її параметрів при задані певного критерію якості. Синтезовано закони управління, які забезпечують стійкий розгін дизель-поїзда як в статичних так і в динамічних режимах в різних точках тягової характеристики і при цьому виконуються вимоги щодо точності приведення об'єкта управління в задану точку фазового простору і якості перехідних процесів.

Ключові слова: синтез систем керування, електропривод змінного струму, алгоритми векторного управління, математична модель.

Вступ

Завдання синтезу системи управління тяговим електроприводом змінного струму є складовою частиною загального завдання створення оптимальної системи управління транспортними засобами, що забезпечує виконання графіка руху у відповідності заданому критерію оптимальності, зокрема, мінімуму енергетичних витрат. Останніми роками вирішення цих завдань пропонується виконувати з використанням сучасних технологій, в основі яких лежать методи аналізу і синтезу складних технічних систем та математичне моделювання. Тому розробка ефективних систем управління та моделей для їх дослідження є актуальною задачею.

Постановка задачі і аналіз відомих публікацій. В даний час значна увага при розробці сучасних видів рухомого складу приділяється питанням вдосконалення і створення систем управління, що забезпечують функціонування як його самого, так і підсистем окремо, зокрема електроприводу змінного струму з частотним способом управління асинхронним двигуном. Ця тенденція має місце не тільки в Україні, але і країнах ближнього і далекого зарубіжжя [1].

Поряд з частотним способом управління асинхронним двигуном електроприводу особлива увага приділяється розробці систем управління на основі алгоритмів векторного управління, який сьогодні розглядається не тільки з точки зору економії споживаної енергії, але і з точки зору вдосконалення процесами управління [2 – 10]. Ці алгоритми активно упроваджуються у високоякісних приводах трифазного струму, зокрема алгоритми, в яких використовується ідея орієнтування потоку асинхронної машини. Поліпшення регульовальних властивостей асинхронної машини виконується за рахунок реалізації моделі еквівалентної їй машини постійного струму, у якій є два канали управління - моментний і струмовий. Ідея орієнтування потоку полягає в приведенні системи рівнянь трифазного асинхронного двигуна до ортогональної системи координат $d-q$, що обертається із швидкістю вектора потоку

ротора, в якій змінні представляються, як сталі величини постійного струму. Фазу і амплітуду струму статора регулюють так, щоб складова струму по одній осі, що визначає потік, залишалася постійною, а регулювання моменту здійснювалося тільки змінною складовою струму по другій осі, що створює момент двигуна. Вхідними параметрами для системи є частота обертання ротора двигуна і момент завдання (тяга), решта параметрів машини, такі як струми і напруга статора, потокозчеплення ротора, відновлюються по рівняннях векторного управління.

Огляд робіт, присвячених задачі розробки ефективних систем управління електроприводом змінного струму показує, що недостатня увага приділяється створенню оптимальних систем управління на основі сучасних досягнень проектування з використанням методів оптимізації, нечіткої логіки, нейрокомп'ютерних технологій, орієнтованих на побудову не аналогових, а цифрових систем. Рішення задачі розробки оптимальної системи управління досліджуваного об'єкта (дизель-поїзда) пов'язане зі створенням нелінійних математичних моделей, вибору методу та синтезу управлінь, критеріїв оцінки якості функціонування системи, проведенням комплексних досліджень динаміки електромеханічної системи. Для рішення завдань оптимального управління присвячено значне число публікацій [5] та зазвичай використовується математичне моделювання, сучасні методи теорії автоматичного керування та оптимізації, прогресивні інформаційні технології, технічні засоби реалізації на базі мікропроцесорної техніки компонент систем автоматичного регулювання.

В [5] пропонується ряд методів синтезу управлінь та математичні моделі електроприводу змінного струму, які можуть бути використані при розробці систем управління з урахуванням вибраного критерію оптимальності. Оскільки складова об'єкта управління (електропривод) описується системою нелінійних диференціальних рівнянь не менш 5-го порядку, то аналітичний синтез управлінь практично неможливий. Тому в роботі розглядається комбінований метод знаходження управлінь. Він зводить-

ся до наступного. На першому етапі з використанням спрощеної моделі електроприводу знаходиться загальний вид управління. На другому - задаються закони можливих управлінь та в процесі дослідження уточнюються їх види та параметри системи керування за допомогою повної математичної моделі.

Метою даної роботи є розробка математичних моделей, синтез системи управління електроприводу дизель-поїзду, проведення досліджень системи управління за допомогою моделювання, отримання якісних характеристик роботи систем управління в процесі моделювання з використанням пакету MATLAB.

Основна частина

Оскільки спрощена математична модель об'єкта з використанням алгоритму векторного управління за певних обмежень може бути представлена системою диференціальних рівнянь другого порядку [6], то для синтезу управлінь було використано метод варіаційного числення – рішення загальної задачі Лагранжа. Вихідними змінними для даного об'єкту управління (дизель-поїзда з електроприводом змінного струму) є швидкість руху V і пройдений шлях S . За відсутності боксування швидкість руху пропорційна кутовій швидкості обертання ротора ω . Тоді рівняння руху має вигляд:

$$\frac{d\omega}{dt} = K_1(M_t - M_c), \quad (1)$$

де M_t – тяговий момент дизель-поїзда; $K_1 = 1/j_t$; j_t – момент інерції дизель-поїзда; M_c – момент опору руху. За умови, що тяговий момент дизель-поїзда здійснюють чотири двигуни, то рівняння руху матиме вигляд:

$$\frac{d\omega}{dt} = K_1(4M_d - k_2\omega), \quad (2)$$

де M_d – електромагнітний момент двигуна; k_2 – постійний коефіцієнт.

Для синтезу управлінь об'єкт представляється моделлю у вигляді системи диференціальних рівнянь другого порядку:

$$\dot{X}_1 + a_{11}X_1 - a_{12}U_1 = 0; \quad (3)$$

$$\dot{X}_2 + a_{21}X_2 - a_{22}X_1U_2 = 0, \quad (4)$$

де $X_1, X_2, \dot{X}_1, \dot{X}_2$ – відповідно фазові змінні та їх похідні; U_1, U_2 - управління; $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$ – коефіцієнти, які визначаються параметрами системи.

Функціонал, що мінімізує енергетичні витрати,

$$J = \int_{t_0}^T (U_1^2 + U_2^2) X_2 dt. \quad (5)$$

В результаті синтезу, шляхом рішення загальної задачі Лагранжа, отримані управління:

$$U_1 = K_1 c_1 e^{k_2 t} \cdot (1/X_2); \quad (6)$$

$$U_2 = K_3 c_2 e^{k_4 t} \cdot (X_1/X_2). \quad (7)$$

При цьому коефіцієнти моделі, які визначались параметрами системи, становлять величини: $K_1 = 0.015$; $K_2 = 2.23$; $K_3 = 0.000008$; $K_4 = 0.003$. Коефіцієнти c_1, c_2 – визначались експериментально в процесі моделювання. З рівнянь (6), (7) витікає, що закон зміни U_1 зворотно пропорційний швидкості обертання ротора асинхронного двигуна, а U_2 (фізично це електромагнітний момент) прямо пропорційний X_1 і зворотно пропорційний швидкості руху ω .

Синтезовані закони (6), (7) можуть бути використані при побудові системи керування електроприводом змінного струму дизель-поїзду при реалізації алгоритмів векторного управління на основі математичної (повної) моделі, яка описує динамічні процеси електроприводу змінного струму в рухомій системі координат [2 – 4].

Вхідними параметрами для системи керування є частота обертання ротора двигуна і момент задання (тяга), решта параметрів, такі як струми і напруга статора, потокозчеплення ротора, відновлюються по рівняннях векторного управління.

Якщо швидкість обертання координат співпадає із швидкістю вектора потоку ротора і за умови $\omega_s = \omega_\psi$, рівняння для статора і ротора АД в рухомій системі координат, мають вигляд:

$$\frac{d\Psi_{s1}}{dt} = \Psi_{s2}\omega_\psi - R_S I_{s1} - U_{s1}; \quad (8)$$

$$\frac{d\Psi_{s2}}{dt} = -\Psi_{s1}\omega_\psi - R_S I_{s2} - U_{s2}; \quad (9)$$

$$\frac{d\Psi_{rm}}{dt} = -R_R I_{r1}; \quad (10)$$

$$(\omega_\psi - p\omega)\Psi_{rm} + R_R I_{r2} = 0; \quad (11)$$

$$M_d = \frac{mpK_r}{2} \Psi_{rm} I_{s2}, \quad (12)$$

де $\Psi_{s1}, \Psi_{s2}, U_{s1}, U_{s2}$ – відповідно проекції на осі координат потокозчеплень статора і ротора та напруги живлення; Ψ_{rm} – модуль вектора потоку ротора; $I_{s1}, I_{s2}, I_{r1}, I_{r2}$ – відповідно проекції на осі координат токів статора і ротора; R_S, R_R – відповідно активні опори обмоток статора і ротора АД; m – число фаз; p – число пар полюсів; K_r – коефіцієнт зв'язку ротора; ω – швидкість обертання ротора; ω_s – швидкість вектора напруги статора; ω_ψ – швидкістю вектора потоку ротора.

Використовуючи рівняння зв'язку та, що система рівнянь повинна стабілізувати потік ротора Ψ_{rm} , отже і струм I_{s1} , рівняння кіл статора і ротора АД приймуть вигляд [2]:

$$U_{s1} = R_S I_{s1} - I_{s2} L_S' \omega_\psi; \quad (13)$$

$$\frac{dI_{s2}}{dt} L_S' = -R_S I_{s2} - I_{s1} L_S' \omega_\psi - K_r \Psi_{rm} \omega_\psi + U_{s2}; \quad (14)$$

$$\frac{R_r}{L_r} \Psi_{rm} - I_{s1} \frac{L_m R_r}{L_r} = 0; \quad (15)$$

$$\beta \Psi_{rm} - \frac{R_r L_m}{L_r} I_{s2} = 0, \quad (16)$$

де $L_s' = L_s / L_r$, L_m , L_s , L_r – відповідно індуктивності намагнічування, статора і ротора.

Закони формування струмів:

$$I_{s1} = \frac{1}{L_m} \Psi_{rm}; \quad I_{s2} = \frac{M_d}{\Psi_{rm}} \frac{2}{mpK_r} \quad (17)$$

Визначення величини абсолютного ковзання:

$$\beta = \frac{R_r L_m}{L_r} \frac{I_{s2}}{\Psi_{rm}}. \quad (18)$$

Визначення необхідної швидкості вектора напруги статора:

$$\omega_\Psi = p \omega + \beta. \quad (19)$$

На основі рівнянь (13) – (19) розроблена структурна схема моделі в пакеті MATLAB, за допомогою якої проведені дослідження синтезованих управлінь. Якщо прийняти до уваги, що згідно (3)

$$U1 = I_{s1} = \frac{\Psi_{rm}}{L_m},$$

то для вибору ефективних управлінь по потокозчепленню та електромагнітному моменту було запропоновано по чотири функції з кожного із управлінь ($\Psi_1 - \Psi_4$) та ($M_1 - M_4$), вид яких відповідає характеру поведінки згідно рівнянь (6), (7):

$$\Psi_1 = C_1 / (C_2 + K_1 \omega);$$

$$\Psi_2 = C_1 / (C_2 + K_1 \omega \cdot \omega);$$

$$\Psi_3 = C_1 / (C_2 + K_1 \omega) \cdot C_3 e^{-K_2 t};$$

$$\Psi_4 = C_1 / (14 / C_2 + K_1 \omega);$$

$$M_1 = M_{\max} - c_1 e^{c_1 t}; \quad M_2 = M_{\max} - c_1 t;$$

$$M_3 = M_{\max} e^{-kt}; \quad M_4 = M_5 + M_6 e^{kt}.$$

В результаті досліджень отримали, що кращим показником керуючого впливу по моменту $M(t)$ є M_4 , а по потокозчепленню $\Psi_{rm}(t)$ – закон формування згідно виразу Ψ_3 . При цьому параметри моделі: для M_4 : $M_{\max} = 4000$ Нм; $C_1 = 0.1$; $M_5 + M_6 = 4000$ Нм; для Ψ_3 : $C_1 = 14$; $C_2 = 2$; $K_1 = 0.01$; $C_3 = 1.0$; $K_2 = 0.01$.

На рис. 1 приведені перехідні процеси у вигляді осцилограм, що демонструють роботу моделі при різних законах управління потокозчепленням Ψ_{rm} .

Відповідно до цих процесів керування по потокозчепленню отримані показники витрат енергії при розгоні дизель-поїзду з різними показниками навантаженості, швидкості руху та пройденого шляху за певний проміжок часу. Як критерій оптимальності використовувався критерій мінімуму енергетичних витрат при виконанні обмежень по величині пройденого шляху і швидкості в кінцевий момент часу. Розглядалися різні режими роботи електропривода,

зокрема, розгін дизель-поїзда за заданий час t і оцінювалися отримані характеристики (швидкість, пройдений шлях і енергетичні витрати).

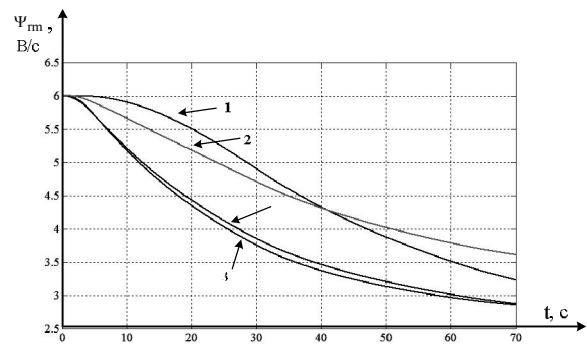


Рис. 1. Процеси зміни законів управління по потокозчепленню

При одночасному використанні кращих показників керуючих впливів по потокозчепленню $\Psi_{gm}(t)$ та моменту $M(t)$ отримані мінімальні показники енергетичних витрат при розгоні дизель-поїзда при виконанні обмежень по величині пройденого шляху і швидкості в кінцевий момент часу.

Таблиця 1 – Результати досліджень при найкращих законах $\Psi_{gm}(t)$ та $M(t)$

№	p/J	t, c	V, км/г	S, м	P ₁ , кВт/с	P ₂ , кВт/с
1	0,0001	60	56.47	500.2	8419	8798
2	0,0002	60	59.18	620.3	8658	8832
3	0,0006	60	64.15	812.8	8852	9159

В табл. 1 порівняно показники енергетичних витрат моделей, які були отримані з використанням векторного управління (P_1) та амплітудно-частотного управління (P_2). Отримані результати зрівняно з показниками моделі, яка реалізована на основі метода амплітудно-частотного керування. Показники енергетичних витрат отриманої векторної моделі керування (P_1) при максимальній загрузці на 4.5% менше ніж у моделі амплітудно-частотного керування (P_2).

Висновки

1. Розроблені математичні і машинні моделі електроприводу дизель-поїзда можуть бути використані для дослідження і уточнення параметрів системи управління, що розробляється, а також виконання коректування алгоритмів, отриманих в результаті розробки системи керування, що оптимізує енергетичні показники.

2. Отримані аналітичні співвідношення можуть бути використані для розробки структури САР електроприводу дизель-поїзда і розрахунку її параметрів при задані певного критерію якості (точність приведення в задану точку фазового простору, якості перехідних процесів, енергетичних витрат на виконувану роботу).

3. Запропоновані математичні моделі, алгоритми законів управління, аналітичні співвідношення для визначення параметрів САР реалізовані у вигляді машинної моделі і проведені за її допомогою дос-

лідження, показали перспективність такого підходу при розробці сучасних ефективних систем управління електроприводом дизель-поїздів з тяговими двигунами змінного струму.

4. На підставі проведених досліджень і порівнянні результатів отриманих на моделі як в статичних так і в динамічних режимах в різних точках тягової характеристики і за різних умов розгону дизель-поїзда встановлено, що процес розгону при синтезованих законах управління стійкий. При

цьому виконуються вимоги щодо точності приведення об'єкта управління в задану точку фазового простору і якості перехідних процесів.

5. Розроблена модель системи векторного керування ТАД та запропоновані закони управління дозволяють оптимізувати роботу енергетичної системи дизель-потяга в процесі розгону, забезпечуючи при цьому виконання заданих граничних умов, а також проводити дослідження систем керування в замкнутій системі управління.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Horstmann D. 100 Jahre Entwicklung der Antriebsstechnik für elektrische Bahnen. Teil 2 / Daniel Horstmann, Rudolf Wagner, Wolf-Dieter Weigel // *Elek. Bahnen*. – 2003. – No 7. – P. 338–345.
2. Усольцев А.А. Векторное управление асинхронными двигателями : Учебное пособие / А.А. Усольцев СПб: СПбГУ ИТМО, 2002. – 43 с.
3. Сандлер А.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями / А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов. – М.: Энергия, 1974. – 328 с.
3. Рудаков В.В. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / В.В. Рудаков, И.М. Столяров, В.А. Даргау – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.
4. Bose Bimal K. Modern Power Electronics and AC drives / Bimal K. Bose. – Prentice Hall PTR: Prentice-Hall Inc. – 2002. – 712 p.
5. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / [Носков В.И., Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И., Леонов С.Ю.]. – Х.: ХФИ «Транспорт Украины», 2003. – 248 с.
6. Blaschke F. Das Prinzip der Feldorientierung. Die Grundlage für die Transvektor-Regelung von Drehfeldmaschine / F. Blaschke // *Siemens Zeitschrift*. – 1971. – № 45. – Н. 10.
7. Volkov A.V. Asynchronous motor drive based on self-excited current inverter with switched-off thyristors and provided with redicting relay and vector regulation of stator current / A.V. Volkov, I.A. Kosenko // *Published in Elektrotehnika*. – 2008. – No 10. – P. 6 – 17.
8. Пересада С.М. Грубое векторное управление моментом и потоком асинхронного двигателя / С.М. Пересада, С.Н. Ковбаса, В.С. Бовкунович // *Техн. електродинаміка*. – 2010. – № 1. – С. 60–66.
9. Волков А.В. Быстродействующее векторное регулирование статорного тока в частотно-управляемых асинхронных электроприводах с широтно-импульсной модуляцией / А.В. Волков // *Техн. електродин.* – 2004. – №1. С. 35–42.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г. А. Кучук,

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків

Received (Надійшла) 10.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.08.2018

Синтез управлений для оптимизации динамических процессов электропривода переменного тока

Н. Й. Заполовский, В. В. Скороделов, Н. В. Мезенцев

Рассмотрены вопросы разработки и исследования моделей для синтеза систем управления электроприводом переменного тока дизель-поезда. Проведен обзор литературных источников по заданной тематике и анализ существующих подходов к решению наиболее распространенных задач в данной области. Рассмотрены как стандартные системы управления так и современные варианты с использованием алгоритмов векторного управления. Построены математические модели и структурные схемы исследуемых объектов, проведено моделирование их функционирования. Полученные аналитические соотношения, которые могут быть использованы для разработки структуры САП электропривода дизель-поезда и расчета ее параметров при задании определенного критерия качества. Синтезированы законы управления, обеспечивающих устойчивый разгон дизель-поезда как в статических так и в динамических режимах в различных точках тяговой характеристики и при этом выполняются требования по точности приведения объекта управления в заданную точку фазового пространства и качества переходных процессов.

Ключевые слова: синтез систем управления, электропривод переменного тока, алгоритмы векторного управления, математическая модель

Synthesis of controls for optimization of dynamic processes of an AC drive

M. Zapolovsky, V. Skorodelyov, M. Mezentsev

The questions of development and research of models for the synthesis of control systems of an electric drive of an alternating current of a diesel train are considered. A review of literary sources on a given topic and an analysis of existing approaches to solving the most common problems in this field are reviewed. Both standard control systems and modern variants are considered with the use of vector control algorithms. Mathematical models and structural diagrams of the investigated objects are constructed, and their functioning is simulated. The obtained analytical relationships, which can be used to develop the structure of ATS electric drive diesel trains and calculate its parameters when setting a certain quality criterion. The control laws that ensure stable acceleration of the diesel train in both static and dynamic modes at various points of the traction characteristic are synthesized and requirements for the accuracy of bringing the control object to a given point in the phase space and the quality of the transient processes are fulfilled.

Keywords: synthesis of control systems, electric drive of alternating current, vector control algorithms, mathematical model.

Ю. В. Кириченко¹, В. Д. Карлов², И. Ю. Кириченко³, А. Н. Артеменко⁴

¹ Национальный научный центр “Харьковский физико-технический институт”, Харьков, Украина

² Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков, Украина

³ Национальный технический университет Украины “КПИ им. И. Сикорского”, Киев, Украина

⁴ Генеральный штаб Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина

ПЛАЗМЕННАЯ АНТЕННА НА ОСНОВЕ СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ПЛАЗМЕННОГО СТОЛБА

Предмет изучения в статье является излучение плазменной антенны, в которой продольная неоднородность представляет собой страты, то есть зоны повышенной и пониженной плотности плазмы. **Цель:** вычисление диаграмм направленности и коэффициентов трансформации энергии поверхностной волны плазменного цилиндра в энергию излучения. **Задание:** анализ зависимости диаграмм направленности и коэффициентов трансформации энергии поверхностной волны от геометрических параметров антенны (радиусов плазменного цилиндра и диэлектрической оболочки), плотности плазмы, частоты излучения, диэлектрической проницаемости и др. **Методы:** спектральный метод, метод перевала для вычисления асимптотик интегралов, метод последовательных приближений для решения системы интегро-дифференциальных уравнений. Получены следующие **результаты:** показано, что при небольшом количестве страт плазменная антенна излучает под малыми углами к оси антенны. Вычислены диаграммы направленности для практически важных параметров антенны. Получены зависимости коэффициента трансформации энергии в излучение от глубины модуляции стационарных страт и страт, амплитуды которых изменяются. **Выводы:** проведенные в статье исследования показали, что стратифицированный плазменный столб может быть применен в качестве антенны. Максимум главного лепестка диаграммы направленности, которая имеет наибольшую ширину на пол высот, и расположенный под малыми углами к оси антенны. Приведенные примеры показывают, что коэффициент превращения энергии в излучение достигает 10 – 30 %.

Ключевые слова: страты, СВЧ – излучение, холодная плазма, поверхностные волны, холодная плазма, диаграмма направленности.

Введение

Страты в газовом разряде, представляющие собой волны ионизации, образуют продольные неоднородности плотности плазменного столба [1, 2]. Поверхностные волны в плазменном столбе, проходя через эти неоднородности, могут при определенных условиях трансформироваться в излучение. Поэтому стратифицированный столб газоразрядной плазмы может служить основой для создания одной из разновидностей плазменных антенн.

Постановка задачи

В настоящей работе исследуется преобразование аксиально-симметричной поверхностной волны в цилиндрическом столбе стратифицированной холодной изотропной плазмы в излучение. Плазма окружена однородным диэлектриком. Вблизи границ существования форма страт близка к гармонической [1, 2]. Это обстоятельство будет использовано в настоящей работе. Метод, позволяющий решать задачи, связанные с поверхностными волнами в системах с непрерывно изменяющимися параметрами, разработан В.В. Шевченко в фундаментальных работах [3], и изложен в [4]. Согласно этому методу полное поле открытой волноведущей системы складывается по полному набору функций, включающему в себя поверхностные и пространственные волны. Коэффициенты такого разложения при наличии неоднородностей зависят от продольной координаты и удовлетворяют системе интегро-дифференциальных уравнений. Эти коэффициенты определяют амплитуды прошедшей и отраженной

поверхностных волн, а также волны излучения. Отметим, что метод спектрального разложения Шевченко является математически строго обоснованным и является единственной основой теории излучения антенн поверхностных волн, свойства которых непрерывно изменяются в продольном направлении.

В статьях [5, 6] представлены результаты исследования планарных и цилиндрических плазменных антенн с сильной непрерывно меняющейся продольной неоднородностью плотности плазмы.

Основные уравнения

На рис. 1 показаны продольный и поперечный разрезы плазменного цилиндра с радиусом a , окруженного диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε_d и внешним радиусом b . Этот плазменно-диэлектрический волновод неограничен вдоль оси z (z и ρ – цилиндрические координаты). На участке $0 \leq z \leq L$ находятся страты, которые моделируются с помощью гармонически изменяющейся диэлектрической проницаемости $\varepsilon_p(z)$. Величины $\varepsilon_p(z)$ и $n_e(z)$ связаны соотношением

$$\varepsilon_p(z) = 1 - \omega_p^2(z) / \omega^2,$$

где ω – частота волны поверхностной волны, $\omega_p^2(z) = 4\pi n_e(z) e^2 / m_e$ – плазменная частота электронной плазмы, e , m_e – заряд и масса электрона соответственно. Гармоническая зависимость $\varepsilon_p(z)$ от координаты на участке $0 \leq z \leq L$ в настоящей работе выбрана в виде

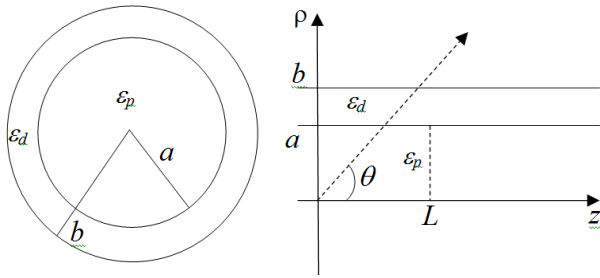


Рис. 1. Продольный и поперечный разрезы плазменно-диэлектрической структуры; радиус плазменного столба – a , внешний радиус диэлектрика – b

$$\varepsilon_p(z) = -\varepsilon_0 \left(1 + \alpha \cos \left(\frac{2\pi}{\Lambda} z + \Psi_0 \right) \right), \quad (1)$$

где $-\varepsilon_0 < 0$ – среднее по периоду значение функции $\varepsilon_p(z)$, Λ – длина страты, Ψ_0 начальная фаза. Функция (1) схематично представлена на рис. 2.

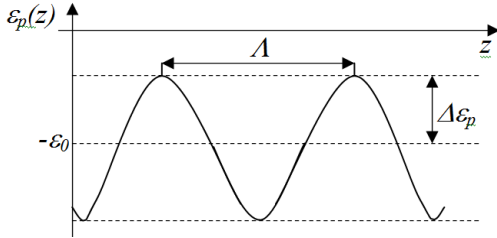


Рис. 2. Промодулированная диэлектрическая проницаемость плазмы $\varepsilon_p(z)$

Параметр ε_0 связан со средним по периоду значением плотности электронной плазмы n_{e0} так:

$$\varepsilon_0 = \frac{r_e}{\pi} n_{e0} \lambda^2 - 1. \quad (2)$$

где $r_e = e^2 / mc^2$ классический радиус электрона, λ – длина волны в вакууме. Очевидно, количество страт N_s на длине неоднородности L равно

$$N_s = L / \Lambda. \quad (3)$$

Величина $\Delta\varepsilon_p = \varepsilon_0 - \min |\varepsilon_p|$ определяет глубину модуляции α диэлектрической проницаемости плазмы

$$\alpha = \Delta\varepsilon_p / \varepsilon_0. \quad (4)$$

Известно [1,7], что скорость страт лежит в пределах от 10^3 до 10^6 см/сек, что на много порядков меньше скорости поверхностных волн в открытых плазменно-диэлектрических структурах. Кроме того, имеются эксперименты по возбуждению стоячих страт (например, [8]). Все это позволяет в нашем рассмотрении считать страты неподвижными.

В соответствии с методом спектрального разложения рассмотрим плазменный цилиндр с однородной плотностью n_{e0} и, соответственно, с однородной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_p = -\varepsilon_0$. Временная зависимость компонент поля определя-

ется множителем $\exp(-i\omega t)$. В такой плазменно-диэлектрической структуре при определенных условиях могут существовать аксиально-симметричные медленные поверхностные E -волны, с компонентами $E_{z0}(\rho, z), E_{\rho 0}(\rho, z), H_{\phi 0}(\rho, z)$. $H_{\phi 0}(\rho, z)$ следующим образом зависит от координат:

$$H_{\phi 0}(\rho, z) = \Psi_0(\rho) \exp(\pm i k_z^0 z), \quad (5)$$

где k_z^0 – волновой вектор поверхностной волны, $\Psi_0(\rho)$ – так называемая функция поперечного сечения поверхностной волны. Знаки $+$ и $-$ в (5) соответствуют распространению волны вдоль оси z и против нее. Компоненты $E_{z0}(\rho, z), E_{\rho 0}(\rho, z)$ выражаются через $H_{\phi 0}(\rho, z)$. Функция $\Psi_0(\rho)$ из (5) должна удовлетворять граничным условиям на границах плазменного цилиндрического столба с диэлектриком и диэлектрика с вакуумом и достаточно быстро убывать при $\rho \rightarrow \infty$. Сначала рассмотрим случай, когда волновой вектор поверхностной волны удовлетворяет условию $k < k_z^0 < k\sqrt{\varepsilon_d}$. Из уравнений Максвелла в цилиндрических координатах и граничных условий получаем формулы для $\Psi_0(\rho)$:

$$\Psi_0(\rho) = \frac{1}{N_0} \begin{cases} K_1(\kappa_0^0 \rho), & b \leq \rho < \infty, \\ \Delta_{1b}^0 J_1(\kappa_d^0 \rho) + \Delta_{2b}^0 N_1(\kappa_d^0 \rho), & a \leq \rho \leq b, \\ \Delta_{1b}^0 / \Delta_{1a}^0 \cdot I_1(\kappa^0 \rho), & 0 \leq \rho \leq a, \end{cases} \quad (6)$$

где $(\kappa_0^0)^2 = (k_z^0)^2 - k^2 > 0$, $k = \omega / c = 2\pi / \lambda$,

$$(\kappa^0)^2 = \omega_p^2 / c^2 + (\kappa_0^0)^2 > 0, \quad (\kappa_d^0)^2 = k^2 \varepsilon_d - (\kappa_z^0)^2,$$

$K_1(x), I_1(x)$ – функция Макдональда и функция Бесселя мнимого аргумента соответственно, N_0 – нормировочный множитель, который находится из условия нормировки

$$\int_0^\infty d\rho \rho \frac{1}{\varepsilon(\rho)} (\Psi_0(\rho))^2 = 1, \quad (7)$$

$$\varepsilon(\rho) = \begin{cases} \varepsilon_d, & a \leq \rho \leq b \\ \varepsilon_p, & 0 \leq \rho \leq a \end{cases}.$$

Формула для N_0 в (6) для краткости изложения не приводится. Коэффициенты, входящие в (6), определяются следующими соотношениями:

$$\Delta_{1a}^0 = -\frac{\pi \kappa_d^0 a}{2} \left(\frac{\kappa_0^0 \varepsilon_d}{\kappa_d^0 \varepsilon_p} I_0(\kappa_0^0 a) N_1(\kappa_d^0 a) - I_1(\kappa_0^0 a) N_0(\kappa_d^0 a) \right),$$

$$\Delta_{1b}^0 = \frac{\pi \kappa_d^0 b}{2} \left(\frac{\kappa_0^0 \varepsilon_d}{\kappa_d^0} K_0(\kappa_0^0 b) N_1(\kappa_d^0 b) + K_1(\kappa_0^0 b) N_0(\kappa_d^0 b) \right),$$

$$\Delta_{2b}^0 = -\frac{\pi \kappa_d^0 b}{2} \left(\frac{\kappa_0^0 \varepsilon_d}{\kappa_d^0} K_0(\kappa_0^0 b) J_1(\kappa_d^0 b) + K_1(\kappa_0^0 b) J_0(\kappa_d^0 b) \right).$$

Используя граничные условия для функции (6), получим дисперсионное уравнение для поверхностной E -волны:

$$\frac{\kappa^0 \varepsilon_d I_0(\kappa^0 a) N_1(\kappa_d^0 a) - \kappa_d^0 \varepsilon_p I_1(\kappa^0 a) N_0(\kappa_d^0 a)}{\kappa^0 \varepsilon_d I_0(\kappa^0 a) J_1(\kappa_d^0 a) - \kappa_d^0 \varepsilon_p I_1(\kappa^0 a) J_0(\kappa_d^0 a)} = \frac{\kappa_0^0 \varepsilon_d K_0(\kappa_0^0 b) N_1(\kappa_d^0 b) + \kappa_d^0 K_1(\kappa_0^0 b) N_0(\kappa_d^0 b)}{\kappa_0^0 \varepsilon_d K_0(\kappa_0^0 b) J_1(\kappa_d^0 b) + \kappa_d^0 K_1(\kappa_0^0 b) J_0(\kappa_d^0 b)}, \quad (8)$$

где $J_{0,1}(x)$, $N_{0,1}(x)$ - функции Бесселя и Неймана. Уравнение (8) содержит параметры ε_p , ε_d , a/λ (электрический радиус плазмы), b/a (относительная толщина диэлектрика) и имеет решения не при всех значениях этих величин. В некоторых же случаях уравнение (8) имеет несколько решений относительно k_z^0 . Каждое из них соответствует определенной поверхностной волне. Ограничимся случаем, когда имеется только одна поверхностная волна.

При условии $k\sqrt{\varepsilon_d} < k_z^0$ выражения для компоненты поля поверхностной волны $H_{\phi 0}(\rho, z)$ отличаются от (6). В этом случае также можно получить дисперсионное уравнение. Однако оно не имеет решений, т.е. отсутствуют поверхностные волны.

Кроме поверхностной волны (5), (6) имеются также аксиально-симметричные решения уравнений Максвелла, соответствующие пространственным или псевдоповерхностным волнам [3,4]. Пространственные волны являются быстрыми. Они существуют при условии $\kappa_0^2 = k^2 - k_z^2 > 0$, где k_z -волновое число, κ_0 - поперечное волновое число. Пространственные E -волны имеют компоненты $E_z(\rho, z)$, $E_\rho(\rho, z)$, $H_\phi(\rho, z)$. Азимутальная компонента магнитного поля волны

$$H_\phi(\rho, z, \kappa_0) = \Psi(\rho, \kappa_0) \exp(\pm i k_z z). \quad (9)$$

В формуле (9) выделена зависимость от поперечного волнового числа κ_0 . Функция поперечного сечения $\Psi(\rho, \kappa_0)$ пространственной E -волны определяется выражениями

$$\Psi(\rho, \kappa_0) = \frac{1}{N(\kappa_0)} \begin{cases} u_5 J_1(\kappa_0 \rho) + u_6 N_1(\kappa_0 \rho), & b \leq \rho < \infty, \\ u_1 J_1(\kappa_d \rho) + u_2 N_1(\kappa_d \rho), & a \leq \rho \leq b, \\ I_1(\kappa \rho), & 0 \leq \rho \leq a, \end{cases} \quad (10)$$

где $u_6 = \frac{\pi \kappa_0 b}{2} \left\{ \frac{\kappa_d}{\kappa_0 \varepsilon_d} u_3 J_1(\kappa_0 b) - u_4 J_0(\kappa_0 b) \right\}$

$$u_1 = -\frac{\pi \kappa_d a}{2} \left\{ \frac{\kappa \varepsilon_d}{\kappa_d \varepsilon_p} I_0(\kappa a) N_1(\kappa_d a) - I_1(\kappa a) N_0(\kappa_d a) \right\},$$

$$u_2 = \frac{\pi \kappa_d a}{2} \left\{ \frac{\kappa \varepsilon_d}{\kappa_d \varepsilon_p} I_0(\kappa a) J_1(\kappa_d a) - I_1(\kappa a) J_0(\kappa_d a) \right\},$$

$$u_3 = u_1 J_0(\kappa_d b) + u_2 N_0(\kappa_d b),$$

$$u_4 = u_1 J_1(\kappa_d b) + u_2 N_1(\kappa_d b),$$

$$u_5 = -\frac{\pi \kappa_0 b}{2} \left\{ \frac{\kappa_d}{\kappa_0 \varepsilon_d} u_3 N_1(\kappa_0 b) - u_4 N_0(\kappa_0 b) \right\},$$

$\kappa^2 = \omega_p^2 / c^2 - \kappa_0^2$, $\kappa_d^2 = k^2 \varepsilon_d - k_z^2$ (нормировочный множитель $N(\kappa_0)$ для краткости не приводится).

Функция (10) удовлетворяет указанным выше граничным условиям. Однако она медленно убывает при $\rho \rightarrow \infty$ и поэтому следующим образом нормирована на δ -функцию:

$$\int_0^\infty d\rho \rho \frac{1}{\varepsilon(\rho)} \Psi(\rho, \kappa_0) \Psi(\rho, \tilde{\kappa}_0) = \delta(\kappa_0 - \tilde{\kappa}_0). \quad (11)$$

Функции поперечного сечения $\Psi_0(y)$ и $\Psi(\rho, \kappa_0)$ ортогональны друг другу

$$\int_0^\infty d\rho \rho \frac{1}{\varepsilon(\rho)} \Psi_0(\rho) \Psi(\rho, \kappa_0) = 0. \quad (12)$$

Представим компоненту полного поля $H_\phi(\rho, z)$ в однородном слое плазмы и диэлектрике в виде спектрального разложения по полному набору функций $H_{\phi 0}(\rho, z)$ (5) и $H_\phi(\rho, z, \kappa_0)$ (9)

$$H_\phi(\rho, z) = \left(B_+^0 \exp(ik_z z) + B_-^0 \exp(-ik_z z) \right) \Psi_0(\rho) + \int_0^\infty d\kappa_0 \left(B_+(\kappa_0) \exp(ik_z z) + B_-(\kappa_0) \exp(-ik_z z) \right) \Psi(\rho, \kappa_0), \quad (13)$$

где первое слагаемое соответствует суперпозиции поверхностных, а второе - суперпозиции пространственных волн.

Пусть теперь на участке $0 \leq z \leq L$, как показано на рис. 1, 2, диэлектрическая проницаемость плазмы ε_p неоднородна в продольном направлении. При этом в соответствии с методом спектрального разложения [3, 4] коэффициенты B_\pm^0 , B_\pm в разложении (13) следует считать функциями координаты z . От z теперь зависит постоянная распространения $k_z^0(z)$, являющаяся решением дисперсионного уравнения, содержащего неоднородную плотность $n_e(z)$. Для дальнейшего удобно сделать замену:

$$B_\pm^0(z) = \frac{\exp(\pm i(\gamma_0(z) - k_z^0 z))}{\sqrt{k_z^0}} D_\pm^0(z), \quad (14)$$

$$B_\pm(\kappa_0, z) = \frac{1}{k_z} D_\pm(\kappa_0, z), \quad (15)$$

где $\gamma_0(z) = \int_0^z dz k_z^0(z)$, а $D_\pm^0(z)$, $D_\pm(\kappa_0, z)$ - новые

амплитуды поверхностных и пространственных волн. Подставляя выражение (13) с заменой (14)-(15) в уравнения Максвелла и используя условия нормировки и ортогональности (7),(11),(12), получаем систему четырех интегро-дифференциальных уравнений для амплитуд $D_{\pm}^0(z)$, $D_{\pm}(\kappa_0, z)$. Используя очевидные граничные условия:

$$D_+^0(z=0)=1, \quad D_-^0(z=L)=0, \\ D_+(z=0)=0, \quad D_-(z=L)=0,$$

эти уравнения могут быть преобразованы в следующую систему интегральных уравнений:

$$D_+^0(z)=1+\int_0^z dz \{A_1 D_+^0(z)+A_2 D_-^0(z)\}+ \\ +\int_0^z dz \int_0^{\infty} d\tilde{\kappa}_0 \{A_3 D_+(\tilde{\kappa}_0, z)+A_4 D_-(\tilde{\kappa}_0, z)\}; \quad (16)$$

$$D_-^0(z)=\int_L^z dz \{(A_2)^* D_+^0(z)+A_1 D_-^0(z)\}+ \\ +\int_L^z dz \int_0^{\infty} d\tilde{\kappa}_0 \{(A_4)^* D_+(\tilde{\kappa}_0, z)+(A_3)^* D_-(\tilde{\kappa}_0, z)\}; \quad (17)$$

$$D_+(\kappa_0, z)=\int_0^z dz \{A_5 D_+^0(z)+A_6 D_-^0(z)\}+ \\ +\int_0^z dz \int_0^{\infty} d\tilde{\kappa}_0 \{A_7 D_+(\tilde{\kappa}_0, z)+A_8 D_-(\tilde{\kappa}_0, z)\}; \quad (18)$$

$$D_-(\kappa_0, z)=\int_L^z dz \{(A_6)^* D_+^0(z)+(A_5)^* D_-^0(z)\}+ \\ +\int_L^z dz \int_0^{\infty} d\tilde{\kappa}_0 \{(A_8)^* D_+(\tilde{\kappa}_0, z)+(A_7)^* D_-(\tilde{\kappa}_0, z)\}, \quad (19)$$

Величины A_i , входящие в уравнения (16)-(19) имеют смысл комплексных коэффициентов связи прошедшей поверхностной, отраженной поверхностной волн и волн излучения между собой. Эта связь возникает благодаря продольной неоднородности плазмы. Уравнения (16)-(19) и формулы для коэффициентов A_i имеют универсальный характер и не отличаются для плоской и цилиндрической геометрии. Их вид не изменяется и при наличии диэлектрической оболочки, окружающий плазменный столб. Уравнения (16)-(19) приведены здесь для полноты изложения. Они, и формулы для A_i приведены в [5, 6]. Но функции $J_0(z)$, $J_1(\kappa_0, z)$, $J_2(\kappa_0, z)$, $J_3(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z)$, которые входят в коэффициенты A_i будут иными. Теперь они определяются интегралами

$$J_0(z)=\int_0^{\infty} d\rho \rho \frac{1}{\varepsilon_p(\rho)} \Psi_0(\rho, z) (\Psi_0(\rho, z))'_z, \quad (20)$$

$$J_1(\kappa_0, z)=\int_0^{\infty} d\rho \rho \frac{1}{\varepsilon_p(\rho)} \Psi_0(\rho, z) (\Psi(\rho, \kappa_0, z))'_z, \quad (21)$$

$$J_2(\kappa_0, z)=\int_0^{\infty} d\rho \rho \frac{1}{\varepsilon_p(\rho)} \Psi(\rho, \kappa_0, z) (\Psi_0(\rho, z))'_z, \quad (22)$$

$$J_3(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z)=\int_0^{\infty} d\rho \rho \frac{1}{\varepsilon_p(\rho)} \Psi(\rho, \kappa_0, z) (\Psi(\rho, \tilde{\kappa}_0, z))'_z. \quad (23)$$

Зависимость этих интегралов от координаты z возникает из-за зависимости от z корня дисперсионного уравнения k_z^0 и плазменной частоты ω_p , которые содержатся в функциях (6, 10) (окончательные выражения для J_0, J_1, J_2, J_3 громоздки и для краткости не приводятся). Разложим комплексные амплитуды $D_{\pm}^0(z)$, $D_{\pm}(\kappa_0, z)$ на действительные и мнимые части:

$$D_+^0(z)=f_1(z)+ig_1(z), \quad D_-^0(z)=f_2(z)+ig_2(z), \quad (24)$$

$$D_+(\kappa_0, z)=f_3(\kappa_0, z)+ig_3(\kappa_0, z), \quad (25)$$

$$D_-(\kappa_0, z)=f_4(\kappa_0, z)+ig_4(\kappa_0, z). \quad (26)$$

Асимптотика интеграла в формуле (13) описывает излучение в дальней зоне. Для нахождения этой асимптотики методом перевала при $kr \rightarrow \infty$, где r - расстояние от участка неоднородности плазменного слоя до точки наблюдения, поступим следующим образом. Следуя работам [4, 5], перейдем к комплексной переменной ϑ с помощью формул $\kappa_0 = k \sin \vartheta$, $k_z = k \cos \vartheta$. Контур интегрирования C по комплексной переменной ϑ состоит из двух частей C_1 и C_2 как показано на рис. 3 [4, 5]. Отметим, что точке $\kappa_0 = k$ соответствует точка $\text{Im}(\vartheta) = 0$, $\text{Re}(\vartheta) = \pi/2$ на этом рисунке.

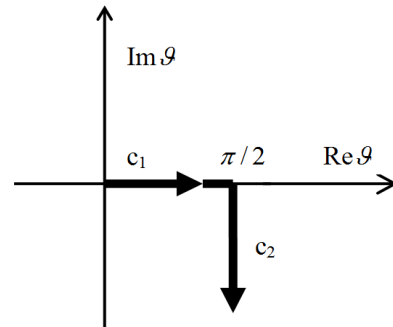


Рис. 3. Контур интегрирования $C=C_1+C_2$ по комплексной переменной θ

На контуре C имеются две точки перевала. Это $\vartheta = \theta$ и $\vartheta = \pi - \theta$, где θ - угол наклона радиуса вектора точки наблюдения к оси z в плоскости (ρ, z) (рис. 1). Эти две точки расположены на контуре C_1 , который соответствует следующему интервалу изменения переменной κ_0 : $0 \leq \kappa_0 \leq k$. Точка перевала $\vartheta = \theta$ определяет излучение под острыми углами θ , а точка $\vartheta = \pi - \theta$ под тупыми углами θ . Поскольку обе точки расположены на контуре C_1 , мы ограничимся только этим отрезком контура C при решении

системы интегральных уравнений (16)-(19), т.е. предполагаем, что в (16)-(19) справедливо приближение

$$\int_0^\infty d\tilde{\kappa}_0 \{ \} \approx \int_0^k d\tilde{\kappa}_0 \{ \} = k \int_0^{\pi/2} d\tilde{\vartheta} \cos\tilde{\vartheta} \{ \}. \quad (27)$$

Предположение (27) позволяет следующим образом разложить коэффициенты A_i на действительные и мнимые части

$$A_1(z) = a_1(z), \quad A_2(z) = a_2(z) - ib_2(z), \quad (28)$$

$$A_3(\tilde{\kappa}_0, z) = a_3(\tilde{\kappa}_0, z) - ib_3(\tilde{\kappa}_0, z), \quad (29)$$

$$A_4(\tilde{\kappa}_0, z) = a_4(\tilde{\kappa}_0, z) - ib_4(\tilde{\kappa}_0, z), \quad (30)$$

$$A_5(\kappa_0, z) = a_5(\kappa_0, z) + ib_5(\kappa_0, z), \quad (31)$$

$$A_6(\kappa_0, z) = a_6(\kappa_0, z) - ib_6(\kappa_0, z), \quad (32)$$

$$A_7(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z) = a_7(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z) + ib_7(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z), \quad (33)$$

$$A_8(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z) = a_8(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z) - ib_8(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z). \quad (34)$$

Формулы для коэффициентов $A_1(z)$, $A_2(z)$, $A_3(\tilde{\kappa}_0, z)$, $A_4(\tilde{\kappa}_0, z)$, $A_5(\tilde{\kappa}_0, z)$, $A_6(\tilde{\kappa}_0, z)$, $A_7(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z)$, $A_8(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z)$ приведены в работе [6]. В этих формулах выражения для J_0 , J_1 , J_2 , J_3 следует заменить на ((20)-(23)). Подставляя разложения (24)-(26), (28)-(34) в (16)-(19), и используя приближение (27), получим интегральные уравнения для действительных функций f_i , g_i ($i = 1, 2, 3, 4$):

$$f_1(\tilde{z}) = 1 + \int_0^{\tilde{z}} d\tilde{z} \{ \alpha_1(\tilde{z})f_1(\tilde{z}) + \alpha_2(\tilde{z})f_2(\tilde{z}) + \beta_2(\tilde{z})g_2(\tilde{z}) \} + \int_0^{\tilde{z}} d\tilde{z} \int_0^{\pi/2} d\tilde{\vartheta} \{ \alpha_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})f_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \beta_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})g_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \alpha_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})f_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \beta_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})g_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) \}; \quad (35)$$

$$g_1(\tilde{z}) = \int_0^{\tilde{z}} d\tilde{z} \{ \alpha_1(\tilde{z})g_1(\tilde{z}) + \alpha_2(\tilde{z})g_2(\tilde{z}) - \beta_2(\tilde{z})f_2(\tilde{z}) \} + \int_0^{\tilde{z}} d\tilde{z} \int_0^{\pi/2} d\tilde{\vartheta} \{ \alpha_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})g_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) - \beta_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})f_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \alpha_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})g_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) - \beta_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})f_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) \}; \quad (36)$$

$$f_2(\tilde{z}) = \int_1^{\tilde{z}} d\tilde{z} \{ \alpha_2(\tilde{z})f_1(\tilde{z}) - \beta_2(\tilde{z})g_1(\tilde{z}) + \alpha_1(\tilde{z})f_2(\tilde{z}) \} + \int_1^{\tilde{z}} d\tilde{z} \int_0^{\pi/2} d\tilde{\vartheta} \{ \alpha_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})f_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) - \beta_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})g_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \alpha_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})f_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) - \beta_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})g_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) \}; \quad (37)$$

$$g_2(\tilde{z}) = \int_1^{\tilde{z}} d\tilde{z} \{ \alpha_2(\tilde{z})g_1(\tilde{z}) + \beta_2(\tilde{z})f_1(\tilde{z}) + \alpha_1(\tilde{z})g_2(\tilde{z}) \} + \int_1^{\tilde{z}} d\tilde{z} \int_0^{\pi/2} d\tilde{\vartheta} \{ \alpha_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})g_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \beta_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})f_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \alpha_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})g_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \beta_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z})f_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) \}; \quad (38)$$

$$f_3(\vartheta, \tilde{z}) = \int_0^{\tilde{z}} d\tilde{z} \{ \alpha_5(\vartheta, \tilde{z})f_1(\tilde{z}) - \beta_5(\vartheta, \tilde{z})g_1(\tilde{z}) + \alpha_6(\vartheta, \tilde{z})f_2(\tilde{z}) + \beta_6(\vartheta, \tilde{z})g_2(\tilde{z}) \} + \int_0^{\tilde{z}} d\tilde{z} \int_0^{\pi/2} d\tilde{\vartheta} \{ \alpha_7(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})f_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) - \beta_7(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})g_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \alpha_8(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})f_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \beta_8(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})g_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) \}; \quad (39)$$

$$g_3(\vartheta, \tilde{z}) = \int_0^{\tilde{z}} d\tilde{z} \{ \beta_5(\vartheta, \tilde{z})f_1(\tilde{z}) + \alpha_5(\vartheta, \tilde{z})g_1(\tilde{z}) + \alpha_6(\vartheta, \tilde{z})g_2(\tilde{z}) - \beta_6(\vartheta, \tilde{z})f_2(\tilde{z}) \} + \int_0^{\tilde{z}} d\tilde{z} \int_0^{\pi/2} d\tilde{\vartheta} \{ \alpha_7(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})g_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \beta_7(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})f_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \alpha_8(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})g_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) - \beta_8(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})f_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) \}; \quad (40)$$

$$f_4(\vartheta, \tilde{z}) = \int_1^{\tilde{z}} d\tilde{z} \{ \alpha_6(\vartheta, \tilde{z})f_1(\tilde{z}) - \beta_6(\vartheta, \tilde{z})g_1(\tilde{z}) + \alpha_5(\vartheta, \tilde{z})f_2(\tilde{z}) + \beta_5(\vartheta, \tilde{z})g_2(\tilde{z}) \} + \int_1^{\tilde{z}} d\tilde{z} \int_0^{\pi/2} d\tilde{\vartheta} \{ \alpha_8(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})f_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) - \beta_8(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})g_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \alpha_7(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})f_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \beta_7(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})g_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) \}; \quad (41)$$

$$g_4(\vartheta, \tilde{z}) = \int_1^{\tilde{z}} d\tilde{z} \{ \alpha_6(\vartheta, \tilde{z})g_1(\tilde{z}) + \beta_6(\vartheta, \tilde{z})f_1(\tilde{z}) + \alpha_5(\vartheta, \tilde{z})g_2(\tilde{z}) - \beta_5(\vartheta, \tilde{z})f_2(\tilde{z}) \} + \int_1^{\tilde{z}} d\tilde{z} \int_0^{\pi/2} d\tilde{\vartheta} \{ \alpha_8(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})g_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \beta_8(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})f_3(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) + \alpha_7(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})g_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) - \beta_7(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})f_4(\tilde{\vartheta}, \tilde{z}) \}; \quad (42)$$

где \tilde{z} безразмерная координата ($\tilde{z} = z / L$, $0 \leq \tilde{z} \leq 1$), а безразмерные коэффициенты α_i , β_i ($i = 1-8$) связаны с коэффициентами a_i , b_i ($i = 1-8$) из (28)-(34) соотношениями

$$\begin{aligned} a_1(z) &= \frac{\alpha_1(\tilde{z})}{L}, \quad a_2(z) = \frac{\alpha_2(\tilde{z})}{L}, \quad b_2(z) = \frac{\beta_2(\tilde{z})}{L}, \\ a_3(\kappa_0, z) &= \frac{\alpha_3(\vartheta, \tilde{z})}{k_z L}, \quad b_3(\kappa_0, z) = \frac{\beta_3(\vartheta, \tilde{z})}{k_z L}, \\ a_4(\kappa_0, z) &= \frac{\alpha_4(\vartheta, \tilde{z})}{k_z L}, \quad b_4(\kappa_0, z) = \frac{\beta_4(\vartheta, \tilde{z})}{k_z L}, \\ a_5(\kappa_0, z) &= \frac{\alpha_5(\vartheta, \tilde{z})}{L}, \quad b_5(\kappa_0, z) = \frac{\beta_5(\vartheta, \tilde{z})}{L}, \\ a_6(\kappa_0, z) &= \frac{\alpha_6(\vartheta, \tilde{z})}{L}, \quad b_6(\kappa_0, z) = \frac{\beta_6(\vartheta, \tilde{z})}{L}, \\ a_7(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z) &= \frac{\alpha_3(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})}{\tilde{k}_z L}, \quad b_7(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z) = \frac{\beta_7(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})}{\tilde{k}_z L}, \\ a_8(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z) &= \frac{\alpha_8(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})}{\tilde{k}_z L}, \quad b_8(\tilde{\kappa}_0, \kappa_0, z) = \frac{\beta_8(\tilde{\vartheta}, \vartheta, \tilde{z})}{\tilde{k}_z L}. \end{aligned}$$

В уравнениях (35)-(42) величина ϑ связана с углом наблюдения, а $\tilde{\vartheta}$ - переменная интегрирования. Найдя асимптотику интеграла, входящего в разложение (13), и соответствующий вектор Пойнтинга, получаем угловое распределение мощности излучения под острыми $P^+(\theta)$ и тупыми углами $P^-(\theta)$:

$$\frac{dP^+(\theta)}{d\theta} = \frac{c}{4k} \left(f_3^2(\theta, 1) + g_3^2(\theta, 1) \right), \quad (43)$$

$$\frac{dP^-(\theta)}{d\theta} = \frac{c}{4k} \left(f_4^2(\pi - \theta, 0) + g_4^2(\pi - \theta, 0) \right). \quad (44)$$

Амплитуды $f_1(\tilde{z})$, $g_1(\tilde{z})$, $f_2(\tilde{z})$, $g_2(\tilde{z})$ определяют поле поверхностной волны и вектор Пойнтинга, который определяет мощности $P_0^+(z)$ и $P_0^-(z)$ прошедшей и отраженной поверхностных волн соответственно. Коэффициенты прохождения η_0^+ и отражения η_0^- для поверхностной волны равны:

$$\eta_0^+ = P_0^+(z \rightarrow \infty) / P_0^+(z \rightarrow -\infty) = \left(f_1^2(1) + g_1^2(1) \right),$$

$$\eta_0^- = P_0^-(z \rightarrow \infty) / P_0^+(z \rightarrow -\infty) = \left(f_2^2(0) + g_2^2(0) \right).$$

Соотношения (43), (44) позволяют найти диаграммы направленности излучения, а также коэффициенты η^+ и η^- преобразования энергии поверхностной волны в энергию излучения под острыми и тупыми углами θ соответственно:

$$\eta^+ = \left(1 / P_0^+(z \rightarrow -\infty) \right) \times \int_0^{\pi/2} d\theta \frac{dP^+(\theta)}{d\theta} = \int_0^{\pi/2} d\theta \left(f_3^2(\theta, 1) + g_3^2(\theta, 1) \right); \quad (45)$$

$$\eta^- = \left(1 / P_0^+(z \rightarrow -\infty) \right) \times \int_{\pi}^{\pi/2} d\theta \frac{dP^-(\theta)}{d\theta} = \int_{\pi}^{\pi/2} d\theta \left(f_4^2(\pi - \theta, 0) + g_4^2(\pi - \theta, 0) \right). \quad (46)$$

Результаты вычислений

Для решения системы интегральных уравнений (35)-(42) был использован метод последовательных приближений. Нулевое приближение для амплитуд определяется следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} f_1(\tilde{z}) &= 1, \quad g_1(\tilde{z}) = f_2(\tilde{z}) = g_2(\tilde{z}) = g_2(\tilde{z}) = \\ &= f_3(\vartheta, \tilde{z}) = g_3(\vartheta, \tilde{z}) = f_4(\vartheta, \tilde{z}) = g_4(\vartheta, \tilde{z}) = 0. \end{aligned} \quad (47)$$

Формулы (47) соответствуют прохождению поверхностной волны через участок неоднородной плазмы без искажения. Условия существования единственной поверхностной волны не могут быть получены в аналитическом виде и в каждом отдельном случае находятся численно, в виде ограничений на параметры ε_p , ε_d , a/λ , b/a . Последние три параметра определяют минимальное значение модуля диэлектрической проницаемости однородной плаз-

мы ε_{pr} , при котором еще существует поверхностная волна. Очевидно, должно выполняться условие

$$\varepsilon_0 > \varepsilon_{pr}. \quad (48)$$

Величина ε_{pr} не монотонно зависит от параметров ε_d , a/λ , b/a и может быть найдена только в результате численного решения уравнения (8). Глубина модуляции (4) должна подчиняться условию

$$\alpha \leq \alpha_{\max}, \quad (49)$$

где α_{\max} - максимально допустимое значение α . Величина α_{\max} определяется соотношением $\alpha_{\max} = (\varepsilon_0 - \varepsilon_{pr}) / \varepsilon_0$, которое следует из (4) и определения параметра ε_{pr} . Величина α_{\max} зависит не только от параметров ε_d , a/λ , b/a , но также, как видно из (2), от средней плотности плазмы n_{e0} и радиуса плазменного столба a . Последний определяет длину волны λ при заданном параметре a/λ . Итак, параметры задачи должны выбираться из условий (48), (49).

В настоящей работе проведены вычисления коэффициентов преобразования энергии, среди которых наиболее важными для физики антенн являются коэффициенты η^+ (45) и η^- (46), поскольку именно они определяют эффективность излучения предлагаемой модели плазменной антенны. Точность вычислений, определяемая разностной аппроксимацией интегралов в уравнениях (35)-(42) и от того, насколько справедливо приближение (27), контролировалась с помощью очевидного равенства $\eta_0^+ + \eta_0^- + \eta^+ + \eta^- = 1$.

Вычисления выполнены для нескольких наборов параметров n_{e0} , L/λ , ε_d , a , a/λ , b/a , а также разных значений глубины модуляции α , количества страт N_s (3) и фазы Ψ_0 . Для иллюстрации выбраны такие параметры: набор I - $n_{e0} = 10^{12} \text{ см}^{-3}$, $L/\lambda = 3$, $\varepsilon_d = 2.5$, $a = 5 \text{ см}$, $a/\lambda = 0.15$, $b/a = 1.1$; набор II - $n_{e0} = 10^{12} \text{ см}^{-3}$, $L/\lambda = 2$, $\varepsilon_d = 10$, $a = 1 \text{ см}$, $a/\lambda = 0.02$, $b/a = 2$; набор III - $n_{e0} = 10^{11} \text{ см}^{-3}$, $L/\lambda = 3$, $\varepsilon_d = 10$, $a = 5 \text{ см}$, $a/\lambda = 0.15$, $b/a = 2$; набор IV - $n_{e0} = 10^{11} \text{ см}^{-3}$, $L/\lambda = 2$, $\varepsilon_d = 2.5$, $a = 5 \text{ см}$, $a/\lambda = 0.1$, $b/a = 1.1$. Для определенности выберем длину участка неоднородности, равную $L = 100 \text{ см}$ [2, 7]. Тогда длина волны излучения для наборов параметров I и III будет равна $\lambda = 33,3 \text{ см}$, а для наборов II и IV - $\lambda = 50 \text{ см}$. Для того, чтобы λ было другим, параметры задачи должны отличаться от приведенных выше.

Общие результаты для выбранных параметров сводятся к следующему. Коэффициенты η^+ и η^- монотонно зависят от количества страт N_s при фиксированных значениях прочих параметров задачи. Коэффициент η^+ имеет максимум при небольших значениях

$N_s = 1, 2$, а коэффициент η^- имеет максимум при значениях $N_s = 3 - 5$. Поэтому для излучения под острыми углами θ (рис.1) нужно небольшое число страт N_s , а для излучения под тупыми углами θ величина N_s должна быть больше. Обозначим эти максимальные по N_s величины η^+ и η^- , как $\max(\eta^+)$ и $\max(\eta^-)$ соответственно. Эти величины при прочих фиксированных параметрах растут при увеличении диэлектрической проницаемости ε_d и уменьшаются при увеличении плотности плазмы n_{e0} .

В работе [9] описаны страты с глубиной модуляции α (4), близкой к единице. При увеличении α увеличивается степень продольной неоднородности плазмы. Поэтому, как и следовало ожидать, коэффициенты преобразования энергии поверхностной волны в излучение при этом растут. В работах [5, 6] описана сходная ситуация, когда эффективность

преобразования энергии поверхностной волны в излучение растет при увеличении степени неоднородности плазмы при увеличении крутизны продольного уменьшения плотности плазмы. На рис. 4 представлено поведение величин $\max(\eta^+)$ и $\max(\eta^-)$ как функций α для приведенных выше наборов параметров I, II, III, IV и для начальной фазы, равной $\Psi_0 = \pi/2$. Интересно отметить, что при изменении α количества страт N_s , на которые приходятся максимумы коэффициентов η^+ и η^- остаются одними и теми же. Для штыревых антенн поверхностной волны наиболее интересно излучение под острыми углами θ (рис. 1). Видно, что коэффициенты $\max(\eta^+)$ для выбранных нами параметров и $\Psi_0 = \pi/2$ достигают 10 – 30%. Усредненные по фазе Ψ_0 значения $\max(\eta^+)$ мало отличаются от этих величин.

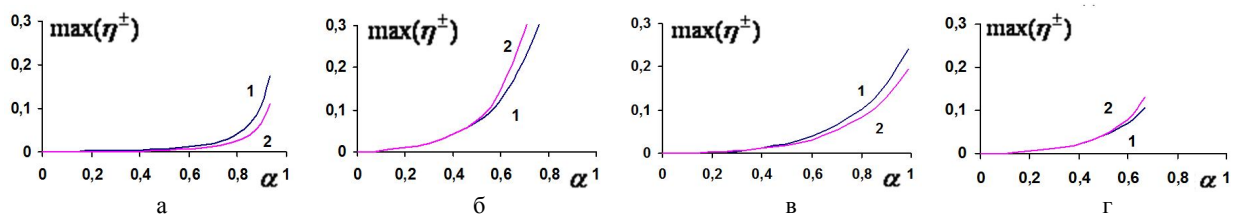


Рис. 4. Зависимость максимальных по количеству страт коэффициентов трансформации от глубины модуляции диэлектрической проницаемости α . Кривые 1 соответствуют коэффициенту $\max(\eta^+)$, кривые 2 - $\max(\eta^-)$; вычисления выполнены с наборами параметров I(a), II(б), III(в), IV(г)

Нормированные диаграммы направленности (НДН) имеют один хорошо выраженный лепесток с малым уровнем боковых лепестков при изменении количества страт в интервале $1 \leq N_s \leq N_{s \max}$, где $N_{s \max} = 5 - 6$. При $N_s \geq N_{s \max}$ у НДН появляется множество боковых лепестков. Для иллюстрации на рис. 5 представлена НДН, вычисленная с набором параметров I при $\Psi_0 = \pi/2$, $\alpha = 0.5$ и двух значений N_s .

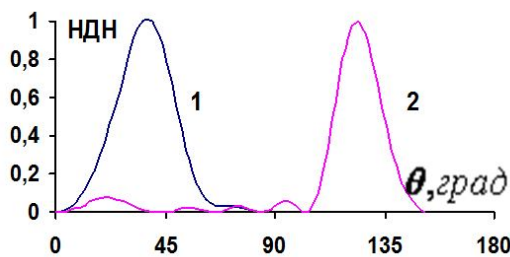


Рис. 5. НДН, вычисленные с набором параметров I при $\Psi_0 = \pi/2$, $\alpha = 0.5$ и $N_s = 1$ (кривая 1), $N_s = 5$ (кривая 2)

Общие свойства НДН, вычисленных при этих и других значениях этих параметров, таковы. При увеличении числа страт N_s угол θ_m , на который приходится максимум НДН, монотонно смещается в сторону больших значений. При изменении глубины модуляции страт α и фазы Ψ_0 , при неизменных остальных параметрах, угол θ_m и полуширина НДН $\Delta\theta$ изменяются незначительно. Отсюда следует, что при заданной геометрии плазменной антенны, свойствах плазмы и диэлектрика и небольшом количестве страт, можно получить излучение под острыми углами с

малым уровнем боковых лепестков. При этом эффективность излучения, угол θ_m и полуширина НДН θ_m слабо зависят от глубины модуляции страт α .

Выводы

Исследована трансформация энергии поверхностной волны на продольных неоднородностях цилиндрического плазменного столба, образованных стратами. Плазму окружает однородный диэлектрик. Для анализа таких открытых волноведущих систем эффективным является метод спектрального разложения Шевченко, который приводит к системе интегральных уравнений. Решение этих уравнений позволяет определить коэффициенты трансформации энергии поверхностной волны в излучение, а также вычислить диаграммы направленности. Проанализирована зависимость результатов от геометрии рассмотренной системы, свойств плазмы, диэлектрика, от количества страт и глубины модуляции плазмы. При небольшом количестве страт излучение направлено под острыми углами к оси плазменного столба. При этом уровень боковых лепестков мал. Эффективность преобразования энергии поверхностной волны в излучение составляет для выбранных нами параметров задачи 10 – 30%. Углы, приходящиеся на максимумы диаграмм направленности, и полуширины последних слабо зависят от глубины модуляции плотности плазмы.

Таким образом, рассмотренный стратифицированный плазменный цилиндр может служить основой для создания эффективной плазменной антенны с приосевым излучением.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Колебания и неустойчивости низкотемпературной плазмы / А. В. Недоспасов, В. Д. Хаит. – М.: Наука, 1979.
2. Пекарек Л. Ионизационные волны (страты) в разрядной плазме / Пекарек Л. // УФН. – 1968. – Т.94. вып. 3. – С. 463.
3. Шевченко В.В. // Акустический журнал. – 1963. – Т.9. – № 2. – С. 215.
4. Плавные переходы в открытых волноводах. Введение в теорию / В.В. Шевченко. – М.:Наука, 1969.
5. Кириченко Ю.В. // Радиотехника и электроника. – 2017. – Т.62. №12. – С. 1215.
6. Цилиндрическая плазменная антенна с сильной продольной неоднородностью / Кириченко Ю.В. // Радиотехника и электроника. – 2018. – Т.63. №5. – С. 433 – 441.
7. Зайцев А. А., Швилкин Б. Н. // Радиотехника и электроника. – 1967. – Т.12. №4. – С.736.
8. Клярфельд Б. Н. // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1952. – Т.22. вып.1. – С.66.
9. Lee O.A, Bletzinger P, Garscadden A.//Journ. of Applied Physics. – 1966. – v.37. №1. – P.377.

REFERENCES

1. Nedospasov, A. V. and Khait, V. D. (1979), “Kolebaniya i neustoychivosti nizkotemperaturnoy plazmy” [Oscillation and instability of low temperature plasma], Science, .
2. Pekarek, L. (1968), “Ionizatsionnye volny (straty) v razryadnoy plazme” [Ionization waves (strata) in discharge plasma], Uspekhi Fizicheskikh Nauk, V.94, No. 3, P.463.
3. Shevchenko, V.V. (1963), Acoustic journal, V.9, No. 2, P.215.
4. Shevchenko, V.V. (1969), “Plavnyye perehody v otkrytykh volnovodah. Vvedenie v teoriyu” [Smooth transitions in open waveguides. Introduction to theory], Science, Moscow.
5. Kirichenko, Yu.V. (2017), Radio engineering and electronics, V.62, No 12, P. 1215.
6. Kirichenko, Yu.V. (2018), “Tsilindricheskaya plazmennaya antenna s silnoy prodolnoy neodnorodnostyu” [Cylindrical plasma antenna with a strong longitudinal inhomogeneity], Radio engineering and electronics, V.63, No5, pp. 433 – 441.
7. Zaitsev, A.A. and Shvilkin, B. N. (1967), Radio engineering and electronics, V.12, No 4, P.736.
8. Klyarfeld, B.N. (1952), Journal of Experimental and Theoretical Physics, V.22, issue 1, P.66.
9. Lee, O.A, Bletzinger, P. and Garscadden, A. (1966), Journ. of Applied Physics, V.37, No1, P.377.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л. Ф. Купченко,

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

Received (Надійшла) 12.05.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.07.2018

Плазмова антена на основі стратифікованого плазмового стовпа

Ю. В. Кириченко, В. Д. Карлов, І. Ю. Кириченко, А. М. Артеменко

Предметом вивчення в статті є випромінювання плазмової антени, в якій поздовжня неоднорідність являє собою страти, тобто зони підвищеної та низької щільності плазми. **Метою** є обчислення діаграм спрямованості та коефіцієнтів перетворення енергії поверхневої хвилі плазмового циліндра в енергію випромінювання. **Завдання:** аналіз залежності діаграм спрямованості та коефіцієнтів перетворення енергії поверхневої хвилі від геометричних параметрів антени (радіусів плазмового циліндра та діелектричної оболонки), щільності плазми, частоти випромінювання, діелектричної проникності та ін. Використовуваними є методи спектрального методу, метод перевалу для обчислення асимптотик інтегралів, метод послідовних наближень для розв'язання системи інтегро-диференціальних рівнянь. Отримані наступні **результати**. Показано, що при невеликій кількості страт плазмова антена випромінює під малими кутами до осі антени. Обчислено діаграми спрямованості для практично важливих параметрів антени. Отримано залежності коефіцієнта перетворення енергії у випромінювання від глибини модуляції стаціонарних страт та страт, амплітуди яких змінюються. **Висновки.** Проведені в статті дослідження показали, що стратифікований плазмовий стовп може бути застосованим в якості антени. Максимум головної пелюстки діаграми спрямованості, що має невелику ширину на пів висот, і розташований під малими кутами до осі антени. Наведені приклади показують, що коефіцієнт перетворення енергії у випромінювання досягає 10 – 30 %.

Ключові слова: страти, НВЧ - випромінювання, холодна плазма, поверхневі хвилі, холодна плазма, діаграма спрямованості.

Plasma antenna on the basis of the stratified plasma post

Yu. Kirichenko, V. Karlov, I. Kirichenko, A. Artemenko

The subject of the study in the article is the radiation of a plasma antenna, in which the longitudinal heterogeneity is a stratum, that is, the zone of high and low density of the plasma. **The aim** is to calculate the directivity patterns and co-factors of the transformation of the surface plasma energy of the plasma cylinder into the energy of radiation. **Objective:** An analysis of the dependence of the directional diagrams and the coefficients of the transformation of the energy of the surface wave from the geometric parameters of the antenna (plasma cylinder radii and dielectric shell), plasma density, radiation frequency, dielectric permeability, and others. The methods used are the spectral method, the pass method for calculating the asymptotic integral, the method of successive approximations for the solution of the system of introspection equations. **The following results** are obtained. It is shown that with a small number of strata, the plasma antenna radiates at small angles to the antenna axis. The directional diagram for practically important antenna parameters is calculated. The dependences of the energy conversion factor in the radiation on the depth of modulation of stationary stratum and stratum, whose amplitudes change, are obtained. **Conclusions.** The studies carried out in the article showed that the stratified plasma column can be used as an antenna. The maximum of the main petal of the directional pattern, which has a small width of half the heights, and is located at small angles to the antenna axis. The above examples show that the energy conversion factor in radiation reaches 10 - 30%.

Keywords: striations, microwave radiation, cold plasma, surface waves, cold plasma, directional pattern.

П. Ф. Горбачов, О. В. Макарічев, Т. В. Немна, С. В. Свічинський

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИБУТКОВОСТІ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ ЗА РАЗОВИМИ ЗАЯВКАМИ

Відомим на сьогоднішній день критеріям ефективності виконання вантажних перевезень властивий ряд недоліків. Стосовно разових перевезень у міжнародному сполученні такими недоліками є неврахування особливостей виконання перевезень у певних напрямках, стану ринку, випадковості елементів транспортного процесу, прибутковості перевезення по відношенню до його тривалості. Для їх усунення як критерій ефективності виконання перевезень вантажів за разовими заявками було запропоновано використовувати питомий прибуток перевізника за добу витраченого на оборотний рейс часу. Він являє собою випадкову величину, закон розподілу якої визначається розподілами його складових. Отриманий аналітичний вираз щільності розподілу даного критерію зробив можливим отримання графіків щільності ймовірності питомого прибутку. Дослідження даної щільності було здійснено шляхом проведення повного факторного експерименту. Отримані в результаті криві щільності ймовірності дають уявлення про закономірності зміни питомого прибутку автотранспортного підприємства від виконання перевезень вантажів за разовими замовленнями в напрямку країн ЄС та СНД в залежності від транспортної зони, до якої здійснюється перевезення, тарифу на його виконання в прямому напрямку та відстані доставки. Дані закономірності стали основою для ймовірнісної оцінки ризиків при здійсненні перевізної діяльності за відомих умов виконання рейсу у напрямку з України за кордон, що є цінною інформацією для перевізників при прийнятті рішення щодо виконання перевезення. Так, в роботі приводяться значення ймовірності виникнення критичного ризику, тобто ризику мати збитки за результатами перевезення. На основі результатів проведених експериментальних досліджень розроблено рекомендації щодо прийняття рішень про виконання разових міжнародних перевезень, спрямовані зорієнтувати перевізників на ведення статистики доходів, витрат та часових складових транспортного процесу та дозволяють визначити доцільність здійснення доставки чи встановити пріоритет обслуговування заявок.

Ключові слова: міжнародні перевезення, разова заявка, питомий прибуток, щільність ймовірності, ризик.

Вступ

Сучасний ринок міжнародних автомобільних перевезень вантажів характеризується високою динамічністю. Через це суб'єкти господарювання повинні постійно пристосовуватись до ринкової кон'юнктури та шукати шляхи підвищення власної конкурентоспроможності. Щоб отримати прибуток в таких умовах підприємства-перевізники не мають права на помилку при прийнятті рішення щодо доцільності виконання перевезення. В особливому ступені це стосується міжнародних перевезень за разовими заявками, адже цей сегмент характеризується великою кількістю учасників ринку, а, отже, і високою конкуренцією. При виконанні таких перевезень складність згаданого рішення додатково підвищується тим, що воно повинне прийматись в умовах обмеженої інформації про складові транспортного процесу з виконання рейсу в прямому напрямку та невизначеності цих складових – у зворотному.

Для прийняття зважених рішень при отриманні заявки на разове перевезення автотранспортні підприємства (АТП) потребують інформаційної підтримки та рекомендацій щодо визначення пріоритету заявок або доцільності здійснення доставки. Подібна інформація дозволить підвищити ймовірність отримання АТП найбільшого прибутку та знизити суб'єктивність рішень стосовно виконання перевезень.

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми дослідження На сьогоднішній день для

оцінки ефективності виконання вантажних перевезень розроблено велику кількість критеріїв [1-7]. Іноді вони носять суперечливий характер, але значення кожного з них може служити основою для прийняття рішення щодо виконання перевезення або давати орієнтир щодо очікуваних результатів – все залежить від мети перевезення та умов перевізної діяльності.

До основних критеріїв ефективності перевізного процесу відносяться своєчасність доставки вантажу, тривалість доставки, втрати вантажу, продуктивність транспортних засобів при виконанні перевезень, трудо- та енергомісткість робіт, собівартість перевезень та прибуток.

Своєчасність доставки вантажів характеризується задоволенням вимог на перевезення відповідно до висунених умов. Доставка вантажу в точно призначений термін свідчить про надійність обраного маршруту перевезення та дає АТП істотні конкурентні переваги [8].

Тривалість доставки характеризується часом перебування вантажу в дорозі з моменту його завантаження до початку розвантаження [1, 5, 8] і впливає на тривалість обороту матеріальних засобів. Зменшення тривалості доставки дозволяє вивільнити частину матеріальних цінностей для продуктивного використання. Тривалість доставки може бути охарактеризована швидкістю доставки та вартістю вантажної маси, що перебуває в дорозі. Дана вартість може бути визначена за формулою

$$B_{\text{вм}} = C_m \cdot P \cdot T_{\text{д}}, \quad (1)$$

де C_m – ціна однієї тони вантажу, грн; P – обсяг відправки вантажу (наприклад, щоденний), т; $T_{\text{д}}$ – тривалість доставки, днів.

При скороченні часу доставки до $T'_{\text{д}}$ скорочується час знаходження вантажу у сфері обертання та вивільняється сума коштів для залучення в оборот, яка може скласти

$$\Delta B_{\text{вм}} = B_{\text{вм}} - B'_{\text{вм}} = C_m \cdot P \cdot (T_{\text{д}} - T'_{\text{д}}), \quad (2)$$

При виборі схем доставки необхідно враховувати втрати вантажу в процесі транспортування, адже результати прогнозування незбереження вантажів можуть стати визначальними при здійсненні вибору. Збиток в результаті втрат вантажу можна оцінити як

$$L_{\text{вв}} = 0,01 \cdot P \cdot C_m \cdot \mu, \quad (3)$$

де μ – втрати маси продукції в процесі транспортування, %.

Фактичний збиток від втрат вантажу насправді буде дещо більшим, оскільки на відтворення втраченої продукції знадобляться витрати праці, часових та матеріальних ресурсів [8].

Продуктивність транспортних засобів характеризується кількістю вантажу, перевезеного в одиницю часу на певну відстань, і зазвичай вимірюється в тонах або тоно-кілометрах за годину [8, 9]. Трудомісткість робіт при виконанні перевезення в розрахунку на одну тону вантажу, що перевозиться, або один тоно-кілометр виконаної транспортної роботи може бути визначена як величина, зворотна продуктивності.

Енергомісткість перевезень може бути розрахована як

$$E = \frac{H}{P}, \text{ л/т}; \quad E = \frac{H \cdot \rho \cdot h_m}{1000 \cdot P}, \text{ МДж/т}, \quad (4)$$

де H – кількість палива, витраченого на перевезення, л; ρ – щільність палива, г/см³; h_m – теплотворність палива, кДж/кг [8, 9].

Собівартість перевезень характеризує витрати, які несе АТП на 1 т або 1 ткм при здійсненні перевезень. З метою максимально повної оцінки собівартості необхідно враховувати весь комплекс витрат на виконання транспортного процесу [8, 9].

Прибуток підприємства можна розрахувати як різницю між дохідною та витратною частинами виконання перевезення [8, 9].

Недоліками наведених критеріїв ефективності є неврахування особливостей виконання міжнародних перевезень у різних напрямках, митного оформлення вантажу та перетину пунктів пропуску через державний кордон, а також випадковості елементів транспортного процесу. Для усунення перелічених недоліків в роботі [10] для оцінки ефективності міжнародних вантажних перевезень було обґрунтовано доцільність використання питомого прибутку АТП за одиницю витраченого на оборотний рейс часу

$$n_{\text{об}} = \frac{P_{\text{об}}}{t_{\text{об}}}, \quad (5)$$

де $P_{\text{об}}$ – абсолютна величина прибутку підприємства за оборотний рейс, грн/рейс; $t_{\text{об}}$ – тривалість оборотного рейсу, днів/рейс.

Даний критерій ефективності з урахуванням складових доходної та витратної частин перевезення може бути записаний як

$$n_{\text{об}} = \left((T_{\text{нр}} - c_{\text{вант}}) \cdot l_{\text{нр}} + \Delta - c_{\text{пост}} \cdot \Psi \right) / \Psi, \quad (6)$$

$$\Psi = (1 + k_t) \cdot \frac{l_{\text{нр}}}{v_{\text{вант}}} + \tau_{\text{оз}} + \frac{\lambda_{\text{нор}}}{v_{\text{нор}}} + (1 + k_t) \cdot \frac{\lambda_{\text{зв}}}{v_{\text{вант}}} + \sum_d (t_{\text{мовд}} + t_{\text{монд}} + t_{\text{нд}} + t_{\text{пд}} + t_{\text{ндд}}), \quad (7)$$

$$\Delta = \sum_{j=1}^{n_{\text{нр}}} s_{\text{нрj}} \cdot \tau_{\text{ннj}} + (m_{\text{зв}} - c_{\text{вант}}) \cdot \lambda_{\text{зв}} + \sum_{j=1}^{n_{\text{зв}}} s_{\text{звj}} \cdot \tau_{\text{ннj}} - c_{\text{нор}} \cdot \lambda_{\text{нор}}, \quad (8)$$

де $T_{\text{нр}}$ – тариф за 1 км пробігу (тариф на перевезення вантажу) в прямому напрямку, грн/км;

$l_{\text{нр}}$ – довжина рейсу в прямому напрямку, км;

$s_{\text{нрj}}, s_{\text{звj}}$ – ставка штрафних санкцій j -го виду при виконанні рейсу в прямому та зворотному напрямках відповідно, грн/добу;

$n_{\text{нр}}, n_{\text{зв}}$ – кількість видів наднормативного простоя, передбачених договором на виконання рейсу в прямому та зворотному напрямках відповідно, од.;

$\tau_{\text{ннj}}$ – тривалість наднормативного простоя j -го виду, днів;

$m_{\text{зв}}$ – тариф за 1 км пробігу (тариф на перевезення вантажу) в зворотному напрямку, грн/км;

$c_{\text{вант}}, c_{\text{нор}}$ – питомі змінні витрати на 1 км пробігу з вантажем (навантаженого пробігу) і без вантажу (порожнього пробігу) відповідно, грн/км;

$\lambda_{\text{зв}}$ – довжина рейсу в зворотному напрямку, км;

$\lambda_{\text{нор}}$ – порожній пробіг в оборотному рейсі – дальність подачі автомобіля під зворотне завантаження, км;

k_t – коефіцієнт пропорційності між часом відпочинку водіїв та часом руху автомобіля; $k_t = \text{const}$ для кожної окремої форми організації праці водіїв;

$v_{\text{вант}}, v_{\text{нор}}$ – відповідно середня технічна швидкість руху автомобіля з вантажем та порожнього, км/год.;

$\tau_{\text{оз}}$ – тривалість очікування підходящої заявки на зворотне перевезення вантажу, днів;

d – індекс напрямку виконання перевезення: при виконанні прямого рейсу $d = \text{нр}$, при виконанні зворотного рейсу $d = \text{зв}$,

$t_{\text{мовд}}$ – тривалість митного оформлення вантажу в країні відправлення, год.;

t_{mond} – тривалість митного оформлення вантажу в країні призначення, год.;

t_{nd} – тривалість навантаження автомобіля (з урахуванням очікування на навантаження), год.;

t_{pd} – тривалість розвантаження автомобіля (з урахуванням очікування на розвантаження), год.;

$$f_{n_{ob}}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \left(\frac{\lambda^n \cdot m_{3g}^{n-1}}{(n-1)!} \cdot e^{-\lambda \cdot m_{3g}} \right) \cdot \left(\frac{\mu^l \cdot y^{l-1}}{(l-1)!} \cdot e^{-\mu \cdot y} \right) \cdot \left(\gamma \cdot e^{-\gamma \cdot \lambda_{nop}} \right) \cdot \exp\{-\nu \cdot [(T_{np} - c_{вант}) \cdot l_{np} + X_{об} + (m_{3g} - c_{вант}) \cdot \sqrt{l_{np}^2 + \lambda_{nop}^2 - 2 \cdot l_{np} \cdot \lambda_{nop} \cdot \cos \phi} - c_{nop} \cdot \lambda_{nop}] \cdot (t + c_{ном})^{-1} - ((1+k_t)/v_{вант}) \times \\ \times (l_{np} + \sqrt{l_{np}^2 + \lambda_{nop}^2 - 2 \cdot l_{np} \cdot \lambda_{nop} \cdot \cos \phi}) - \lambda_{nop}/v_{nop} - Y_{об}\} \cdot \nu \cdot [(T_{np} - c_{вант}) \cdot l_{np} + X_{об} + (m_{3g} - c_{вант}) \times \\ \times \sqrt{l_{np}^2 + \lambda_{nop}^2 - 2 \cdot l_{np} \cdot \lambda_{nop} \cdot \cos \phi} - c_{nop} \cdot \lambda_{nop}] \cdot (t + c_{ном})^{-2} dm_{3g} dy d\lambda_{nop} d\phi. \quad (9)$$

Дослідження даної щільності представляє практичний інтерес, адже вона є вичерпною характеристикою $n_{об}$ як випадкової величини, котра здатна забезпечити перевізників оцінкою прибутковості того чи іншого напрямку або маршруту перевезення вантажу та потенційних ризиків, пов'язаних з виконанням перевезення.

Мета і задачі дослідження. Критерій (6) являє собою специфічну випадкову величину, знання характеристик якої дозволить отримувати ймовірнісну оцінку результатів та ризиків при виконанні рейсів в кожному з можливих напрямів міжнародних перевезень вантажів і вибирати найбільш ефективні маршрути при відомих умовах укладання договору на перевезення і поточних цінах на відповідних ринках здійснення транспортного процесу.

Через те, що щільність ймовірності $f_{n_{об}}(t)$ не відповідає жодному з відомих законів розподілу випадкових величин, доцільно провести експериментальне дослідження прибутковості маршрутів та напрямків виконання перевезень. Для цього потрібно:

- сформулювати перелік напрямків, дані про перевезення до яких будуть слугувати вхідною інформацією для проведення експерименту;
- виділити фактори, які в найбільшому ступені впливають на результуючу ознаку – величину питомого прибутку $n_{об}$ – та відомі перевізнику до початку перевезення;
- сформулювати план повного факторного експерименту;
- провести повний факторний експеримент;
- проаналізувати результати та сформулювати практичні рекомендації для перевізників щодо використання щільності ймовірності $n_{об}$.

Об'єктом проведення експериментальних досліджень є виконання рейсів з України у міжнародному сполученні за умови, що український перевізник не має право на виконання перевезень вантажів у внутрішньому сполученні тих країн, до яких він доставляє вантаж прямим рейсом. У цьому випадку єдиним варіантом поведінки перевізника є отримання вантажу у зворотному напрямку – до України та

t_{mnd} – витрати часу на прикордонні переходи (на проходження пунктів пропуску через державний кордон), год.

З урахуванням того, що складові виразу (6) є згортками випадкових величин, у [11] для величини $n_{об}$ був отриманий аналітичний вираз щільності ймовірності, котрий в підсумку виглядає як

оборотний рейс практично завжди складається з двох їздок автомобіля з вантажем. Така схема роботи характерна для переважної більшості українських перевізників, що працюють на ринку міжнародних перевезень вантажів.

Результати досліджень

1. Розробка плану експериментального дослідження прибутковості міжнародних перевезень вантажів за разовими заявками. Перелік напрямків, прибутковість яких буде досліджуватись, логічно сформулювати на основі об'єктів попередніх досліджень [12, 13] та доповнити усіма даними, зібраними з моменту початку досліджень міжнародних перевезень за разовими заявками. В роботах [12, 13] були виділені такі напрямки, або ж зони, виконання перевезень до Російської Федерації, як «Санкт-Петербург», «Москва», «Самара», «Челябінськ», «Омськ», «Ростов-на-Дону» та «Вороніж», котрі названі у відповідності з містами у їхніх центрах.

До них можна додати дані про разові заявки на перевезення до країн Європейського Союзу, зібрані на підприємствах «ВЕЛЕС-ТА» в період 2012-2018 р.р. Ці дані включають інформацію про виконані доставки до таких країн, як Італія, Німеччина та Польща. В результаті вихідні дані для проведення експериментальних досліджень були сформовані за інформацією з 2248 разових заявок на перевезення у десяти напрямках.

З метою формування плану повного факторного експерименту потрібно виділити фактори, які є визначальними при прийнятті рішення щодо доцільності здійснення доставки. Їх треба обирати серед тих, значення яких відомі при укладанні договору на виконання разового перевезення – це відстань та тариф на перевезення у прямому напрямку, змінні (при завантаженому та порожньому пробігах) та постійні (не пов'язані з пробігом) витрати на експлуатацію автомобіля.

Це зумовлено тим, що рішення про доставку повинне ґрунтуватись на фактичній інформації, відомій перед виконанням перевезення та незалежній від умов отримання зворотного завантаження. Останні враховуються в щільності розподілу критерію

$n_{об}$ через власні ймовірнісні характеристики – параметри розподілів, придатних для їх опису.

Стосовно змінних і постійних витрат на експлуатацію автомобіля, то їх можна вважати константами через відносну стабільність цін на витратні матеріали, ставок оплати праці водіїв та зборів, пов'язаних із здійсненням перевізної діяльності протягом кожного оборотного рейсу. При цьому слід зазначити, що перевізник практично не може впливати на ціни, встановлені на ринках витратних матеріалів, та на величину зборів, яка встановлюється державою.

В результаті незалежними факторними ознаками для формування плану повного факторного експерименту для кожної окремої зони доставки вантажу доцільно обрати відстань та тариф на перевезення вантажу у прямому напрямку. З метою отримання максимально повної інформації про вплив даних факторів на прибутковість перевезень, їх доцільно варіювати на трьох рівнях – мінімальному, модальному та максимальному значеннях для кожного напрямку перевезення. Це дозволить охарактеризувати варіацію результуючої ознаки за рахунок використання мінімального та максимального рівнів варіювання факторів та врахувати найбільш поширені умови виконання перевезень для виділених напрямків за рахунок варіювання факторів на модальних рівнях.

Таким чином, наступним постає завдання формування плану та проведення повного факторного експерименту типу 3^2 (два фактори на трьох рівнях) для кожного з виділених напрямів перевезень. Загальний вигляд плану такого експерименту представлений в табл. 1, де за допомогою позначень «min», «mode» та «max» закодовані мінімальне, модальне та максимальне значення факторів відповідно.

Таблиця 1 – Повнофакторний експеримент для двох факторів, що варіюються на трьох рівнях

Випробування	Матриця планування		Щільність питомого прибутку АТП за оборотний рейс $f_{n_{об}}(t)$
	Відстань перевезення у прямому напрямку $l_{пр}$, км	Тариф на перевезення у прямому напрямку $T_{пр}$, грн/км	
1	min	min	$f_{n_{об}1}(t)$
2	min	mode	$f_{n_{об}2}(t)$
3	min	max	$f_{n_{об}3}(t)$
4	mode	min	$f_{n_{об}4}(t)$
5	mode	mode	$f_{n_{об}5}(t)$
6	mode	max	$f_{n_{об}6}(t)$
7	max	min	$f_{n_{об}7}(t)$
8	max	mode	$f_{n_{об}8}(t)$
9	max	max	$f_{n_{об}9}(t)$

Розкодовані значення рівнів варіювання факторів для кожного із виділених напрямів перевезень наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Значення рівнів варіювання факторів за напрямками перевезень вантажів

Транспортна зона	Значення факторів за рівнями варіювання					
	$l_{пр}$, км			$T_{пр}$, грн/км		
	min	mode	max	min	mode	max
СНД						
Санкт-Петербург	1223	1318	1887	20,31	25,51	37,32
Москва	749	1388	1744	22,67	26,11	44,1
Самара	1187	1685	2655	17,44	24,26	32,84
Челябінськ	2094	2156	3727	19,54	27,37	32,93
Омськ	2094	3301	6456	17,35	24,25	32,25
Ростов-на-Дону	252	1200	1650	21,16	24,19	79,27
Вороніж	90	817	900	27,31	28,62	78,53
ЄС						
Італія	994	1794	3263	21,46	27,09	45,81
Німеччина	948	2117	2489	22,64	25,46	47,23
Польща	288	1283	1457	19,61	28,47	41,95

Розрахунки за експериментом виконувались у спеціалізованому математичному програмному пакеті MathCad [14].

2. Результати експериментального дослідження прибутковості перевезень. За результатами проведення експерименту для кожного із досліджуваних напрямів перевезень було отримано 9 кривих щільності розподілу питомого прибутку АТП за оборотний рейс. Дані криві зручно групувати по три в одній системі координат з огляду на вимоги з належного відображення графіка в області побудови та за ознакою рівня варіювання першого фактору ($l_{пр}$).

Приклад побудови графіків щільності ймовірності для напрямку «Італія» наведено на рис. 1-3.

Криві для інших напрямків перевезень є аналогічними за формою та різняться лише кількісно, що відображається на розташуванні точки максимуму на графіку щільності розподілу питомого прибутку. Через це в рамках даної статті вони не наводяться.

Всі побудовані графіки щільності ймовірності мають одну загальну тенденцію – зміщення кривої вправо поряд зі зменшенням крутизни її зростання та спаду і наближенням до горизонтальної осі по мірі збільшення значень факторів.

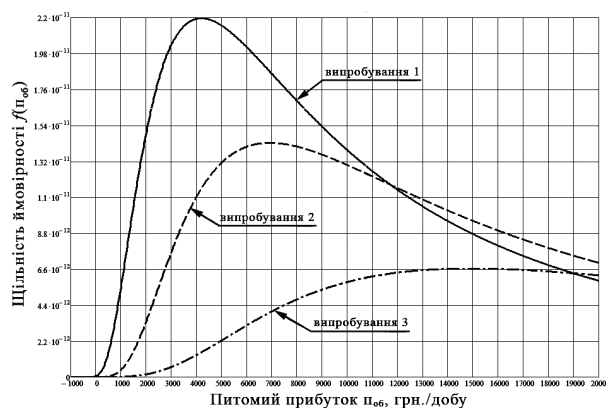


Рис. 1. Графіки щільності ймовірності розподілу питомого прибутку для зони «Італія», отримані за результатами випробувань 1-3

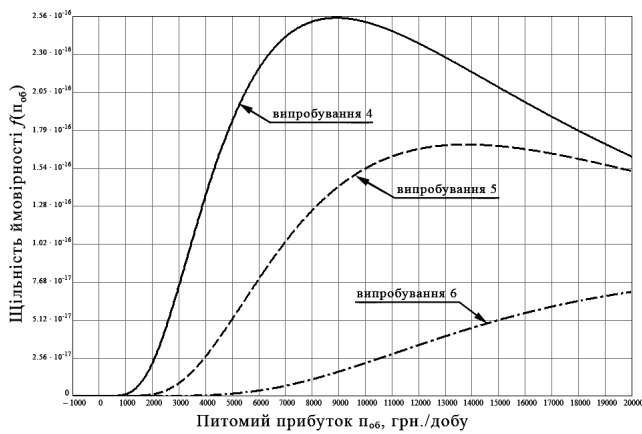


Рис. 2. Графіки щільності розподілу питомого прибутку для зони «Італія», отримані за результатами випробувань 4-6

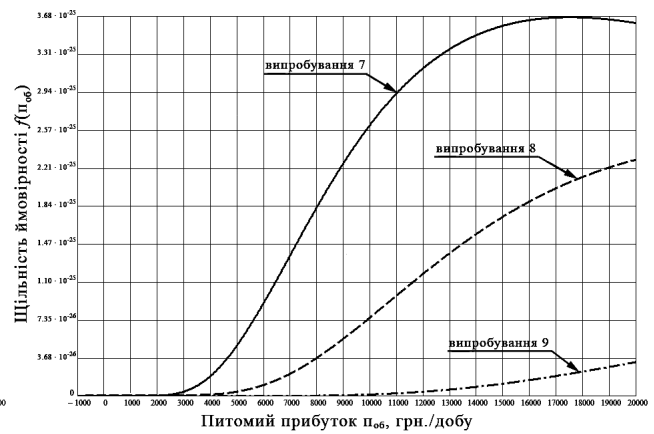


Рис. 3. Графіки щільності розподілу питомого прибутку для зони «Італія», отримані за результатами випробувань 7-9

Окрім отримання власне графіків щільності розподілу питомого прибутку, можливою стала ймовірна оцінка ризиків при виконанні перевезень в розглянутих умовах. Величина критичного ризику, який складається у реалізації випадку, при якому перевізник замість прибутку отримує збитки в результаті виконання рейсу, за допомогою залежності

(9) оцінюється як ймовірність отримання від'ємного прибутку:

$$P_{зб} = \int_{-\infty}^0 f_{n_{об}}(t) dt \tag{10}$$

Результати розрахунків за залежністю (10) для кожного із проведених дослідів наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Оцінка ризиків при виконанні перевезень за умовами випробувань проведеного експерименту

Транспортна зона	Ймовірність понести збитки від виконання перевезення на умовах випробування								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
СНД									
Санкт-Петербург	2,23	0,71	1,07	1,69	0,50	0,79	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Москва	2,75	3,86	0,80	0,11	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Самара	8,03	4,45	1,77	1,97	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Челябінськ	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Омськ	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Ростов-на-Дону	≈ 0	≈ 0	7,51	1,65	2,56	≈ 0	0,41	≈ 0	≈ 0
Вороніж	15,80	15,78	7,28	0,50	2,45	≈ 0	0,28	1,62	≈ 0
ЄС									
Італія	0,17	0,01	0,35	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Німеччина	0,01	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Польща	1,17	0,77	0,16	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0

3. Визначення шляхів застосування встановлених закономірностей розподілу питомого прибутку від виконання разових міжнародних перевезень вантажів в практиці перевізної діяльності
За результатами розрахунків видно, що менш ризикованими в контексті ймовірності понести збитки є перевезення до країн ЄС, серед яких найбільш привабливою для виконання перевезень виявилась Німеччина.

В той же час слід зазначити, що на території СНД найменш ризикованими для здійснення доставки виявились транспортні зони з центрами у містах Челябінськ і Омськ.

Отримані закономірності у значеннях питомого прибутку та оцінки ризиків при виконанні перевезень представляють собою підґрунтя для розробки

практичних рекомендацій стосовно дій відповідальних осіб на АТП при обробці заявок на разові перевезення. За результатами проведених експериментальних досліджень можна сформулювати наступні практичні рекомендації щодо використання щільності ймовірності $n_{об}$ в діяльності перевізників, які будуть корисними при прийнятті рішення про доцільність виконання перевезення:

1) більші відстані перевезення підвищують ймовірність його беззбитковості, в т.ч. за рахунок можливості встановлення більш високих тарифів на перевезення в дальньому сполученні та розширення кола пошуку зворотного завантаження. Як наслідок, пріоритет слід віддавати заявкам з більшою довжиною рейсу в прямому напрямку та прийнятним тарифом на перевезення;

2) з метою досягнення більшої обґрунтованості рішень, що будуть прийматися на основі розробленого критерію ефективності доцільним буде ведення статистики витрат на перевезення як джерела інформації про складові критерію;

3) при надходженні до перевізника двох заявок на разове перевезення до різних регіонів потрібно побудувати відповідні криві розподілу питомого прибутку з використанням відомих відстані та тарифу на перевезення в прямому напрямку та обчислити ймовірність отримання збитків (10). Перевагу слід віддати тому перевезенню, для якого величина ймовірності (10) виявиться меншою.

Висновки

Закономірності розподілу розробленого критерію ефективності міжнародних перевезень вантажів за разовими замовленнями описуються кривою, форма якої є загальною для всіх досліджених регіонів виконання перевезень та відрізняється лише крутизною зростання та спаду. Це вказує на загальність виявлених закономірностей та на можливість застосування критерію при прийнятті

рішень щодо доцільності виконання перевезення. Ймовірнісна оцінка ризиків при виконанні перевезень, яка стала можливою після отримання результатів проведеного експерименту, може служити як підґрунтя для ухвалення того чи іншого рішення або встановлення пріоритетів декільком заявкам, які не можуть бути передані на виконання одночасно та потребують і допускають формування черги на обслуговування.

За результатами даної оцінки було встановлено, що менш ризикованими в контексті ймовірності понести збитки є перевезення до країн ЄС. Серед них найбільш привабливою для виконання перевезень виявилась Німеччина. В той же час на території СНД найменш ризикованими для здійснення доставки виявились транспортні зони з центрами у містах Челябінськ і Омськ.

Результати проведених експериментальних досліджень дозволили сформулювати практичні рекомендації для перевізників щодо використання щільності ймовірності питомого прибутку, які є корисною інформацією при організації обліку та веденні підприємницької діяльності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Модели и методы теории логистики / [под ред. В.С. Лукинского]. – СПб.: Питер, 2008. – 598 с.
2. Смехов А.А. Введение в логистику / А.А. Смехов. – М.: Транспорт, 1993. – 118 с.
3. Асоціація міжнародних автомобільних перевізників України [Електронний ресурс] / Офіційний веб-сайт. – Режим доступу : \WWW/ URL: <http://www.asmap.org.ua/>. – Назва з екрану.
4. Рішення про Основні напрями розвитку ринку міжнародних автотранспортних послуг [Електронний ресурс] / Офіційний веб-портал Верховної ради України. – Режим доступу : \WWW/ URL: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/ru/997_k22.
5. Сердюкевич В.Н. Международные и смешанные перевозки грузов и транспортно-экспедиционная деятельность : лабораторный практикум / В.Н. Сердюкевич, В.С. Холупов. – Минск: БНТУ, 2011. – 39 с.
6. Нгуен Т.Х. Методы оценки экономической эффективности международных перевозок в транспортно-технологических системах : дис. ... канд. эконом. наук : 08.00.05 / Нгуен Тху Хыонг. – Москва, 2006. – 178 с.
7. Основы транспортной логистики [Электронный ресурс] / Сайт «Логистика. Формулы, расчеты, определения». – Режим доступу : \WWW/ URL: <http://www.xcomp.biz/tema-2-osnovy-transportnoj-logistiki.html>. – Назва з екрану.
8. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки: учебник для вузов / А.И. Воркут. – [2-е изд.]. – Киев: Вища школа, 1986. – 447 с.
9. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем : учеб. пособие / А.Э. Горев. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 214 с.
10. Горбачев П.Ф. Подход к построению модели функционирования транспортного процесса при международных перевозках / П.Ф. Горбачев, Т.В. Немна // Автомобильный транспорт – 2015. – №37. – С. 39–48.
11. Горбачев П.Ф. Визначення закону розподілу критерію ефективності перевезень вантажів у міжнародному сполученні / П.Ф. Горбачев, О.В. Макарічев, Т.В. Немна, С.В. Свічинський // Комунальне господарство міст. – 2018. – № 144. – С. 15-23.
12. Горбачев П.Ф. Зонирование территории Российской Федерации при организации перевозок грузов из Украины / П.Ф. Горбачев, Т.В. Немна // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2013. – № 2/3 (62) 2013. – С. 38–43.
13. Горбачев П.Ф. Исследование продолжительности простоя автомобилей на пограничных переходах при перевозках грузов между Украиной и Россией / П.Ф. Горбачев, Т.В. Немна // Автомобильный транспорт – 2013. – №33. – С. 87–91.
14. Руководство пользователя MathCAD / Parametric Technology Corporation. – Needham: PTC, 2011. – 190 с.

REFERENCES

1. Lukinskij, V.S. (Ed.). (2008). Models and methods in Logistics Theory. Moscow, USSR: Nauka.
2. Smehov, A.A. (1993). Introduction into Logistics. Moscow, Russian Federation: Transport.
3. Official web-site of the Association of International Cargo Carriers of Ukraine (2018). Retrieved from <http://www.asmap.org.ua/>.
4. The Decision on the Main Directions of Development of the Market of International Motor Transport Services (2008). Retrieved from http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/ru/997_k22.
5. Serdjukevich, V.N., & Holupov V.S. (2011). International and Multimodal Freight Transportation and Forwarding activities: laboratory session. Minsk, Republic of Belarus: BNTU.
6. Thu Hyong, N. (2006). Methods for Assessing the Economic Efficiency of International Transportation in Transport and Technological Systems. Ph.D. MSUCL.

7. Fundamentals of Transport Logistics. The web-site "Logistics. Formulas, calculations, definitions" (2018). Retrieved from <http://www.xcomp.biz/tema-2-osnovy-trans-portnoj-logistiki.html>.
8. Vorkut, A.I. (1986). Freight Transportation by Motor Transport. Kiev, Ukraine: Vyshcha shkola.
9. Gorev, A.E. (2010). Basics of Transportation Systems Theory. Saint-Petersburg, Russian Federation: SPSUACE.
10. Gorbachev, P.F., & Nemna T.V. (2015). Approach to Develop a Model of the International Transportation Process. *Automobile transport*, 37, 39-48.
11. Gorbachev, P.F., Makarichev O.V., Nemna T.V., & Svichynskiy S.V. (2018). Determination of the Distribution Law of the Criteria of Efficiency of International Cargo Transportation. *Municipal economy of cities*, 144, 15-23.
12. Gorbachev, P.F., & Nemna T.V. (2013). Zoning of the Russian Federation in Terms of Organization of Cargo Transportation from Ukraine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/3 (62) 2013, 38-43.
13. Gorbachev, P.F., & Nemna T.V. (2013). Research of Downtime of Freight Vehicle at the Border Crossings when Transporting Cargoes between Ukraine and Russia. *Automobile transport*, 33, 87-91.
14. MathCAD Users Guide. (2011). Needham, USA: Parametric Technology Corporation.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. О. Можасв,
Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків
Received (Надійшла) 29.05.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.07.2018

Экспериментальное исследование прибыльности международных автомобильных перевозок грузов по разовым заявкам

П. Ф. Горбачев, А. В. Макаричев, Т. В. Немна, С. В. Свичинский

Известным на сегодняшний день критериям эффективности выполнения грузовых перевозок присущ ряд недостатков. Относительно разовых перевозок в международном сообщении такими недостатками являются неучет особенностей выполнения перевозок в определенных направлениях, состояния рынка, случайности элементов транспортного процесса, прибыльности перевозки по отношению к ее продолжительности. Для их устранения в качестве критерия эффективности выполнения перевозок грузов по разовым заявкам было предложено использовать удельную прибыль перевозчика за субли потроченного на оборотный рейс времени. Он представляет собой случайную величину, закон распределения которой определяется распределениями его составляющих. Полученное аналитическое выражение плотности распределения данного критерия открыло возможность получения графиков плотности вероятности удельной прибыли. Данная плотность была исследована путем проведения полного факторного эксперимента. Полученные в результате кривые плотности вероятности дают представление о закономерностях изменения удельной прибыли автотранспортного предприятия от выполнения перевозок грузов по разовым заказам в направлении стран ЕС и СНГ в зависимости от транспортной зоны, в которую осуществляется перевозка, тарифа на ее выполнение в прямом направлении и расстояния доставки. Данные закономерности стали основой для вероятностной оценки рисков при осуществлении перевозочной деятельности при известных условиях выполнения рейса по направлению из Украины за границу, что является ценной информацией для перевозчиков при принятии решения касательно выполнения перевозки. Так, в работе приводятся значения вероятности возникновения критического риска, то есть риска понести убытки по результатам перевозки. На основе результатов проведенных экспериментальных исследований разработаны рекомендации по принятию решений о выполнении разовых международных перевозок, дающие возможность сориентировать перевозчиков на ведение статистики доходов, расходов и временных составляющих транспортного процесса и позволяющие определить целесообразность осуществления доставки или установить приоритет обслуживания заявок.

Ключевые слова: международные перевозки, разовая заявка, удельная прибыль, плотность вероятности, риск.

Experimental research of the profitability of international automobile freight transportation on one-time requests

P. Horbachev, O. Makarichev, T. Nemna, S. Svichynskiy

Known to date criteria of the effectiveness of automobile cargo transportation have a number of disadvantages. With regard to international cargo transportation on one-time requests such disadvantages consist in neglecting the features of the transportation to certain areas, the state of market, the probabilistic nature of the transportation process elements, and the profitability of transportation in relation to its duration. To eliminate them, the specific profit of motor transport enterprise per day of automobile turnaround was proposed as the criterion of international cargo transportation on one-time requests. The criterion represents a random variable with the distribution law, which is dependent on the distributions of its components. The obtained analytical expression of the probability density function of the criterion made it possible to receive the graphs of distribution density of the specific profit. The study of the density was carried out by conducting the complete factorial experiment. The resulting probability density curves provide a foretaste of the regularities in the specific profit of motor transport enterprise on cargo transportation on one-time requests when the transportation is made towards the countries in European Union and Commonwealth of Independent States. The regularities are determined depending on the region to which the transportation is performed, the rate for transportation in forward direction and the delivery distance. These regularities have become the basis for a probabilistic assessment of the risk in transportation activity under known conditions of the transportation outwards Ukraine. It is valuable information for motor transport enterprises when making a decision on performing the transportation. Thus, the paper presents the probabilities of critical risk, that is the risk of having losses on the results of transportation. Based on the experiment results, recommendations for making decisions on performing the one-time international transportation are developed. The recommendations are aimed to direct attention of motor transport enterprises to collect statistics on incomes, costs and time components of the transportation process and allow determining the expediency of transportation or establishing the priority of requests fulfilling.

Keywords: international transportation, one-time request, specific profit, probability density, risk.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ МНОГОИНДЕКСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ ВЫСОКОЙ РАЗМЕРНОСТИ

В общей постановке транспортная задача состоит в отыскании оптимального плана перевозок некоторого однородного груза потребителям, что приводит к двухиндексной задаче. В реальных транспортных задачах необходимо учитывать не только различия в пунктах производства и потребления, но и промежуточных центров, вида товара, типа транспортных средств и т.д. Такая задача описывается многоиндексной моделью транспортной задачи. Точное решение многоиндексной транспортной задачи может быть получено методом потенциалов. Однако, практическая реализация этого метода является трудоемкой, причем вычислительная сложность получения решения быстро растет с увеличением размерности задачи. Это обстоятельство стимулирует разработку приближенных методов решения многоиндексных транспортных задач, позволяющих более просто осуществлять улучшение текущего плана задачи. В связи с этим в работе предложена итерационная процедура улучшения плана задачи, основанная на элементарных преобразованиях матриц и легко реализуемая, путем простейшего перебора подматриц. Особенности процедуры иллюстрируются на частном случае трехиндексной транспортной задачи. При этом использован эффективный прием при построении начального опорного плана задачи, состоящего в нуль – преобразовании исходной матрицы стоимостей, который обобщен на случай транспортной задачи произвольной индексности. Использование метода приводит к тому, что начальный опорный план ближе к оптимальному, что существенно сокращает число итераций решения задачи. Предложенные методы полезно использовать как на этапе построения начального опорного плана, так и при итерационном его улучшении. Эффективность предложенных методов решения многоиндексных транспортных задач высокой размерности иллюстрируется на примере.

Ключевые слова: транспортная задача, опорный план, критерий оптимальности, метод нуль-преобразования матрицы, метод потенциалов, итерационная процедура, многоиндексные задачи.

Введение

В общей постановке транспортная задача состоит в отыскании оптимального плана перевозок некоторого однородного груза потребителям, что приводит к двухиндексной задаче.

Трехиндексные задачи возникают и в других случаях, когда количество потребителей и производителей велико и естественное стремление уменьшить транспортные расходы и время доставки товара приводит к необходимости размещения дополнительных (промежуточных) складов.

В реальных транспортных задачах необходимо учитывать не только различия в пунктах производства и потребления, а также промежуточных центров, но и вида товара, типа транспортных средств и т.д. Такая задача описывается многоиндексной моделью транспортной задачи [1, 6].

Постановка задачи

Зададим множество $S = \{1, 2, \dots, s\}$, содержащее первые S чисел натурального ряда. Каждому числу $l \in S$ поставим в соответствие индекс j_l , который может принимать одно из множества $J_l = \{1, 2, \dots, n_l\}$ значений.

Набор индексов $\{j_1, j_2, \dots, j_S\}$ формирует S -мерный индекс F .

Ясно, что существует $N = \prod_{l=1}^S n_l$ различных

S -мерных индексов F , образующих множество $E = \{F_1, F_2, \dots, F_N\}$.

Каждому S -индексному элементу $F = \{j_1, j_2, \dots, j_S\}$ поставим в соответствие число $X_{j_1 j_2 \dots j_S} = X_F$, которые в совокупности формируют S -индексную матрицу $\{X_F\}$, содержащую N элементов.

Введем непустое произвольное подмножество

$$f_i = \{k_1^i, k_2^i, \dots, k_{t_i}^i\}$$

множества S .

При этом

$$j_{k_1^i} \in \{1, 2, \dots, n_{k_1^i}\} = J_{k_1^i},$$

$$j_{k_2^i} \in \{1, 2, \dots, n_{k_2^i}\} = J_{k_2^i},$$

...

$$j_{k_{t_i}^i} \in \{1, 2, \dots, n_{k_{t_i}^i}\} = J_{k_{t_i}^i}.$$

Каждому такому подмножеству соответствует подмножество индексов

$$F_i = \left\{ j_{k_1^i}, j_{k_2^i}, \dots, j_{k_{t_i}^i} \right\} \subset F.$$

Совокупность всех компонент S -индексной матрицы $\{X_F\}$ с фиксированными индексами

$$F_i = \{k_1^i, k_2^i, \dots, k_t^i\}$$

образует $(S - t_i)$ - мерное сечение S -индексной матрицы ориентации $\bar{F}_i, \bar{F}_i = F / F_i$.

Введем далее полную сумму чисел $X_{j_1 j_2 \dots j_S}$ в виде

$$\sum_{j_1 \in J_1} \sum_{j_2 \in J_2} \dots \sum_{j_S \in J_S} X_{j_1 j_2 \dots j_S} = \sum_E X_F, \tag{1}$$

а также частные суммы этих чисел вида

$$\sum_{j_{k_1}^{i_1} \in J_{k_1}^{i_1}} \sum_{j_{k_2}^{i_2} \in J_{k_2}^{i_2}} \dots \sum_{j_{k_t}^{i_t} \in J_{k_t}^{i_t}} X_{j_1 j_2 \dots j_S} = \sum_{E_i} X_F, \tag{2}$$

$$E_i = J_{k_1}^{i_1} \times J_{k_2}^{i_2} \times \dots \times J_{k_t}^{i_t}. \tag{3}$$

Далее каждому S -индексному элементу $\{j_1, j_2, \dots, j_S\}$ поставим в соответствие число $C_{j_1 j_2 \dots j_S} = C_F$.

Такие числа в совокупности образуют матрицу $\{C_F\}$.

Сформулируем теперь задачу отыскания набора $\{X_F\}$, минимизирующего

$$L(X) = \sum_E C_F X_F \tag{4}$$

и удовлетворяющего ограничениям

$$\begin{aligned} \sum_{E_1} X_F &= b_{F_1}^{(1)}, \bar{F}_1 \in \bar{E}_1 = E \setminus E_1, \\ \sum_{E_2} X_F &= b_{F_2}^{(2)}, \bar{F}_2 \in \bar{E}_2 = E \setminus E_2, \\ &\dots \\ \sum_{E_m} X_F &= b_{F_m}^{(m)}, \bar{F}_m \in \bar{E}_m = E \setminus E_m, \\ X_F &\geq 0, F \in E. \end{aligned} \tag{5}$$

Пусть числа элементов в каждом из подмножеств $J_{k_1}^{i_1}, J_{k_2}^{i_2}, \dots, J_{k_t}^{i_t}$ одинаковы и равны, например, n .

Кроме того, пусть подмножества $F_i, i \in \{1, 2, \dots, m\}$, представляют собой всевозможные сочетания из S элементов множества F по $d, m = C_S^d$.

Тогда задача (4) – (6) называется S -индексной d -гиперпланарной транспортной задачей [3].

В частности, если

$$S = 3, d = 1 \text{ и } n_1 = n_2 = n_3 = n,$$

то задача (4) – (6) упрощается к виду: найти набор $X = (X_{j_1 j_2 j_3})$, минимизирующий

$$\begin{aligned} L(X) &= \\ &= \sum_{j_1=1}^n \sum_{j_2=1}^n \sum_{j_3=1}^n C_{j_1 j_2 j_3} X_{j_1 j_2 j_3} \end{aligned} \tag{7}$$

и удовлетворяющий ограничениям:

$$\begin{aligned} \sum_{j_1=1}^n X_{j_1 j_2 j_3} &= b_{j_2 j_3}^{(1)}, j_k \in J_k, k = \{2, 3\}, \\ \sum_{j_2=1}^n X_{j_1 j_2 j_3} &= b_{j_1 j_3}^{(2)}, j_k \in J_k, k = \{1, 3\}, \\ \sum_{j_3=1}^n X_{j_1 j_2 j_3} &= b_{j_2 j_3}^{(3)}, j_k \in J_k, k = \{1, 2\}, \end{aligned} \tag{8}$$

$$X_{j_1 j_2 j_3} \geq 0, j_1 \in J_1, j_2 \in J_2, j_3 \in J_3. \tag{9}$$

При этом получена трехиндексная триаксиальная транспортная задача.

Обращает на себя внимание особенность, характерная для всех многоиндексных задач, - высокая размерность. Параметр $M = N \cdot m$, определяющий сложность задачи, для типичных реальных значений числа переменных - N и числа ограничений - m принимает значения, имеющие порядок $10^8 - 10^{12}$, что делает невозможным шаблонное применение технологий, имеющихся в популярных математических пакетах (MathCad, Excel и т.п.).

Точное решение многоиндексной транспортной задачи может быть получено методом потенциалов [1, 2]. Процесс решения состоит из предварительного этапа, на котором строится начальный опорный план, и конечного числа однотипных операций, составляющих основной этап работы вычислительного алгоритма [5, 7]. Каждая итерация основного этапа состоит из двух шагов. На первом шаге с помощью критерия оптимальности проверяется оптимальность опорного плана, полученного на предыдущей итерации. Если этот признак выполняется, то план оптимален, в противном случае переходят ко второму этапу. На этом этапе формируется новый план, значение целевой функции которого не хуже, чем значение этой функции на предыдущей итерации и этот план проверяется на оптимальность. И в случае его не оптимальности, формируется очередной план.

Однако, практическая реализация этого метода является трудоемкой, причем вычислительная сложность получения решения быстро растет с увеличением размерности задачи. Это обстоятельство стимулирует разработку приближенных методов решения многоиндексных транспортных задач. Эти ме-

тоды полезно использовать как на этапе построения начального опорного плана, так и при итерационном его улучшении.

Решение задачи

Эффективный прием, используемый при построении начального опорного плана, состоит в нуль – преобразовании исходной матрицы стоимостей, который обобщен на случай транспортной задачи произвольной индексности [4].

При этом

$$C_{j_1 j_2 \dots j_s}^{(0)} = C_{j_1 j_2 \dots j_s} - \left(\alpha_{j_1 j_3 \dots j_s}^{(1)} + \alpha_{j_1 j_3 \dots j_s}^{(2)} + \dots + \alpha_{j_1 j_3 \dots j_s}^{(s)} \right),$$

где $\alpha_{j_2 j_3 \dots j_s}^{(1)} = \min_{j_1} \{ C_{j_1 j_2 \dots j_s} \},$

$$\alpha_{j_1 j_3 \dots j_s}^{(2)} = \min_{j_2} \{ C_{j_1 j_2 \dots j_s} - \alpha_{j_2 j_3 \dots j_s}^{(1)} \}, \quad (10)$$

.....

$$\alpha_{j_1 j_2 \dots j_{s-1}}^{(s)} = \min_{j_s} \{ C_{j_1 j_2 \dots j_s} - \alpha_{j_2 j_3 \dots j_s}^{(1)} - \dots - \alpha_{j_1 j_2 \dots j_{s-2} j_s}^{(s-1)} \}.$$

В частности, для триаксиальной транспортной задачи соотношения (10) упрощаются к виду

$$C_{j_1 j_2 j_3}^{(0)} = C_{j_1 j_2 j_3} - \left(\alpha_{j_2 j_3}^{(1)} + \alpha_{j_1 j_3}^{(2)} + \alpha_{j_1 j_2}^{(3)} \right),$$

где $\alpha_{j_2 j_3}^{(1)} = \min_{j_1} \{ C_{j_1 j_2 j_3} \},$

$$\alpha_{j_1 j_3}^{(2)} = \min_{j_2} \{ C_{j_1 j_2 j_3} - \alpha_{j_2 j_3}^{(1)} \},$$

$$\alpha_{j_1 j_2}^{(3)} = \min_{j_3} \{ C_{j_1 j_2 j_3} - \alpha_{j_2 j_3}^{(1)} - \alpha_{j_1 j_3}^{(2)} \}.$$

Это приводит к тому, что начальный опорный план ближе к оптимальному, а следовательно для решения задачи понадобится значительно меньшее число итераций.

Понятно, что применение любого из методов получения начального опорного плана может привести, вообще говоря, к плану достаточно далекому от оптимального. Ввиду очевидной сложности метода потенциалов возникает необходимость в разработке приближенного метода, позволяющего возможно более просто осуществлять улучшение текущего плана задачи.

Рассмотрим существо предлагаемой процедуры применительно к трехиндексной транспортной задаче. Из трехиндексной матрицы $\{x_{j_1 j_2 j_3}\}$ выделим

произвольную подматрицу размера $2 \times 2 \times 2$ с компонентами

$$x_{j_1 j_2 j_3}, \quad j_1 \in \{j_1^{(0)}, j_1^{(1)}\} = J_1^{(\ominus)},$$

$$j_2 \in \{j_2^{(0)}, j_2^{(1)}\} = J_2^{(\ominus)},$$

$$j_3 \in \{j_3^{(0)}, j_3^{(1)}\} = J_3^{(\ominus)}.$$

Обозначим эту подматрицу через

$$X_0 = X_{j_1^{(1)} j_2^{(1)} j_3^{(1)}}^{j_1^{(0)} j_2^{(0)} j_3^{(0)}}.$$

С этой подматрицей свяжем две следующие подматрицы

$$\tilde{X} = \tilde{X}_{j_1^{(1)} j_2^{(1)} j_3^{(1)}}^{j_1^{(0)} j_2^{(0)} j_3^{(0)}} \quad \text{и} \quad \tilde{\tilde{X}} = \tilde{\tilde{X}}_{j_1^{(1)} j_2^{(1)} j_3^{(1)}}^{j_1^{(0)} j_2^{(0)} j_3^{(0)}},$$

компоненты которых зададим соотношениями

$$\tilde{x}_{j_1 j_2 j_3} = \begin{cases} x_{j_1 j_2 j_3} - \tilde{\theta}, & (j_1 j_2 j_3) \in E_0 \\ \left\{ \begin{array}{l} \left(j_1^{(0)} j_2^{(0)} j_3^{(0)} \right), \left(j_1^{(0)}, j_2^{(1)}, j_3^{(1)} \right), \\ \left(j_1^{(1)}, j_2^{(1)} j_3^{(0)} \right), \left(j_1^{(1)} j_2^{(0)} j_3^{(1)} \right) \end{array} \right\}, \\ x_{j_1 j_2 j_3} + \tilde{\theta}, & (j_1 j_2 j_3) \in E_1 \\ \left\{ \begin{array}{l} \left(j_1^{(0)} j_2^{(1)} j_3^{(0)} \right), \left(j_1^{(1)}, j_2^{(0)}, j_3^{(0)} \right), \\ \left(j_1^{(0)}, j_2^{(0)} j_3^{(1)} \right), \left(j_1^{(1)} j_2^{(1)} j_3^{(1)} \right) \end{array} \right\}, \end{cases} \quad (11)$$

где $\tilde{\theta} = \min_{(j_1 j_2 j_3) \in E_0} \{ x_{j_1 j_2 j_3} \}, \quad (12)$

$$\tilde{\tilde{x}}_{j_1 j_2 j_3} = \begin{cases} x_{j_1 j_2 j_3} + \tilde{\tilde{\theta}}, & (j_1 j_2 j_3) \in E_0, \\ x_{j_1 j_2 j_3} - \tilde{\tilde{\theta}}, & (j_1 j_2 j_3) \in E_1, \end{cases} \quad (13)$$

где $\tilde{\tilde{\theta}} = \min_{(j_1 j_2 j_3) \in E_1} \{ x_{j_1 j_2 j_3} \}. \quad (14)$

При этом:

если $\tilde{\theta} = 0$, то

$$X_{j_1^{(1)} j_2^{(1)} j_3^{(1)}}^{j_1^{(0)} j_2^{(0)} j_3^{(0)}} = \tilde{X}_{j_1^{(1)} j_2^{(1)} j_3^{(1)}}^{j_1^{(0)} j_2^{(0)} j_3^{(0)}};$$

если $\tilde{\theta} = \tilde{\tilde{\theta}} = 0$, то

$$X_{j_1^{(1)} j_2^{(1)} j_3^{(1)}}^{j_1^{(0)} j_2^{(0)} j_3^{(0)}} = \tilde{X}_{j_1^{(1)} j_2^{(1)} j_3^{(1)}}^{j_1^{(0)} j_2^{(0)} j_3^{(0)}} = \tilde{\tilde{X}}_{j_1^{(1)} j_2^{(1)} j_3^{(1)}}^{j_1^{(0)} j_2^{(0)} j_3^{(0)}}.$$

Легко видеть, что

$$\sum_{j_1 \in J_1^{(+)}} x_{j_1 j_2 j_3} = \sum_{j_1 \in J_1^{(+)}} \tilde{x}_{j_1 j_2 j_3} = \sum_{j_1 \in J_1^{(+)}} \tilde{\tilde{x}}_{j_1 j_2 j_3},$$

$$j_2 \in J_2^{(\ominus)}, j_3 \in J_3^{(\ominus)},$$

$$\sum_{j_2 \in J_2^{(+)}} x_{j_1 j_2 j_3} = \sum_{j_2 \in J_2^{(+)}} \tilde{x}_{j_1 j_2 j_3} = \sum_{j_2 \in J_2^{(+)}} \tilde{\tilde{x}}_{j_1 j_2 j_3},$$

$$j_1 \in J_1^{(\ominus)}, j_3 \in J_3^{(\ominus)},$$

$$\sum_{j_3 \in J_3^{(+)}} x_{j_1 j_2 j_3} = \sum_{j_3 \in J_3^{(+)}} \tilde{x}_{j_1 j_2 j_3} = \sum_{j_3 \in J_3^{(+)}} \tilde{\tilde{x}}_{j_1 j_2 j_3},$$

$$j_1 \in J_1^{(\ominus)}, j_2 \in J_2^{(\ominus)}.$$

Отсюда следует, что в плане

$$X = \{x_{j_1 j_2 j_3}\}$$

можно элементарную матрицу $X_{j_1^{(0)} j_2^{(0)} j_3^{(0)}}$ заме-

нить на $\tilde{X}_{j_1^{(0)} j_2^{(0)} j_3^{(0)}}$ или на $\tilde{\tilde{X}}_{j_1^{(0)} j_2^{(0)} j_3^{(0)}}$, не нарушая при этом ограничений задачи.

Рассчитаем соответствующие стоимости транспортировок

$$C = \sum_{j_1 \in J_1^{(\ominus)}} \sum_{j_2 \in J_2^{(\ominus)}} \sum_{j_3 \in J_3^{(\ominus)}} C_{j_1 j_2 j_3} x_{j_1 j_2 j_3},$$

$$\tilde{C} = \sum_{j_1 \in J_1^{(\ominus)}} \sum_{j_2 \in J_2^{(\ominus)}} \sum_{j_3 \in J_3^{(\ominus)}} C_{j_1 j_2 j_3} \tilde{\tilde{x}}_{j_1 j_2 j_3}.$$

Сравним теперь значения C , \tilde{C} и $\tilde{\tilde{C}}$ по величине и выберем из них минимальное. Если минимальным оказалось число \tilde{C} , то подматрицу X_0 заменим на \tilde{X} , уменьшив при этом значение целевой функции задачи.

Если наименьшим оказалось число $\tilde{\tilde{C}}$, то подматрица X_0 заменяется на $\tilde{\tilde{X}}$. Если, наконец, наименьшим является C , то формируется новая подматрица X_0 и вся процедура повторяется.

Эффективность метода нуля-преобразования и приближенного метода улучшения начального опорного плана задачи была произведена экспериментально при решении двухиндексных и трехиндексных транспортных задач.

Условия задач формировались с помощью имитационной модели.

Каждая задача решалась дважды:

а) начальный план формируется традиционным методом северо-западного угла;

б) начальный план формируется методом нуля-преобразования.

Критерий оценки эффективности имеет вид:

$$\eta_k(N) = \frac{V_k^{(T)}(N)}{V_k^{(0)}(N)}, \quad k = 2, 3.$$

Здесь $V_k^{(T)}(N)$ - количество итераций улучшения начального плана, полученного традиционным методом до получения решения, $V_k^{(0)}(N)$ - количество итераций улучшения начального плана, полученного методом нуля - преобразования до получения решения, N - размерность задачи.

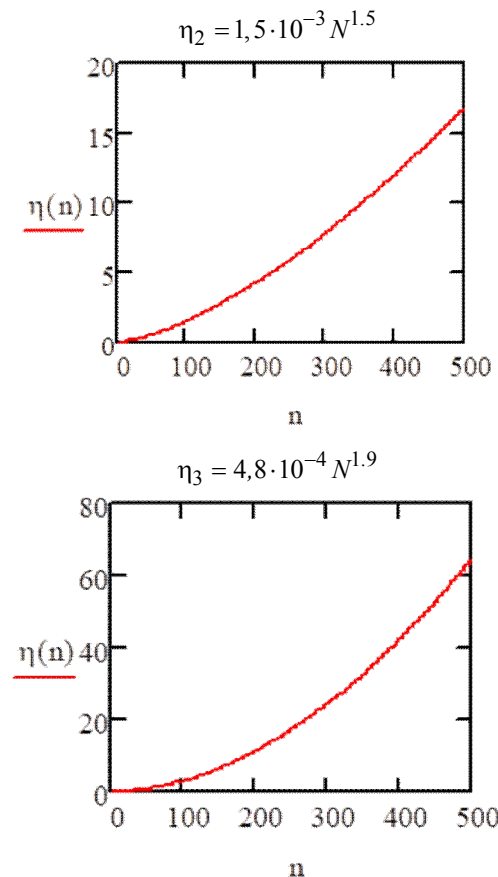


Рис. 1. График зависимости оценки эффективности метода нуля - преобразования от размерности задачи

Выводы

Таким образом, для решения многоиндексных транспортных задач предложена итерационная процедура улучшения плана задачи, основанная на элементарных преобразованиях матриц и легко реализуемая, путем простейшего перебора подматриц X_0 .

Особенности процедуры иллюстрируются на частном случае трехиндексной транспортной задачи. При этом использован эффективный прием при построении начального опорного плана задачи, состоящего в нуля - преобразовании исходной матрицы, который приводит к тому, что начальный опорный план ближе к оптимальному, что существенно сокращает число итераций решения задачи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Раскин Л. Г. Многоиндексные задачи линейного программирования / Л. Г. Раскин, И. О. Кириченко – М., 1982. – 240 с.
2. Лукинский В. С. Модели и методы теории логистики / В. С. Лукинский, И. А. Цвирицько, Ю. В. Малевич – СПб.: ПИТЕР, 2003 – 175 с.
3. Серая О. В. Многоиндексные модели логистики в условиях неопределенности / О. В. Серая. – Харьков : ФОП Стеценко, 2010. – 512 с.
4. Дунаевская О. И. Нечеткая модель нелинейной многоиндексной транспортной задачи/ Л. Г. Раскин, О. В. Серая, О. И. Дунаевская // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - 2012. - № 6/4. (60). - С. 15-17.
5. Дунаевская О. И. Получение начального опорного плана многоиндексной задачи транспортной логистики. / Е. Б. Ахиезер, О. А. Гелярская, Н. Т. Процай // Радиоэлектроника и информатика. – 2014. – № 2. – С. 16-18.
6. Дунаевская О. И. Сущность математических методов и моделей для решения экономических задач / Е. Б. Ахиезер, О. И. Дунаевская // Международные конференции: Дослідження та оптимізація економічних процесів «Оптимум» : Харьков, 2014 – С. 128 – 134.
7. Дунаевская О. И. Расчет матрицы стоимостей оптимальных маршрутов для совокупности пар (поставщик потребитель) // Materials of the X International scientific and practical conference «Trends of modern science», May 30 - June 7, 2014. – Sheffield. - Science and education LTD – 2014. – С. 17-20.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю. Ю. Коляденко,
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків
Received (Надійшла) 29.05.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.07.2018

Методи розв'язку багатоіндексних транспортних задач високої розмірності

О. Б. Ахієзер, О. І. Дунаєвська, І. В. Сердюк, А. Ю. Стрельнікова, Д. В. Гармаш

У загальній постановці транспортна задача полягає у знаходженні оптимального плану перевезень деякого однорідного вантажу споживачам, що призводить до двохіндексної задачі. У реальних транспортних задачах необхідно враховувати не тільки відмінності в пунктах виробництва і споживання, а й проміжних центрів, виду товару, типу транспортних засобів і т.б. Таке завдання описується багатоіндексною моделлю транспортної задачі. Точне рішення багатоіндексної транспортної задачі може бути отримано методом потенціалів. Однак, практична реалізація цього методу є трудомісткою, причому обчислювальна складність отримання рішення швидко зростає зі збільшенням розмірності задачі. Ця обставина стимулює розробку наближених методів вирішення багатоіндексних транспортних завдань, що дозволяють більш просто здійснювати поліпшення поточного плану завдання. У зв'язку з цим в роботі запропонована ітераційна процедура поліпшення плану завдання, заснована на елементарних перетвореннях матриць і легко реалізується, шляхом простого перебору підматриць. Особливості процедури ілюструються на окремому випадку трьохіндексної транспортної задачі. При цьому використаний ефективний прийом при побудові початкового опорного плану задачі, що складається в нуль - перетворенні вихідної матриці вартостей, який узагальнено на випадок транспортної задачі довільної індекси. Використання методу призводить до того, що початковий опорний план ближче до оптимального, що істотно скорочує число ітерацій рішення задачі. Запропоновані методи корисно використовувати як на етапі побудови початкового опорного плану, так і при ітераційне його поліпшення. Ефективність запропонованих методів вирішення багатоіндексних транспортних завдань високої розмірності ілюструється на прикладі.

Ключові слова: транспортне завдання, опорний план, критерій оптимальності, метод перетворення матриці, метод потенціалів, ітераційна процедура, багатоіндексне завдання.

Methods for solving multi-index transport tasks of high dimensionality

O. Akhiezer, O. Dunaevskaya, I. Serdyuk, A. Strelnikova, D. Harmash

In the general formulation, the transportation problem consists in finding an optimal plan for the transportation of some homogeneous cargo to consumers, which leads to a two-index problem. In real transportation problems, it is necessary to take into account not only differences in points of production and consumption, but also of intermediate centers, type of goods, type of vehicles, etc. Such a problem is described by a multi-index model of the transportation problem. The exact solution of a multi-index transportation problem can be obtained by the method of potentials. However, the practical implementation of this method is laborious, and the computational complexity of obtaining a solution grows rapidly with the increase in the dimension of the problem. This circumstance stimulates the development of approximate methods for solving multi-index transportation problems, which make it easier to carry out the improvement of the problem current plan. In this regard, the paper proposes an iterative procedure for improving the problem's plan, based on elementary matrix transformations and easily realized, by a simple search of submatrices. The features of the procedure are illustrated by the special case of the three-index transportation problem. In this case, an effective technique was used to construct the initial basic plan of the problem consisting in the zero transformation of the initial value matrix, which is generalized in the case of a transportation problem of arbitrary index. Using the method leads to the fact that the initial basic plan is closer to the optimal one, that substantially reduces the number of iterations of the solution of the problem. The proposed methods are useful to be used both at the stage of construction of the initial basic plan, and during its iterative improvement. The effectiveness of the proposed methods for solving multi-index transportation problems of high dimension is illustrated by an example.

Keywords: transportation problem, basic plan, optimality criterion, zero matrix transformation method, method of potentials, iteration procedure, multi-index problems.

С. В. Гадецька¹, В. О. Гороховатський²¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МІР РЕЛЕВАНТНОСТІ ДЛЯ ВЕКТОРНИХ СТРУКТУРНИХ ОПИСІВ ОБ'ЄКТІВ У ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

Вирішується задача класифікації зображень у просторі ознак дескрипторів особливих точок з поданням опису у кластерному виді і використанням статистичних мір для обчислення релевантності описів. Проведено аналіз особливостей застосування статистичного та метричного класифікаторів при визначенні рівня релевантності структурних описів. Виконано порівняння характеристик мір релевантності на розрахункових прикладах. Запропоновано використання розходження Кульбака-Лейблера як універсальної і ефективної міри для задачі класифікації. Підтверджена результативність запропонованого підходу для прикладних баз зображень. **Наукова новизна** дослідження полягає у розвиненні методу структурного розпізнавання зображень на основі кластерного опису множини дескрипторів особливих точок шляхом застосування апарату статистичних мір для визначення релевантності аналізованих та еталонних даних і побудови класифікаційних висновків у просторі кластер – еталон. **Практична значущість роботи** – отримання прикладних розрахункових моделей для застосування методів класифікації і підтвердження їх результативності в конкретних прикладах баз зображень.

Ключові слова: комп'ютерний зір, структурне розпізнавання, дескриптори особливих точок зображення, кластерне подання опису, статистична міра релевантності, баєсовський класифікатор, метричний класифікатор, розходження Кульбака-Лейблера.

Вступ

У системах комп'ютерного зору набули поширення структурні методи розпізнавання, що базуються на описах зображень у вигляді множини особливих (характерних, ключових) точок [1-4]. У процесі їх застосування для візуального об'єкту формують множину векторів – дескрипторів особливих точок (ОТ) зображення, а потім здійснюють порівняння отриманого опису з набором еталонів. Класифікація чиниться шляхом оптимізації значень міри релевантності (подібності, відповідності) розпізнаного опису серед зразків.

Новим кроком в розвиненні та покращенні результативності структурних методів є перехід від опису як множини ОТ до векторного подання у виді кортежу цілих чисел [4, 5]. Ця трансформація без зниження показника ефективності значно підвищує швидкість класифікації, так як замість порівняння множин тепер обчислюється векторна міра подібності.

Одним із засобів побудови векторного подання є виконання кластеризації для множини дескрипторів бази зображень, в межах якої здійснюється класифікація. У такому випадку отриманий вектор опису зображення містить кількості дескрипторів, віднесених до відповідного кластеру.

Набір кластерів втілює розбиття простору ознак як множини дескрипторів ОТ, а центри створених кластерів є опорними точками для розпізнавання [4, 5, 17].

Зважаючи на те, що сенс кластерного подання для структурного опису зображення по суті є розподіл точок множини по кортежу її базових центрів, доцільно для визначення міри релевантності описів використати апарат статистичного підходу, що базується на порівнянні даних у вигляді сукупності ймовірнісних характеристик [6]. Це може сприяти чіткі-

шому розрізненню об'єктів за їх описами та виявити глибинні закономірності зв'язку між ними, так як ймовірнісне подання має більш загальну природу.

Мета роботи – синтез структурного методу класифікації зображень у просторі ознак дескрипторів особливих точок з поданням опису у кластерному виді і використанням статистичних мір для обчислення релевантності описів.

Задачі дослідження полягають у вивченні особливостей застосування статистичного та метричного класифікаторів при визначенні рівня релевантності структурних описів візуальних об'єктів, аналізі та порівнянні характеристик відповідних мір релевантності на розрахункових прикладах, оцінюванні результативності запропонованого методу класифікації для даних з прикладних баз зображень.

1. Формальна постановка задачі класифікації

Класифікацією назвемо відображення $K: \{O\} \rightarrow \{1, \dots, J\}$ множини описів об'єктів $\{O\}$ в скінченну множину номерів еталонів $\{1, \dots, J\}$, що здійснюється шляхом встановлення еквівалентності опису $O = \{o_j\}$ невідомого візуального об'єкта з одним із елементів еталонної множини $Z = \{Z^j\}_{j=1}^J$.

Опис $O \subseteq R^n$ – це множина числових векторів (дескрипторів ОТ) розмірності n . Кожний опис, включаючи описи еталонів Z^j , шляхом кластерної трансформації подано цілочисельним вектором

$$h[Z^j] = (h_1[Z^j], h_2[Z^j], \dots, h_i[Z^j], \dots, h_k[Z^j]), \quad (1)$$

де k – кількість кластерів, $h_i[Z^j]$ – кількість елементів множини Z^j , $j=1, \dots, J$, що потрапила до

кластеру з номером $i = 1, \dots, k$. Наряду з описом (1) маємо на увазі також його нормоване подання

$$h^*[Z^j] = (h_1^*[Z^j], h_2^*[Z^j], \dots, h_i^*[Z^j], \dots, h_k^*[Z^j]), \quad (2)$$

де $h_i^*[Z^j] = h_i[Z^j] / \sum_{i=1}^k h_i[Z^j]$, а $\sum_{i=1}^k h_i^*[Z^j] = 1$.

Класифікацію будемо базувати на порівнянні векторів (1) або їх нормованого подання (2) шляхом обчислення деякої міри $\Lambda(h[O], h[Z^j])$ релевантності та пошуку номера класу v для об'єкта O оптимізацією

$$v = \arg \operatorname{opt}_{j=1, \dots, J} \Lambda(h[O], h[Z^j]). \quad (3)$$

Будемо зважати на те, що при формуванні описів завжди можна добитися еквівалентного числа елементів кожного з них: $\sum_i h_i = H$, де H – фіксована потужність множини елементів опису. Ця домовленість сприяє важливій умові рівноцінності описів при прийнятті рішення в (3).

2. Обстеження можливості класифікації на підставі статистичних мір релевантності

Загальновідомо [7], що задача класифікації у векторному просторі може бути вирішена потужними засобами математичної статистики, призначення якої як раз і полягає у добуванні якомога більш повної інформації про аналізовані явища, виходячи зі обмеженого обсягу даних спостережень. Зауважимо [2, 8, 9], що існує два принципово різних підходи статистичного оцінювання – баєсовський і частотний (зокрема, метричний). Перший інтерпретує випадковість як міру незнання, що закладено в ідеї переходу від апіорних знань до апостеріорних з урахуванням здійснених спостережень. Другий розглядає випадковість як об'єктивну невизначеність і спирається виключно на наявні спостереження, як правило, на частоти появи досліджуваних подій, отже, не пов'язаний ні з якими апіорними припущеннями щодо розподілу досліджуваних величин.

Кожний із зазначених підходів може бути підвалиною для побудови мір релевантності для векторних описів об'єктів. Ці міри для класифікації зображень мають певні особливості, зокрема, як переваги, так і окремі недоліки, що потребує осмислення і докладного аналізу із тестуванням.

2.1. Баєсовський класифікатор.

Одним із способів, що базуються на статистичних характеристиках даних, є апарат баєсовської теорії прийняття рішень [2, 8, 10]. Обчислення апостеріорних ймовірностей віднесення опису візуального об'єкта до множини еталонів є підставою для безпосереднього здійснення класифікації.

Основна ідея застосування математичного апарату Баєса полягає у ідентифікації аналізованого об'єкта з еталонем, що має найбільше значення апостеріорної ймовірності. Виходячи з кластерних опи-

сів еталонів $Z = \{Z^j\}_{j=1}^J$ і об'єкта $O = \{O_l\}$, за формулою Баєса обчислюємо апостеріорні ймовірності $P(Z^j/O)$ належності об'єкта до кожного з описів Z^j :

$$P(Z^j/O) = \frac{P(O/Z^j) \cdot P(Z^j)}{\sum_{j=1}^J P(O/Z^j) \cdot P(Z^j)}, \quad (4)$$

де $P(O/Z^j)$ – апіорна ймовірність належності об'єкта до еталону Z^j , $P(Z^j)$ – апіорна ймовірність появи еталону Z^j (для спрощення вважаємо $P(Z^j) = 1/J$).

Дискретний характер задачі призводить до обчислення набору ймовірностей узагальненого гіпергеометричного розподілу [11]:

$$P(O/Z^j) = \prod_{i=1}^k C_{h_i[Z^j]}^{h_i[O]} / C_H^s, \quad (5)$$

де $s = \sum_{i=1}^k h_i[O]$ – потужність множини елементів опису об'єкта.

Зауважимо, що формула (5) має сенс лише для невід'ємних цілих значень параметрів, які задовольняють умовам:

$$h_i[O] \leq h_i[Z^j], \quad s \leq H, \quad i = 1, \dots, k, \quad j = 1, \dots, J. \quad (6)$$

Обмеження (6) у практичних розрахунках потребують певного коригування даних, яке можна здійснювати шляхом пропорційного змінювання характеристик об'єкта. Коригування подання об'єкта при невиконанні обмежень (6) пропонуємо здійснювати з округленням результату до цілого числа за допомогою коефіцієнта $\lambda_{кор}^j$ за формулою:

$$h_i'[O] = \lambda_{кор}^j \cdot h_i[O], \quad i = 1, \dots, k, \quad j = 1, \dots, J.$$

Розрахунок здійснюємо для еталонів Z^j , де порушено умови (6). Об'єкт підходить до класу $v \in \{1, \dots, J\}$ за правилом баєсовського класифікатора

$$v = \arg \max_{j=1, \dots, J} P(Z_j/O), \quad (7)$$

що є реалізацією оптимізаційної процедури загального вигляду (3).

Зауважимо, що наведений метод класифікації є оптимальним у сенсі найменшої в середньому ймовірності помилки класифікації [10, 12].

2.2. Метричні класифікатори.

Частотні підходи нерідко називають метричними [2, 7-9], навіть якщо міра Λ в (3) не задовольняє аксіомам метрики.

Метричний класифікатор відносить досліджуваний об'єкт до еталону, міра подібності якого

виявилася оптимальною. При цьому додатково здійснюють перевірку значущості отриманого мінімуму релевантності відповідно до встановленого порогу [1].

Найпростішою з таких мір є евклідова, що обчислює відстані між описами об'єкту і еталонної множини, після чого об'єкт відносять до еталону, відстань до якого виявилася найменшою. Евклідова відстань ефективно використовується у випадках достатньої відмінності еталонів між собою, і часто демонструє нечутливість до варіативності даних у інших ситуаціях.

Останнього часу дослідники методів розпізнавання зображень зосереджують увагу на мірі «розходження Кульбака-Лейблера» [6, 13, 14]. Цю міру D_{KL} для нашої задачі можна інтерпретувати як значення середньої інформації щодо відмінності об'єкту O від еталону Z^j [7]:

$$D_{KL}(O \parallel Z^j) = \sum_{i=1}^k h_i^*[O] \ln \frac{h_i^*[O]}{h_i^*[Z^j]}, \quad (8)$$

де $h_i^*[O]$, $h_i^*[Z^j]$, $i=1, \dots, k$, $j=1, \dots, J$, – елементи нормованих описів (2).

Для прояснення сутності міри (8) наведемо базові теоретичні міркування, що обґрунтовують її застосування для класифікації [7]. Обчислимо апостеріорні ймовірності $P(Z_j/O)$ за формулою Байеса (4), зокрема, для $j=1$, $j=2$ маємо:

$$\frac{P(Z^1/O)}{P(Z^2/O)} = \frac{P(O/Z^1) \cdot P(Z^1)}{P(O/Z^2) \cdot P(Z^2)}. \quad (9)$$

Після логарифмування обох частин (9)

$$\ln \frac{P(O/Z^1)}{P(O/Z^2)} = \ln \frac{P(Z^1/O)}{P(Z^2/O)} - \ln \frac{P(Z^1)}{P(Z^2)}. \quad (10)$$

Інтерпретація (10) при порівнянні двох еталонів виглядає так [7]:

1) це різниця між логарифмами шансів належності об'єкту до Z^1 та Z^2 до та після спостережень на користь еталону Z^1 , її можна розглядати як інформацію, отриману в результаті спостереження;

2) це логарифм відношення правдоподібності, що трактується як інформація щодо об'єкту O для його розрізнення на користь Z^1 проти Z^2 ;

3) це критерій прийняття рішення, який полягає в обранні еталону, для якого логарифм відношення апостеріорної ймовірності до апіорної є більшим.

Наприклад, якщо вираз (10) приймає невід'ємне значення,

$$\ln \frac{P(Z^1/O)}{P(Z^2/O)} \geq \ln \frac{P(Z^1)}{P(Z^2)},$$

то маємо нерівність

$$\ln \frac{P(Z^1/O)}{P(Z^1)} \geq \ln \frac{P(Z^2/O)}{P(Z^2)},$$

яка означає порівняння значень логарифма відношення апостеріорної ймовірності до апіорної на користь еталону Z^1 .

Розглянемо тепер дискретну випадкову величину, яка приймає значення логарифма відношення правдоподібності (10), виходячи з нормованих кластерних розподілів об'єкту і еталону. Ліва частина (10) приймає вигляд $\ln h_i^*[O]/h_i^*[Z^j]$, $i=1, \dots, k$, що можна розуміти як інформацію щодо об'єкту O на предмет його відмінності від еталону Z^1 . Будемо вважати, що така випадкова величина приймає вказані значення з відповідними ймовірностями (частотою) $h_i^*[O]$, $i=1, \dots, k$. Обчислення її математичного сподівання приводить до виразу (8) розходження Кульбака-Лейблера, і може інтерпретуватися як середня інформація щодо розрізнення об'єкту від еталону, або як середня величина втрат інформації при віднесенні об'єкта O до еталона Z^1 .

Міра (8) не є метрикою, оскільки не задовольняє аксіомам симетричності та нерівності трикутника, та є невід'ємною, причому рівність нулю має місце тоді і лише тоді, коли $h_i^*[O] = h_i^*[Z^j]$, $i=1, \dots, k$ [7, 15].

Міру виду (8) можна впевнено вважати доцільною для застосування в задачі розпізнавання, оскільки базовий метод математичної статистики, що дає оцінку параметрів розподілу, – метод максимальної правдоподібності – приводить до вибору розподілу (тобто до еталону), що знаходиться на мінімальній відстані (8) від реального, але невідомого розподілу об'єкта [16].

3. Порівняльний аналіз прикладних властивостей мір релевантності

Зауважимо, що сенс застосування розглянутих статистичних мір релевантності у задачах класифікації потребує розуміння як їх порівняльних переваг, так і окремих недоліків, вузьких місць і обмежень, що можуть бути пов'язані із специфікою аналізованих даних.

Наведемо найбільш вагомим, на наш погляд, особливості вказаних мір з точки зору практичного застосування моделі оптимізаційного класифікатора (3). Наголос на прикладних аспектах дає підстави підкріплювати наведені нижче міркування відповідними прикладами.

Евклідова метрика є однією з найбільш вживаних мір подібності [4, 9, 10], до переваг якої можна віднести простоту розрахунків і прозорість висновків. Однак практичний досвід показує, що вона недостатньо чутлива щодо варіативності даних. Продемонструємо це за допомогою прикладу. Нехай опис об'єкту O і еталонів Z^1 , Z^2 характеризується даними табл. 1, 2.

Таблиця 1. Кластерні подання O, Z^1, Z^2

	Кластер		
	M_1	M_2	M_3
O	5	3	2
Z^1	8	8	4
Z^2	12	6	2

Таблиця 2. Нормовані подання O, Z^1, Z^2

	Кластер		
	M_1	M_2	M_3
O	0,5	0,3	0,2
Z^1	0,4	0,4	0,2
Z^2	0,6	0,3	0,1

Обчислимо евклідову відстань (E) між об'єктом і еталонами, розходження Кульбака-Лейблера (D_{KL}) еталонів та об'єкта, а також апостеріорні ймовірності (P) віднесення об'єкта до еталонів (табл. 3).

Таблиця 3. Значення мір релевантності

	E	D_{KL}	P
Z^1	0,141	0,025	0,543
Z^2	0,141	0,047	0,457

Як бачимо з табл. 3, в той час як евклідова відстань між об'єктом і еталонами однакова, значення інших мір свідчать про перевагу еталону Z^1 .

Наведений приклад демонструє переважуючу чутливість баєсовського класифікатора і розходження Кульбака-Лейблера у порівнянні із евклідовою метрикою, що підкреслює важливість вибору адекватної міри релевантності.

Аналіз особливостей практичного застосування цих двох мір релевантності виконаємо, спираючись

Таблиця 6. Значення мір релевантності за даними табл. 4

Еталон	Об'єкт					
	Z^1			Z^2		
	E	D_{KL}	P	E	D_{KL}	P
Z^1	0	0	0,9999993546	0,15	0,124382	0,0000000003
Z^2	0,15	0,155722	0,0000004986	0	0	0,9999999782
Z^3	0,13	0,095338	0,0000000796	0,14	0,116459	0,0000000201
Z^4	0,01	0,020354	0,0000000672	0,13	0,090406	0,0000000014
Еталон	Об'єкт					
	Z^3			Z^4		
	E	D_{KL}	P	E	D_{KL}	P
Z^1	0,13	0,089942	0,0000000026	0,01	0,021414	0,0000001508
Z^2	0,14	0,120209	0,0000000346	0,13	0,120712	0,0000008228
Z^3	0	0	0,9999999627	0,11	0,065189	0,0000005001
Z^4	0,11	0,059078	0,0000000001	0	0	0,9999985263

на приклад опису 4-х еталонів в поданні із 10-ти кластерів за даними роботи [4] (табл. 4, 5).

Таблиця 4. Кластерні подання бази $Z = \{Z_j\}_{j=1}^4$

	Еталон	Z^1	Z^2	Z^3	Z^4
		M_1	7	8	15
Кластер	M_2	9	11	7	8
	M_3	9	8	3	8
	M_4	9	16	13	13
	M_5	14	3	9	13
	M_6	15	14	18	12
	M_7	6	13	7	7
	M_8	11	9	8	11
	M_9	11	11	11	11
	M_{10}	9	7	9	7

Таблиця 5. Нормовані кластерні подання бази

	Еталон	Z^1	Z^2	Z^3	Z^4
		M_1	0,07	0,08	0,15
Кластер	M_2	0,09	0,11	0,07	0,08
	M_3	0,09	0,08	0,03	0,08
	M_4	0,09	0,16	0,13	0,13
	M_5	0,14	0,03	0,09	0,13
	M_6	0,15	0,14	0,18	0,12
	M_7	0,06	0,13	0,07	0,07
	M_8	0,11	0,09	0,08	0,11
	M_9	0,11	0,11	0,11	0,11
	M_{10}	0,09	0,07	0,09	0,07

Результати обчислення мір релевантності об'єктів, в якості яких взято еталони, наведено в табл. 6.

Порівняння чисельних значень табл. 6 свідчить про позитивний результат усіх аналізованих мір щодо правильного прийняття рішення в межах бази еталонів, високу точність розпізнавання баєсовського класифікатора, що підтверджується суттєвими відмінностями розрахованих значень апостеріорних ймовірностей, а також приблизно однаковою чутливістю до відхилення значень евклідової відстані та розходження Кульбака-Лейблера.

Аналіз загальних теоретичних підходів, а також окремих кількісних розрахунків дає підстави стверджувати про ряд недоліків практичного застосування баєсовського класифікатора, серед яких – необхідність здійснювати громіздкі обчислення над ненормованими даними, деяка втрата точності через потребу коригування структурних описів об'єктів, а також виконання інших обмежень згідно умов (6).

У той самий час розходження Кульбака-Лейблера, хоча і не є метрикою в класичному розумінні, має перелік вагомих переваг практичного характеру, що свідчать на користь цієї міри, до яких, в першу чергу, відноситься використання нормованих даних при відсутності обмеження щодо типу розподілу спостережень, що передбачається невідомим.

При цьому вимога відсутності нульових значень в структурних описах еталонів (що впливає з (8)) може бути задоволена за рахунок коригування опису об'єкта або укрупненням кластерного розподілу.

Розглянемо ще один важливий приклад кластерного опису 5-ти еталонів в поданні із 5-ти кластерів за даними табл. 7 [17]. Він відрізняється тим,

що число кластерів встановлено рівним кількості еталонів, а також суттєвим перевищенням у поданні числа елементів «свого» зразка, що дає можливість на пряму класифікувати ОТ до еталонного класу.

Таблиця 7. Кластерні подання еталонної бази $Z = \{Z_j\}_{j=1}^5$

Еталон	Кластер				
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
Z^1	26	2	4	9	10
Z^2	9	32	7	1	2
Z^3	9	11	25	4	2
Z^4	5	4	7	30	5
Z^5	9	2	2	12	26

Особливість наведеного прикладу полягає у вдалому кластерному представленні, коли факт розрізнення еталонів між собою відображений навіть у очевидній розрізненості їх структурних елементів.

Специфічність даних зумовлює особливі підходи при класифікації, що, в першу чергу, проявляється в унеможливленні застосування тут баєсовського класифікатора, оскільки через зосередженість основної кількості ОТ в одному кластері кожного з еталонів практично неможливим є коригування об'єкту відповідно до умов (6).

Результати обчислення мір релевантності (евклідової та розходження Кульбака-Лейблера) об'єктів, в якості яких взято еталони, наведено у табл. 8.

Таблиця 8. Значення мір подібності за даними табл. 7

Еталон	Об'єкт									
	Z^1		Z^2		Z^3		Z^4		Z^5	
	E	D_{KL}	E	D_{KL}	E	D_{KL}	E	D_{KL}	E	D_{KL}
Z^1	0	0	0,71	1,52	0,59	0,95	0,60	0,61	0,46	0,34
Z^2	0,71	1,09	0	0	0,55	0,50	0,80	1,87	0,79	1,73
Z^3	0,59	0,79	0,55	0,46	0	0	0,64	0,96	0,69	1,40
Z^4	0,60	0,69	0,80	1,31	0,64	0,75	0	0	0,56	0,65
Z^5	0,46	0,35	0,79	1,76	0,69	1,42	0,56	0,55	0	0

Розглянутий приклад демонструє переважаючу чутливість до розрізнення саме розходження метрикою.

Так, евклідова відстань між першим і четвертим еталонами, дорівнює 0,60, і не залежить від того, який з них розглядається як досліджуваний об'єкт.

Однак розходження Кульбака-Лейблера еталону Z^4 відносно Z^1 як об'єкта, рівне 0,69, є більшим за розходження величиною 0,61 еталону Z^1 відносно Z^4 як об'єкта.

Тут розходження Кульбака-Лейблера показує більшу близькість об'єкта Z^1 до еталону Z^4 , ніж евклідова відстань, в той час як числовий аналіз близькості об'єкта Z^1 до еталону Z^4 за допомогою обох мір подібності приводить до однакового результату.

Наведена особливість у результатах розрахунків пояснюється несиметричною природою розходження Кульбака-Лейблера, що має в своїй основі інший погляд на досліджуваний об'єкт із невідомим розподілом і на еталон, структурний опис

якого, на відміну від об'єкту, вважається визначеним.

Отже, вказана відмінність є очікуваною, і може інтерпретуватися проявом більш тонкого розрізнення об'єктів засобами розходження Кульбака-Лейблера у порівнянні з евклідовою відстанню.

Відмітимо окремо надзвичайно важливий етап процесу класифікації, пов'язаний з пороговою верифікацією результатів, одержаних на підставі оптимізаційного класифікатора (3). Очевидно, що різна природа аналізованих мір релевантності обумовлює відмінні підходи до формування відповідних порогів, які визначаються рівнем розрізнення в конкретній базі еталонів і припустимим рівнем перешкод [4].

Так, баєсовський класифікатор потребує встановлення нижнього рівня для значення апостеріорної ймовірності.

Класифікатори на основі мір подібності передбачають неперевищення деякого порога для мінімуму відстані.

В свою чергу, розходження Кульбака-Лейблера припускає (через свою глибинну статистичну сутність) використання потужного апарату математичної статистики в розрізі перевірки відповідних статистичних гіпотез.

Так, наприклад, в [18] пропонується встановлення порогу

$$\rho = \frac{1}{2s} \chi_{k-1, 1-\alpha}^2,$$

призначеного для відмови від віднесення досліджуваного об'єкта до жодного з еталонів Z^j , $j = 1, \dots, J$, якщо виконується умова

$$D_{KL}(O \| Z^j) \geq \rho,$$

де α – задана ймовірність помилки першого роду (ймовірність відхилення гіпотези про віднесення об'єкта до еталону за умови, що вона виявилася справедливою), $\chi_{k-1, 1-\alpha}^2$ – критична точка розподілу χ^2 відповідно до числа ступенів свободи $k-1$ та рівня значущості $1-\alpha$.

В умовах наведеного прикладу за даними табл. 4 маємо

$$s=100, k=10,$$

звідки при $\alpha = 0,05$ одержуємо $\rho = 0,017$.

Як бачимо з табл. 6, всі розраховані значення розходжень Кульбака-Лейблера еталонів вище отриманого порогу, що, зокрема, свідчить про значущу відмінність еталонів між собою.

Аналогічний результат одержуємо за даними табл. 7, де $\rho = 0,007$, що менше усіх ненульових значень розходжень Кульбака-Лейблера (табл. 8).

Висновки

У роботі вирішується задача класифікації зображень з поданими у векторному виді описі, компоненти якого відображають ймовірнісні характеристики розподілу елементів зображення за фіксованою множиною опорних точок простору ознак.

Застосування для таких представлень статистичних підходів при обчисленні мір релевантності описів дає можливість не тільки покращити показники розрізнення за рахунок більшої чутливості застосованих статистичних мір, а також і здійснити верифікацію результатів, одержаних за допомогою оптимізаційного класифікатора.

Статистичне представлення відображає більш загальні властивості об'єкта та еталона, вважаючи їх відображення розподілом значень класифікаційних ознак.

Рекомендації за результатом дослідження – найбільш підходящою для нашої задачі класифікації є міра Кульбака-Лейблера, так як ця міра є чутливою до різноманіття кластерних подань та має універсальне застосування для довільного типу даних.

Наукова новизна дослідження полягає у розвиненні методу структурного розпізнавання зображень на основі кластерного опису множини дескрипторів особливих точок шляхом застосування апарату статистичних мір для визначення релевантності аналізованих та еталонних даних і побудови класифікаційних висновків у просторі кластер-еталон.

Практична значущість роботи – отримання прикладних розрахункових моделей для застосування методів класифікації і підтвердження їх результативності в конкретних прикладах баз зображень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гороховатский В. А. Структурный анализ и интеллектуальная обработка данных в компьютерном зрении / В. А. Гороховатский. – Х.: Компания СМІТ, 2014. – 316 с.
2. Duda R. O. Pattern classification / Duda R. O., Hart P. E., Stork D. G. – 2ed., Wiley, 2000.–738 p.
3. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications / R. Szeliski. – London: Springer, 2010. – 979 p.
4. Гороховатский В. А. Исследование результативности структурных методов классификации изображений с применением кластерной модели данных / В. А. Гороховатский, Е. П. Путьгин, В. С. Столяров // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2017. – №3 (42). – С. 78–85.
5. Gorokhovatsky V.A. Efficient Estimation of Visual Object Relevance during Recognition through their Vector Descriptions / V.A. Gorokhovatsky // Telecommunications and Radio Engineering. – 2016, Vol. 75, No 14. – P. 1271–1283.
6. Ампилова Н. Б. Применение расхождения Ренья к анализу и классификации изображений. / Н. Б. Ампилова, В. Д. Сергеев, И. П. Соловьев. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lib.herzen.spb.ru/media/magazines/contents/1/176/ampilova_176_35_44.pdf.

7. Кульбак С. Теория информации и статистика / С. Кульбак. – М.: Наука, 1967. – 408 с.
8. Айвазян С. А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
9. Гуров С. И. Как оценить надежность алгоритма классификации / С. И. Гуров // Таврический вестник информатики и математики. – Симферополь: КНЦ НАН Украины. – 2002, № 1. – С.27 – 56.
10. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений/ Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1070 с.
11. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т. 1 / В. Феллер. – М.: Мир, 1984.– 528 с.
12. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов / К. Фукунага. – М.: Наука, 1979. –367с.
13. Худов В. Г. Оцінка якості сегментування оптико-електронного зображення шляхом оцінки комплексних показників на відстані Кульбака-Лейблера / В. Г. Худов, О. М. Маковейчук, І. А. Хижняк // Системи обробки інформації. – 2017. – Випуск 4 (150). – С. 27 – 30.
14. Radu Stoica. Indexing and Retrieval in Multimedia Libraries Through Parametric Texture Modeling using the 2D Wold Decomposition. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hal.inria.fr/inria00073085/document>.
15. David J. C. MacKay. Information Theory, Inference, and Learning Algorithms. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inference.org.uk/itprnn/book.pdf>.
16. Бочаров П. П. Теория вероятностей. Математическая статистика / П. П. Бочаров, А. В. Печинкин. – М.: ФИЗМАТГИЗ, 2005. – 296 с.
17. Гороховатський В. О. Аналіз властивостей, характеристик та результатів застосування новітніх детекторів для визначення особливих точок зображення / В. О. Гороховатський, Д. В. Пупченко, К. Г. Солодченко // Системи управління, навігації та зв'язку. –2018. – №1 (47). – С. 93–98.
18. Савченко А. В. Распознавание изображений методом направленного перебора на основе принципа минимума информационного рассогласования / А. В. Савченко // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2010. – №2. –С.211-216..

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. П. Пуятін,
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків
Received (Надійшла) 03.06.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 01.08.2018

Применение статистических мер релевантности для векторных структурных описаний объектов в задаче классификации изображений

С. В. Гадецкая, В. А. Гороховатский

Решается задача классификации изображений в пространстве признаков дескрипторов особых точек с представлением описания в кластерном виде и использованием статистических мер для вычисления релевантности описаний. Проведен анализ особенностей применения статистического и метрического классификаторов при определении уровня релевантности структурных описаний. Выполнено сравнение характеристик мер релевантности на расчетных примерах. Предложено использование расхождения Кульбака-Лейблера как универсальной и эффективной меры для задачи классификации. Подтверждена результативность предложенного подхода для прикладных баз изображений. Научная новизна исследования заключается в развитии метода структурного распознавания изображений на основе кластерного описания множества дескрипторов особых точек путем применения аппарата статистических мер для определения релевантности анализируемых и эталонных данных и построения классификационных выводов в пространстве кластер - эталон. Практическая значимость работы - получение прикладных расчетных моделей для применения методов классификации и подтверждения их результативности в конкретных примерах баз изображений.

Ключевые слова: компьютерное зрение, структурное распознавание, дескрипторы особых точек изображения, кластерное представление описания, статистическая мера релевантности, байесовский классификатор, метрический классификатор, расхождение Кульбака-Лейблера.

Application of statistical relevance measures for vectoral structural descriptions of objects in image classification problem

S. Gadetska, V. Gorokhovatskyi

The problem of image classification in the space of attributes of descriptors of singular points is solved with representation of the description in cluster form and using of statistical measures to calculate relevance of descriptions. The analysis of specific application feature of statistical and metric classifiers in determining the level of relevance of structural descriptions is performed. Comparison of the characteristics of relevance measures on the calculated examples is performed. Kullback-Leibler divergence was proposed to use as a universal and effective measure for the classification problem. The effectiveness of the proposed approach for application image dataset was confirmed. The scientific novelty of the research is to develop the method of structural recognition of images based on the cluster description of the set of descriptors of special points by using the apparatus of statistical measures to determine the relevance of the analyzed and reference data and the construction of classifications in the space cluster - standard. Practical significance of work - to obtain applied calculation models for the application of classification methods and confirm their effectiveness in specific examples of image databases.

Keywords: computer vision, structural recognition, descriptors of special points, cluster representation of description, statistical measure of relevance, Bayesian classifier, metric classifier, Kulbak-Leibler divergence.

О. П. Дєдов

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ СЕРЕДОВИЩА НА ДИНАМІКУ МАШИНИ НА ОСНОВІ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Предметом вивчення в статті є математична модель вібраційної системи «машина – середовище» з врахуванням властивостей ущільнювального середовища. **Метою** статті є обґрунтування розрахункової схеми та створення математична модель вібраційної системи «машина – середовище» з врахуванням властивостей ущільнювального середовища для оцінки впливу опору середовища при полічастотних коливаннях. **Завдання:** виконати теоретичні дослідження моделювання і врахування впливу опору середовища при полічастотних коливаннях для ущільнення бетонних сумішей. Використовуваними **методами** є аналітичні дослідження з дискретних і континуальних динамічних систем. Отримані такі **результати**. Наведені вирази для визначення складових опору середовища при полічастотних коливаннях. Таким чином застосовуючи дані вирази можна оцінити вплив кожної з гармонік вібраційного процесу на рух системи і, відповідно, напружено-деформований стан. Це принципово новий результат і уявлення про можливість створення вібраційних систем нового покоління на такій основі. **Висновки.** Обґрунтована розрахункова схема та розроблена математична модель вібраційної системи «машина – середовище» з врахуванням властивостей ущільнювального середовища; запропонований аналітичний метод визначення впливу оброблюваного середовища на динаміку системи «машина – середовище»; отримані аналітичні залежності для оцінки впливу опору середовища при полічастотних коливаннях.

Ключові слова: розрахункова модель, деформація, бетонна суміш, частота коливань, вищі гармоніки.

Вступ

Загальна постановка проблеми та зв'язок з практичними завданнями. На сучасному етапі вібраційна техніка будівельної індустрії не в повній мірі відповідає зазначеним викликам галузі. Як правило, вона побудована на використанні лінійних за резонансних режимів. Такі режими не здатні забезпечити мінімальні енерговитрати на протікання технологічних процесів. Обумовлено це відсутністю спеціалізованих віброустановок для формування виробів. Значною розбіжністю існуючих фізичних та математичних моделей, які описують рух вібраційної машини і ущільнювальної бетонної суміші. Тому актуальною є проблема пошуку більш ефективних конструктивних і технологічних рішень для реалізації високотехнологічних проектів по створенню та дослідженню машин вібраційної дії. Реалізація таких проектів може лежати в площині розробки таких розрахункових моделей, які враховують взаємний вплив машини і середовища на загальний рух системи «машина – середовище».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] наведений аналіз перспективних машин вібраційної дії для ущільнення бетонних сумішей. Зокрема розглянуті машини рамної конструкції з просторовими коливаннями. Така конструкція є прогресивним напрямком розвитку вібраційних машин. Однак такі конструкції є малодослідженими з точки зору впливу середовища на конструкцію машини. У більшості випадків проведених теоретичних дослідженнях фізичні і механічні характеристики ущільнювального середовища, які і визначають характер вібраційних машин представлені у вигляді дискретних реологічних моделей. [2]. Моделювання таким чином середовища не дозволяє визначити параметри робочого процесу та дію середовища на конструктивні елементи машини. Робота [3] присвячена дослідженню горизонтальних коливань вібраційної касет-

ної установки. Дана робота заслуговує на увагу так як математична модель для дослідження враховує хвильові явища середовища, але коливання та напруження вставних вертикальних пластин не враховуються. Не враховані ефекти виникнення хвильових процесів та відсутня оцінка впливу полі частотних режимів, які виникають при просторовому рухові. Такий метод є достовірним тільки в межах виконаних досліджень та ідентичних за конструкцією та параметрами віброустановок. У роботах [5–7], була запропонована робоча гіпотеза: розробка надійних і найбільш ефективних віброущільнюючих машин для різних умов формування бетонних і залізобетонних виробів забезпечується встановленням і раціональним використанням закономірностей зміни внутрішніх (пружно-інерційних і дисипативних) властивостей системи «машина – середовище» в режимі, що є наближеним до вільних коливань вібросистеми. При цьому виконані дослідження передбачали врахування напружено-деформованого стану не лише оброблюваного середовища, а і безпосередньо металоконструкції машини. Зокрема в роботі [7], визначені частоти і форми коливань запропонованої формоутворюючої конструкції, а також визначений характер руху машини. За результатами досліджень авторами зазначені висновки про наявність складного руху та багато режимність віброущільнюючої машини. Однак вплив середовища на робочі органи машини на різних частотах коливань не оцінювався, а враховувався масовим коефіцієнтом. Також вплив вищих гармонік коливань на процес ущільнення теж відсутній. Проведений аналіз та оцінка досліджень врахування полічастотних засвідчує про наявність проблеми визначення напружень і деформацій при багаторежимному спектрі коливань.

Мета статті – обґрунтування розрахункової схеми та створення математична модель вібраційної системи «машина – середовище» з врахуванням властивостей ущільнювального середовища для оцінки впливу опору середовища при полічастотних коливаннях.

Основна частина

Для дослідження системи «машина – середовище» використана розрахункова схема (рис. 1). На схемі представлена установка з ущільнювальною сумішшю. Установка приводиться в дію змушуючою силою $F(t)$, під дією сили формоутворююча конструкція здійснює коливання з переміщенням робочого органу z . $Z(z, t)$ – переміщення поточного перерізу оброблюваного середовища при коливаннях; Для знаходження опору середовища запишемо аналітичний вираз для елементарного шару бетонної суміші, взявши за вихідну модель середовища, що знаходиться в напружено-деформованому стані.

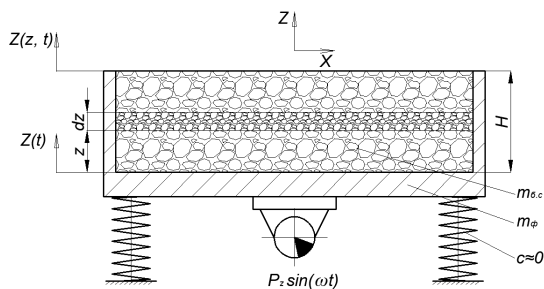


Рис. 1. Розрахункова схема системи «машина – середовище»

При рухові системи у проміжок часу $0 \leq t \leq \tau_1$

$$Z(t) = -z_1 \sin(\pi/\tau_1 \cdot t), \quad (1)$$

проміжок часу $\tau_1 \leq t \leq T$ може бути описаний законом:

$$Z(t) = z_2 \sin(\pi/\tau_2 \cdot t); \quad (2)$$

де z_1 й z_2 – амплітуда коливань ущільнюючої поверхні при τ_1, τ_2, T . У випадку, коли період функції $Z(t)$ співпадає з періодом T , функція $Z(t)$ може бути записана у вигляді ряду Фур'є:

$$Z(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} z_n e^{in\omega t}; \quad \omega = 2\pi/T; \quad (3)$$

де z_n – коефіцієнти Фур'є для функції (3).

Опір середовища, яке ущільнюється можна описати сумою двох складових – активною і реактивною. Реактивна складова опору середовища відповідно до закону Ньютона має вигляд:

$$R_p = m_{\sigma,c} \ddot{z}; \quad (4)$$

де \ddot{z} – прискорення зони контакту середовища і ущільнювальної поверхні.

Опір середовища з іншого боку:

$$R_p = -ES \frac{\partial Z}{\partial z} \Big|_{z=0}; \quad (5)$$

де $\frac{\partial Z}{\partial z} \Big|_{z=0}$ – деформація середовища, яке контактує з формоутворюючою поверхнею.

Для визначення прискорення \ddot{z} запишемо хвильове рівняння відносно прискорення:

$$\ddot{z} = \frac{\partial^2 Z}{\partial z^2} \Big|_{z=0} = c^2 \cdot (1+i\eta) \frac{\partial^2 Z}{\partial z^2} \Big|_{z=0} \quad (6)$$

Враховуючи (4), (5) і (6), отримаємо

$$m_{\sigma,c} = -ES \frac{\partial Z}{\partial z} \Big|_{z=0} \Big/ \left(c^2 \cdot (1+i\eta) \frac{\partial^2 Z}{\partial z^2} \Big|_{z=0} \right). \quad (7)$$

Таким чином, задача знаходження реактивного опору, точніше коефіцієнта $m_{\sigma,c}$, що має розмірність маси й визначає реактивний опір, зводиться до відшукування деформації $\frac{\partial Z}{\partial z}$ і її похідної $\frac{\partial^2 Z}{\partial z^2}$ на границі $z=0$. Тоді деформація оброблюваного середовища:

$$\frac{\partial Z}{\partial z} \Big|_{z=0} = (a_1 + i \cdot b_1)(Z_{1n} - Z_{2n}) \quad (8)$$

Виходячи з граничної умови, що деформація на поверхні оброблюваного середовища відсутня, тобто $\frac{\partial Z}{\partial z} \Big|_{z=H} = 0$, отримаємо

$$Z_{1n} \cdot e^{H(a_1+i \cdot b_1)n} - Z_{2n} e^{-H(a_1+i \cdot b_1)n} = 0, \quad (9)$$

звідки
$$\frac{Z_{1n}}{Z_{2n}} = e^{-2 \cdot H(a_1+i \cdot b_1)n}.$$

Вираз для похідної від деформації (8):

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial z^2} \Big|_{z=0} = (a_1 + i \cdot b_1)(Z_{1n} + Z_{2n}). \quad (10)$$

Підставивши отримані вирази (8) й (10) в (7):

$$m_{\sigma,c} = - \frac{\rho \cdot S \sum_{n=-\infty}^{+\infty} n Z_{2n} \left(\frac{Z_{1n}}{Z_{2n}} - 1 \right) e^{in(\omega t)}}{a_1 + i b_1 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} n^2 Z_{2n} \left(\frac{Z_{1n}}{Z_{2n}} + 1 \right) e^{in(\omega t)}} = \frac{\rho \cdot S \sum_{n=-\infty}^{+\infty} n \cdot Z_{2n} \left(1 - e^{2H(a_1+i \cdot b_1)n} \right) \cdot e^{in(\omega t)}}{a_1 + i b_1 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} n^2 \cdot Z_{2n} \left(1 - e^{2H(a_1+i \cdot b_1)n} \right) \cdot e^{in(\omega t)}}. \quad (11)$$

Для граничних умов:

$$\frac{\partial Z}{\partial z} \Big|_{z=H} = 0, \quad Z \Big|_{z=0} = Z(t),$$

одержуємо:

$$\sum_{n=-\infty}^{+\infty} Z_{2n} \left(1 + e^{2H(a_1+i \cdot b_1)n} \right) \cdot e^{in(\omega t)} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} z_n e^{in(\omega t)},$$

тоді
$$Z_{2n} = z / \left(1 + e^{-2H(a_1+i \cdot b_1)n} \right) \quad (12)$$

З урахуванням (11) формула для визначення $m_{\sigma,c}$ має вигляд:

$$m_{\sigma,c} = \frac{\rho \cdot S \sum_{n=-\infty}^{+\infty} n z_n t H \left[H(a_1 + i b_1) n \right] e^{in(\omega t)}}{a_1 + i b_1 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} n^2 z_n e^{in(\omega t)}}. \quad (13)$$

Оскільки $\dot{z}(t) = i \cdot \omega \cdot z(t)$; $\ddot{z} = -\omega^2 z(t)$ й приймаючи, що амплітуда більш високих гармонік менше, ніж для першої гармоніки для прийнятого закону руху, одержуємо після перетворень:

при $0 \leq t \leq \tau_1$

$$m_{\delta,c} = \frac{2 \cdot \rho \cdot S \cdot t \cdot H [H(a_1 + ib_1) \cdot \tau_1]}{(a_1 + ib_1)(\tau_1 + \tau_2)} \quad (14)$$

при $\tau_1 \leq t \leq T$:

$$m_{\delta,c} = \frac{2 \cdot \rho \cdot S \cdot t \cdot H [H(a_1 + ib_1) \cdot \tau_2]}{(a_1 + ib_1)(\tau_1 + \tau_2)} \quad (15)$$

Виділяючи дійсну частину у формулах (14) й (15), знайдемо дійсне значення $m_{\delta,c}$:

при $0 \leq t \leq \tau_1$

$$m_{\delta,c} = \frac{2 \cdot \rho \cdot S (a_1 \operatorname{sh} 2a_1 H + b_1 \sin 2b_1 H) \cdot \tau_1}{(a_1^2 + b_1^2)(\operatorname{ch} 2a_1 H + b_1 \cos 2b_1 H)(\tau_1 + \tau_2)}; \quad (16)$$

при $\tau_1 \leq t \leq T$:

$$m_{\delta,c} = \frac{2 \cdot \rho \cdot S (a_1 \operatorname{sh} 2a_1 H + b_1 \sin 2b_1 H) \cdot \tau_2}{(a_1^2 + b_1^2)(\operatorname{ch} 2a_1 H + b_1 \cos 2b_1 H)(\tau_1 + \tau_2)}; \quad (17)$$

Прийняте допущення про перевагу першої гармоніки над наступною дало можливість оцінити відмінність в аналітичних виразах для реактивної складової при реалізації гармонійного та несиметричного характерів руху. У випадку внеску більше високих гармонік і при врахуванні, що кожна гармоніка має ще й свою фазу ϕ . Тоді вираз (13) буде мати вигляд

$$m_{\delta,c} = A \cdot \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (-n^2 \omega^2) z_{1n} e^{i(n\omega t + \phi_n)} t H \frac{k_{1n} h}{n}}{\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (-n^2 \omega^2) z_{1n} e^{i(n\omega t + \phi_n)}}, \quad (18)$$

де $A = \frac{ESk_{1n}}{\omega^2}$.

З (18) випливає, що $m_{\delta,c}$ залежить від часу t , форми імпульсу (z_{1n}, ϕ_n) , висоти середовища у напрямку вібраційної дії H і частоти ω .

Дійсна частина виразу залежності (18)

$$m_{\delta,c} = A \cdot \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} B \cdot (-n^2 \omega^2) z_{11} \cos(n\omega t + \phi_n)}{\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (-n^2 \omega^2) z_1 \cos(n\omega t + \phi_n)} =$$

$$\frac{A \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (-n^2 \omega^2) \sqrt{\gamma_n^2 + \upsilon_n^2} \cos \left[n\omega t + \operatorname{arctg} \left(-\frac{\gamma_n}{\upsilon_n} \right) \right] B}{\sum_{n=1}^{\infty} (-n^2 \omega^2) \sqrt{\gamma_n^2 + \upsilon_n^2} \cos \left[n\omega t + \operatorname{arctg} \left(-\frac{\gamma_n}{\upsilon_n} \right) \right]},$$

де $B = \frac{1}{n} \operatorname{Re} \left[[k_{11} t \cdot H(k_{1n} H)] \right]$.

Після перетворень цієї залежності остаточно можна записати вираз для еквівалентного реактивного опору:

$$R_p = m_{\delta,c} \ddot{z};$$

де

$$m_{\delta,c} = \frac{A \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} C \cdot \cos \left[n\omega t + \operatorname{arctg} \left(-\frac{\gamma_n}{\upsilon_n} \right) \right] \frac{K_{11}}{n}}{\sum_{n=1}^{\infty} C \cdot \cos \left[n\omega t + \operatorname{arctg} \left(-\frac{\gamma_n}{\upsilon_n} \right) \right]}, \quad (19)$$

тут

$$C = (-n^2 \omega^2) \sqrt{\gamma_n^2 + \upsilon_n^2}$$

$$K_{11} = \frac{a_{11} \operatorname{sh}(2a_{1n} H) - b_{11} \sin(2b_{1n} H)}{\operatorname{ch}(2a_{1n} H) + \cos(2b_{1n} H)};$$

$$a_{1n} = \frac{n\omega}{c_{x\delta} \sqrt{1 + \eta^2}} \cos \left[\frac{1}{2} \operatorname{arctg}(-\eta) \right];$$

$$\beta_{1n} = \frac{n\omega}{c_{x\delta} \sqrt{1 + \eta^2}} \sin \left[\frac{1}{2} \operatorname{arctg}(-\eta) \right].$$

Активний опір:

$$R_a = iES\eta \frac{\partial Z}{\partial z} \Big|_{z=0}. \quad (20)$$

Прирівнявши отриманий вираз до сили в'язкого опору $F_e = b_e \cdot \dot{z}$, маємо:

$$R_a = i\eta ES \sum_{n=1}^{\infty} k_{1n} t H(k_{1n} H) z_{1n} e^{in(\omega t)} = \frac{ES\gamma}{\omega}$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} i \cdot n \cdot k_{11} \cdot \omega \cdot t \cdot H(k_{1n} H) z_{1n} e^{in(\omega t)}.$$

За аналогією з методикою знаходження реактивного опору (21) можна представити у вигляді:

$$R_a = b_e \sum_{n=1}^{\infty} i \cdot n \cdot \omega \cdot z_{1n} e^{in(\omega t)},$$

де коефіцієнт еквівалентного опору:

$$b_e = \frac{ES\gamma \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} n K_{11} t H(K_{1n} H) z_{1n} e^{in(\omega t)}}{\sum_{n=1}^{\infty} n z_{1n} e^{in(\omega t)}}. \quad (22)$$

Отримані вирази (19) і (22) визначають складові опору середовища при полічастотних коливаннях. Таким чином застосовуючи дані вирази можна оцінити вплив кожної з гармонік вібраційного процесу на рух системи і, відповідно, напружено-деформований стан. Це принципово новий результат і уявлення про можливість створення вібраційних систем нового покоління на такій основі.

Висновки і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку

1. Обґрунтована розрахункова схема та розроблена математична модель вібраційної системи «машина – середовище» з врахуванням властивостей ущільнювального середовища.

2. Запропонований аналітичний метод визначення впливу оброблюваного середовища на дина-

міку системи «машина – середовище».

3. Отримані аналітичні залежності для оцінки впливу опору середовища при полічастотних коливаннях.

Створення сучасних машин передбачає реалізацію просторових коливань, тому оцінка впливу середовища на конструкцію машин, робочий режим яких характеризується багаторежимним спектром коливань запланована в подальших дослідженнях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нестеренко М. П. Прогресивний розвиток вібраційних установок з просторовими коливаннями для формування залізобетонних виробів / М.П. Нестеренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип. 44. – С. 177 – 181.
2. Chen X. , Wu S., Zhou J. Experimental study and analytical formulation of mechanical behavior of concrete // Construction and Buildings Materials. 2013. 47. P. 662 – 670.
3. Маслов О.Г., Молчанов П.О., Нестеренко М.П. Дослідження характеру горизонтально направлених коливань касетної установки // Зб. наук. праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (галузеве машинобудування, будівництво). 2013. Вип. 1 (36). С. 454–463.
4. Mykola Nesterenko, Aleksandr Maslov, Julia Salenko Investigation of Vibration Machine Interaction With Compacted Concrete Mixture International //Journal of Engineering & Technology. 2018. 7 (3.2) P. 260-264.
5. Nazarenko I.I., Dedov O.P., Svidersky A.T., Ruchinsky N.N. Research of energy-saving vibration machines with account of the stress-strain state of technological environment // IX Int. Conf. HEAVY MACHINERY HM 2017. 2017. Zlatibor, Serbia. P. 14–15.
6. Ivan Nazarenko, Mykola Ruchynskiy, Maksym Delembovskiy. The Basic Parameters of Vibration Settings for Sealing Horizontal Surfaces // Journal of Engineering & Technology. 2018. 7 (3.2) P. 255-259.
7. Ivan Nazarenko, Viktor Gaidachuk, Oleg Dedov, Oleksandr Diachenko. Investigation of vibration machine movement with a multimode oscillation spectrum // Eastern-European Journal of Enterprise Technolog. 2017. Vol 6, No 1 (90). P. 28 – 36.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,
Державний університет телекомунікацій, Харків
Received (Надійшла) 17.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.08.2018

Определение влияния среды на динамику машины на основе спектрального анализа

О.П. Дедов

Предметом изучения в статье является математическая модель вибративной системы «машина - среда» с учетом свойств уплотнительного среды. **Целью** статьи является обоснование расчетной схемы и создание математической модели вибративной системы «машина - среда» с учетом свойств уплотнительного среды для оценки влияния сопротивления среды при поличастотных колебаниях. **Задачи:** выполнить теоретические исследования моделирования и учета влияния сопротивления среды при поличастотных колебаниях для уплотнения бетонных смесей. Используемыми **методами** являются аналитические исследования дискретных и континуальных динамических систем. Получены следующие **результаты**. Полученные выражения для определения составляющих сопротивления среды при поличастотных колебаниях. Таким образом, применяя данные выражения можно оценить влияние каждой из гармоник вибративного процесса на движение системы и, соответственно, напряженно-деформированное состояние. Это принципиально новый результат и представление о возможности создания вибративных систем нового поколения на такой основе. **Выводы.** Обоснованная расчетная схема и разработана математическая модель вибративной системы «машина - среда» с учетом свойств уплотнительного среды; предложен аналитический метод определения влияния обрабатываемого среды на динамику системы «машина - среда»; получены аналитические зависимости для оценки влияния сопротивления среды при поличастотных колебаниях.

Ключевые слова: расчетная модель, деформация, бетонная смесь, частота колебаний, высшие гармоники.

Determining the influence of the environment on the dynamics of the machine on the basis of spectral analysis

O. Dedov

The **subject matter** of the study in the article is a mathematical model of the vibration system "machine-environment" taking into account the properties of the sealing medium. The **goal** of the article is to justify the design scheme and to create a mathematical model of the vibration system "machine-environment", taking into account the properties of the sealing medium for estimating the effect of medium resistance under poly-frequency oscillations. The **tasks:** to carry out theoretical studies of modeling and taking into account the effect of medium resistance under polyfrequency oscillations for compacting concrete mixes. The **methods** used are analytical studies of discrete and continual dynamic systems. The following results are obtained. The expressions obtained for determining the components of the medium's resistance under polyfrequency oscillations. Thus, applying these expressions, one can evaluate the influence of each of the harmonics of the vibrational process on the motion of the system and, respectively, the stress-strain state. This is a fundamentally new result and the idea of the possibility of creating a new generation of vibration systems on this basis. **Conclusions.** The justified calculation scheme and the mathematical model of the vibration system "machine-environment" is developed taking into account the properties of the sealing medium; an analytical method for determining the influence of the medium being processed on the dynamics of the "machine-environment" system; Analytic dependences for the estimation of the influence of the medium's resistance under polyfrequency oscillations are obtained.

Keywords: design model, deformation, concrete mixture, oscillation frequency, higher harmonics.

О.С. Дьяченко

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВИХ КОЛИВАНЬ ВІБРОУСТАНОВКИ З ПНЕВМАТИЧНИМИ ВІБРОЗБУДНИКАМИ КОЛИВАНЬ

Предметом вивчення в статті є аналіз сучасних чисельних методів побудови математичних моделей вібраційних машин і дослідження їх руху. **Метою** статті є вибір методу побудови математичної моделі вібраційної установки з просторовими коливаннями для ущільнення бетонних виробів та теоретичне дослідження її руху, що забезпечить простоту і адекватність отриманої моделі, а також можливість її використання при подальших дослідженнях і при розв'язуванні інших типів задач. **Завдання:** виконати теоретичне дослідження моделювання і розрахунку методом скінченних елементів запропонованої схеми вібраційної установки з просторовими коливаннями для ущільнення бетонних сумішей. Використовуваними **методами** є метод скінченних елементів. Отримані такі **результати**. Для побудови математичної моделі, з точки зору сучасного підходу ефективним є застосування розрахункових комплексів загального призначення, в основу яких покладені чисельні розрахунки та основні закони теорії пружності, пластичності тощо. Результатами розрахунку конструкцій чисельними методами (наприклад, методом скінченних елементів) є переміщення (деформації), зусилля (напруження) у вузлах сітки конструктивних елементів конструкції. Наведені рівняння законів руху і залежності енергій математичної моделі розробленої вібраційної установки на основі методу скінченних елементів. **Висновки.** Розрахунок конструкцій за допомогою чисельного методу дозволяє ще на стадії проектування вібраційної установки отримати переміщення і зусилля в конструкції, амплітуди коливань і загальну картину роботи складових конструктивної схеми машини та провести вдосконалення її з точки зору раціонального використання матеріалів і покращення її робочих характеристик. Встановлено основні закони руху і залежності енергій математичної моделі вібраційної системи на основі методу скінченних елементів. Розрахунки за приведеними залежностями дозволили отримати загальну картину руху вібраційної машини. Застосування такого підходу до реалізації нових проектів дозволить скоротити час на проведення експериментальних досліджень та знаходжень більш раціональних конструктивних рішень при їх проектуванні.

Ключові слова: вібраційна установка, ущільнення, просторові коливання, метод скінченних елементів, ефективність, надійність.

Вступ

Постановка проблеми. Створення вібраційних установок на етапі проектування, здійснювалось розрахунковими методиками згідно вимогам загальнобудівельних норм 70 років ХХ-го сторіччя. Ці методики не дають змоги коректно змоделювати динамічну поведінку конструкцій систем і елементів вібраційних установок в складних умовах роботи на високих частотах коливань робочого органу і у відповідь на дію зовнішніх впливів і навантажень.

Така обмеженість відомих методів розрахунку конструкцій вібраційних установок стримує можливість створення інструментів математичного моделювання для здійснення досліджень при попередньому їх проектуванні. Зважаючи на вищевикладене, для розрахунку вібраційних установок для ущільнення бетонних сумішей є актуальним розвиток існуючих і створення нових ефективних схем обчислювальних методів. До таких методів відноситься зокрема метод скінченних елементів, з подальшою їх реалізацією у вигляді ефективних об'єктно-орієнтованих програмних засобів при розрахунку на комп'ютерних системах. Обчислювальні технології механічно-міцнісного аналізу інженерних конструкцій і систем надають можливість здійснювати розрахунки напружено-деформованого стану і динамічної поведінки технологічного обладнання, що мають складну геометрію, різноманітні граничні умови і навантажені довільною конфігурацією зовнішніх впливів на неї.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням динаміки машин для ущільнення бетонних сумішей присвячені ряд робіт [1–3]. В роботі [1]

наведені теоретичні та експериментальні дослідження машин блочного типу. Враховано вплив оброблювального середовища на рух машин на основі континуальної моделі. В роботах [2, 3] розглянуто теоретичні основи теорії коливань вібраційних систем, наведено фізичну сутність поведінки машин і оброблювальних середовищ при вібраційному русі. Огляд і використання принципів скінченних елементів наведено у праці [4]. За методом скінченних елементів крім статичного навантаження, які зазвичай застосовуються, можливо врахувати і динамічні [5]. Важливим аспектом моделювання, є врахування дисипативних властивостей [6], однак потребує уточнення законів їх зміни.

Формулювання мети статті. Основною метою статті є вибір методу побудови математичної моделі вібраційної установки для ущільнення бетонних виробів та теоретичне дослідження її руху.

Виклад основного матеріалу

Сучасний розвиток вібраційних машин буде-ється на намаганнях поєднати високу ефективність з надійністю системи. Висока ефективність обумовлена значними прискореннями в системі, а надійність потребує створення конструкції з підвищеною жорсткістю елементів. Виходячи з цих вимог була запропонована схема вібраційної установки з просторовими коливаннями для ущільнення бетонних сумішей [7].

Конструкція досліджуваної вібраційної установки з просторовими коливаннями для ущільнення бетонних виробів наведена на рис. 1 в трьох проекціях. Віброустановка складається з зварної рами 1

коробчастого перерізу, яка встановлена на гумових пружних опорах 2 на бетонному фундаменті. На рамі 1 приварено формуючу пластину 3. Вібруюча установка обладнана чотирма, асиметрично встановленими вібраційними пневматичними збуджувачами коливань 4, які прикріплені до рами за допомогою приварених кріплень. На установці закріплено два незнімних борти 5, жорстко приварених по торцях рами 1, один рухомий борт 6, який кріпиться до рами на завісах 7, і фіксується болтами 8. Також для розділення бетонної суміші 11 між плитами, що формуються, використовується магнітний борт 9, і магнітні перегородки 10.

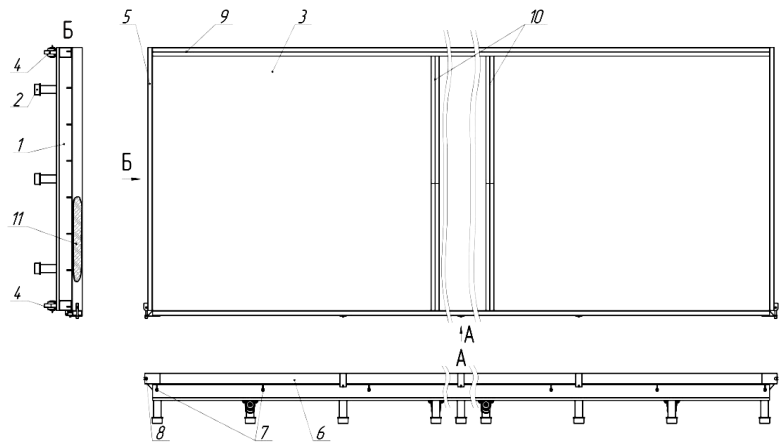


Рис. 1. Конструкція вібраційної установки з просторовими коливаннями

При створенні математичної моделі досліджуваної системи необхідно користуватись принципами, які забезпечать простоту та адекватність моделі а також можливість використання її при подальших дослідженнях – розв'язування інших типів задач, зміну вхідних параметрів, властивостей тощо.

При розгляді динамічного процесу взаємодії системи «машина – оброблюване середовище», застосовують комбінований підхід: конструкцію машини вважають системою з дискретними параметрами, а середовище моделюють системою з розподіленими параметрами. Такий підхід спрощує загальну математичну модель взаємодії машини та середовища, що підлягає обробці, але в той же час не дозволяють виявити процеси, які протікають в конструкції рами або форми машини, що звужує потенціальні можливості при проектуванні, конструюванні та створенні сучасних машин технологічного призначення.

Опис реальних процесів машин під дією статичних і динамічних навантажень може бути реалізований за допомогою диференціальних рівнянь, в яких стан об'єкту дослідження описаний набором деяких параметрів, а зміна стану – швидкістю зміни цих параметрів. Реальні фізичні процеси, які відбуваються у складних системах адекватно можуть бути описані лише нелінійними диференціальними рівняннями. Для побудови математичної моделі, з точки зору сучасного підходу, застосовують розрахункові комплекси загального призначення, в основу яких покладені чисельні розрахунки та основні закони теорії пружності, пластичності тощо. Останнім часом такі розрахункові комплекси знайшли широке застосування в різних галузях, в тому числі і машинобудуванні. Результатами розрахунку конструкцій чисельними методами (наприклад, методом скінченних елементів) є переміщення (деформації), зусилля (напруження) у вузлах сітки конструктивних елементів конструкції. Це дозволяє ще на стадії проектування отримати загальну картину роботи складових конструктивної схеми машини та провести вдосконалення її з точки зору раціонального використання матеріалів.

Інтегральну оцінку стану металоконструкцій готового виробу можна виконати на основі проведення динамічних випробувань. Ідея таких випробувань

полягає у знаходженні дійсних динамічних характеристик конструкції (частоти власних коливань, амплітуди коливань, тощо) з подальшим порівнянням цих характеристик з характеристиками, що отримані шляхом математичного моделювання даної системи конструкції. Математична модель має бути створена так, щоб адекватно описувати реальну конструкцію та її поведінку при різних навантаженнях, а також здатна відобразити моделювання різного роду недосконалоостей пов'язаних з виготовленням та безпосередньою експлуатацією за призначенням.

Застосування такого підходу до реалізації нових проектів дозволяє скоротити час на проведення експериментальних досліджень та знаходжень більш раціональних рішень при проектуванні за досить короткий час та з мінімальними затратами праці.

Вихідним співвідношенням для отримання основних залежностей, що визначають динамічну поведінку системи, є варіаційні рівняння Гамільтона-Остроградського [4]:

$$\int_0^t (\delta U + \delta T + \delta W) dt = \delta q^T M \dot{q} \Big|_0^t, \quad (1)$$

де $\delta U, \delta T, \delta W$ – варіації відповідно потенціальної енергії системи, її кінетичної енергії та роботи зовнішніх сил; q, \dot{q} – вектор узагальнених переміщень і швидкостей; t – час. Переміщення точок скінченного елемента стрижня при згині:

$$w = Nq, \quad (2)$$

де N – матриця інтерполяційних функцій, q – вузлові переміщення в узагальнених координатах.

Матриця інтерполяційних функцій

$$N = [N_1 \ N_2 \ N_3 \ N_4], \quad (3)$$

$$\text{де } N_1 = 1 - 3\frac{x^2}{a^2} + 2\frac{x^3}{a^3}, \quad N_2 = x - 2\frac{x^2}{a} + 2\frac{x^3}{a^3},$$

$$N_3 = 3\frac{x^2}{a^2} - 2\frac{x^3}{a^3}, \quad N_4 = -\frac{x^2}{a} + \frac{x^3}{a^3}.$$

Вузлові переміщення в цьому випадку будуть прогинами і кутами повороту на кінцях стрижня.

Деформації і напруження у перерізах стрижня закладаються такими рівняннями:

$$\varepsilon = Aw = ANq = Bq, \quad \sigma = C\varepsilon = CBq, \quad (4)$$

де $A = -z \frac{d^2}{dx^2}$, $C = E$, $B = -z \frac{d^2}{dx^2} N$, E – модуль пружності матеріалу.

З урахуванням (2), (4) варіації потенціальної та кінетичної енергії приймають вигляд:

$$\begin{aligned} \delta U &= -\int_V \delta \varepsilon^T \sigma dV = -\int_V \delta (Bq)^T C Bq dV = \\ &= -\delta q^T \left(\int_V B^T C B dV \right) q = -\delta q^T K q, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \delta T &= \int_V \delta \dot{w}^T \rho \dot{w} dV = \int_V (N\dot{q})^T \rho N\dot{q} dV = \\ &= \delta \dot{q}^T \left(\int_V N^T C N dV \right) \dot{q} = \delta \dot{q}^T M \dot{q}, \end{aligned} \quad (6)$$

де K і M матриці жорсткості і мас, ρ – густина матеріалу. Підставляючи (5), (6) в (1) отримаємо:

$$\int_0^t (-\delta q^T K q + \delta \dot{q}^T M + \delta W) dt = \delta q^T M \dot{q} \Big|_0^t, \quad (7)$$

Після інтегрування маємо рівняння:

$$\delta q^T \int_0^t \left(M \ddot{q} + K q + \frac{\delta W}{\delta q^T} \right) dt = 0. \quad (8)$$

Враховуючи незалежність варіацій δq^T , рівняння руху елемента:

$$M \ddot{q} + K q + \frac{\delta W}{\delta q^T} = 0. \quad (9)$$

$$M \ddot{q} + K q = Q(t), \quad (10)$$

де $Q(t)$ – вектор зовнішніх сил.

Рівняння (10) та вирази для матриць жорсткості (5) і мас (6) прийняті для будь-яких скінченних елементів, тобто є універсальними.

Для системи, яка складається з багатьох скінченних елементів будь-яка задача в кінцевому підсумку зводиться до системи рівнянь:

$$[K] \{q\} = \{R\}, \quad (11)$$

де $\{q\}$ – вектор переміщень всіх вузлів, $\{R\}$ – вектор вузлових навантажень.

Рівняння вільних коливань для скінченного елемента одержимо з (10) при умові, що зовнішнє навантаження відсутнє, тобто $Q(t)=0$:

$$M \ddot{w} + K w = 0. \quad (12)$$

Розв'язок рівняння (12), який відповідає гармонічним коливанням з частотою коливань ω та фазою ϕ .

$$w = w_0 \sin(\omega t + \phi), \quad (13)$$

де w_0 – вектор ординат переміщень мас системи відповідно частоті ω . Після підстановки (13) у рівняння (12) одержимо:

$$(K - \omega^2 M) w_0 = 0. \quad (14)$$

Рівняння (14) є еквівалентним системі n лінійних алгебраїчних рівнянь щодо компонентів вектора w_0 вільних коливань для скінченного елемента одержимо з (10) при умові, що зовнішнє навантаження відсутнє, тобто $Q(t) = 0$. При умові існування ненульових розв'язків, маємо:

$$\det [K - \omega^2 M] = 0. \quad (15)$$

Корені рівняння (15) $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ є власні частоти коливань системи. Визначивши корені рівняння (15), знаходимо відповідні вектори w і в остаточному результаті розв'язку маємо n значень власних частот коливань системи і n відповідних їм векторів.

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & w_{nn} \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Таким чином отримаємо так звану модальну матрицю W , яка фактично і описує форми коливань системи з відповідними значеннями власних частот коливань. Для рішення динамічних задач, рівняння у загальному випадку матиме вигляд [4]:

$$[M] \{\ddot{q}(t)\} + [C] \{\dot{q}(t)\} + [K] \{q(t)\} = \{0\}, \quad (17)$$

де $[C] = [C_{вн}] + [C_{зн}]$ – матриця коефіцієнтів дисипації, що відповідно враховує внутрішнє розсіювання [5, 6], обумовлене властивостями матеріалу скінченного елемента та зовнішнього, яке залежить від загальних характеристик і властивостей системи.

Розв'язок (17):

$$\{q(t)\} = \{A\} \cdot e^{\lambda t}, \quad (18)$$

де $\{A\}$ – вектор амплітудних значень вузлових переміщень системи.

Після підстановки (18) у (17) та відповідних спрощень отримаємо систему рівнянь:

$$(\lambda^2 [M] + \lambda [C] + [K]) \{A\} = \{0\}, \quad (19)$$

при умові що

$$\det [\lambda^2 [M] + \lambda [C] + [K]] = 0. \quad (20)$$

Розв'язок рівняння дає $2n$ коренів λ_n , серед яких є дійні корені $\lambda_n = -\alpha_n \pm a_n$ а також комплексні корені виду $\lambda_n = -\alpha_n \pm i\bar{\omega}_n$. Розрахунки за приведеними залежностями дозволили отримати загальну картину руху вібраційної машини та скоротити час на проведення досліджень.

Висновки

1. Розрахунок конструкцій чисельним методом дозволив ще на стадії проектування отримати загальну картину роботи складових конструктивної схеми машини та провести вдосконалення її з точки зору раціонального використання матеріалів.

2. Встановлено основні закони руху і залежності енергій вібраційної системи. Застосування такого підходу до реалізації нових проектів дозволить скоротити час на проведення експериментальних досліджень та знаходжень більш раціональних рішень при проектуванні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Research and the creation of energy-efficient vibration machines based on the stress-strain state of metal and technological environments. / I. Nazarenko, A. Sviderski, N. Ruchinski, O. Dedov. – The VIII International Conference HEAVY MACHINERY HM 2014, Kraljevo, Serbia, A, 2014. P.85 – 89.
2. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем. Навч. пос. / І.І.Назаренко. – К.: Слов», 2010. – 440 с.
3. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. / Я.Г. Пановко. – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
4. Bathe K. Finite Element Procedures./K. Bathe. – New-York: Prentice Hall, 1996. – 1037 p.
5. Montáns F., Bathe J. Computational issues in large strain elasto-plasticity: an algorithm for mixed hardening and plastic spin. /F. Montáns, J. Bathe// Int. J. Numer. Meth. Enging. – 2005. – № 63. – P. 159-196.
6. Weber G., Anand L. Finite deformation constitutive equations and a time integration procedure for isotropic hyperelastoviscoplastic solids. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 1990. –№ 79. – P. 173-202.
7. Патент України на корисну модель №117955, МПК В28В 1/08(2006.01). Вібраційна установка для формування бетонних і залізобетонних виробів / І.І. Назаренко, П.П. Халімон, О.П. Дєдов, О.С. Дьяченко. – № u2017 01755; заявл. 24.02.2017; опубл. 10.07.2017. – Бюл. №13/2017.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 27.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.08.2018

Теоретические исследования пространственных колебаний виброустановки с пневматическим вибровозбудителем колебаний

А. С. Дьяченко

Предметом изучения в статье является анализ современных численных методов построения и исследования математических моделей проектируемых вибрационных машин для определения их движения. **Целью** статьи является выбор метода построения математической модели вибрационной установки с пространственными колебаниями для уплотнения бетонных изделий и теоретическое исследование её движения, что обеспечит простоту и адекватность полученной модели, и также возможность её использования при дальнейших исследованиях и при решении других типов задач. **Задачи:** выполнить теоретические исследования моделирования и расчёта методом конечных элементов предложенной схемы вибрационной установки с пространственными колебаниями для уплотнения бетонных смесей. **Используемыми методами** является метод конечных элементов. **Получены следующие результаты.** Для построения математической модели, с точки зрения современного подхода эффективным является использование расчётных комплексов общего назначения, в основу каких положены численные расчёты и основные законы теории упругости, пластичности и т.п. Результатами расчёта конструкций численными методами (к примеру, методом конечных элементов) являются перемещения (деформации), усилия (напряжения) в узлах сетки конструктивных элементов конструкции. Приведены уравнения законов движения и зависимости энергий математической модели разработанной вибрационной установки на основе метода конечных элементов. **Выводы.** Расчёт конструкций при помощи численного метода позволяет ещё на стадии проектирования вибрационной установки получить перемещения и усилия в конструкции, амплитуды колебаний и общую картину работы составляющих конструктивной схемы машины и провести улучшение её с точки зрения рационального использования материалов и улучшения её рабочих характеристик. Установлены основные законы движения и зависимости энергий математической модели вибрационной системы на основе метода конечных элементов. Расчёты по приведённым зависимостям позволили получить общую картину движения вибрационной машины. Использование такого подхода к реализации новых проектов позволит укоротить время на проведения экспериментальных исследований и нахождения более рациональных конструктивных решений при их проектировании.

Ключевые слова: вибрационная установка, уплотнение, пространственные колебания, метод конечных элементов, эффективность, надёжность.

Theoretical researches of spatial vibrations of vibration installation with pneumatic vibrator

O. Diachenko

The **subject matter** of the article is the analysis of modern numerical methods for constructing and research of mathematical models of designed vibrating machines, to determine their motion. The **goal** of the article is to choose a method for constructing a mathematical model of a vibrating installation with spatial vibrations for compacting concrete products and a theoretical study of its movement, which will ensure the simplicity and adequacy of the model obtained, and also the possibility of its use in further research and in solving other types of problems. The **tasks** to perform theoretical studies of modeling and calculation by the finite elements method of the proposed scheme of a vibration installation with spatial oscillations for compacting concrete mixes. The **methods** used are: the finite element method. The following **results** were obtained: for the construction of a mathematical model, from the point of view of the modern approach it is effective to use computation complexes of general purpose, based on numerical calculations and the basic laws of the theory of elasticity, plasticity, and so on. The results of the calculation of structures by numerical methods (for example, by the finite element method) are movements (deformations), forces (stresses) in grid nodes of structural elements of a structure. Presented equations of the laws of motion and the dependence of the energies of the mathematical model of the developed vibration installation on the basis of the finite element method. **Conclusions.** Calculation of structures with the help of a numerical method allows even at the design stage of a vibration installation to obtain displacements and forces in the structure, the amplitude of the oscillations and the general picture of the operation of the constituents of the structural scheme of the machine and improve it in terms of rational use of materials and improve its performance. The basic laws of motion and energy dependences of the mathematical model of the vibrational system are established on the basis of the finite element method. Calculations by the given dependences made it possible to obtain a general picture of the motion of the vibrating machine. The use of such an approach to the implementation of new projects allows us to shorten the time for conducting experimental studies and finding more rational design solutions when designing them.

Keywords: vibration installation, compaction, spatial oscillations, finite element method, efficiency, reliability.

Ю. Я. Самохвалов¹, О. И. Бурба²

¹ Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

² Украинский институт научно-технической экспертизы и информации, Киев, Украина

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОЙ ФУНКЦИИ ХАРРИНГТОНА

Предметом исследований в статье являются процессы оценки научно-технического уровня научных и научно-технических проектов путем применения бальных шкал различной длины с использованием в качестве функции обобщенного показателя аддитивной свертки. **Целью** статьи является разработка методического подхода к оценке эффективности научных и научно-технических проектов, согласно которому в качестве интегрального показателя используется обобщенная функция Харрингтона. **Задача** статьи состоит в анализе существующих подходов к оценке научно-технического уровня научных и научно-технических проектов, методических аспектов использования обобщенного показателя эффективности и обоснование использования обобщенной функции Харрингтона. В ходе исследования использовались **методы** системного и сравнительного анализа, методы экспертного оценивания, математического и имитационного моделирования. Получены следующие **результаты**. Рассмотрена система критериев и показателей оценки, на основании которых определяется степень прогрессивности (новизны) и полезности результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Оценка научно-технического уровня проекта осуществляется экспертным путем и основывается на получении численных значений показателей новизны, значимости для науки и практики, объективности, доказательности и точности результатов с последующим вычислением интегрального (обобщенного) показателя по конкретному проекту. При этом предложено использование обобщенной функции Харрингтона, которая позволяет избежать использования аддитивного интегрального показателя при оценке научно-технического качества проектов. **Выводы**. Рассмотрено применение обобщенной функции Харрингтона в качестве интегрального показателя эффективности научных и научно-технических проектов. Это дает возможность, во-первых, избежать аддитивного интегрального показателя качества научных и научно-технических проектов. Во-вторых, для каждого показателя эффективности выбирать такую шкалу оценки, максимально согласована с объективными отношениями, которым подчинен соответствующий показатель. В-третьих, использование шкалы Харрингтона позволяет интерпретировать обобщенный показатель эффективности научных исследований модальными категориями термина "желательно".

Ключевые слова: научно-техническая экспертиза, эффективность научно-технических проектов, обобщенная функция Харрингтона, шкала оценивания.

Введение

Одним из приоритетных направлений на современном этапе развития общества является разработка и реализация научно-технических проектов, направленных на создание наукоемкой продукции с дополнительным экономическим эффектом. В связи с этим важное значение приобретает определение эффективности научных исследований, что является одним из существенных рычагов ускорения научно-технического прогресса, концентрации научного потенциала на наиболее важных направлениях развития страны и снижения распыления материальных и финансовых ресурсов. Модель финансирования научной сферы в Украине в значительной степени опирается на средства государственного бюджета. В связи с этим особое значение приобретает всесторонняя государственная научная и научно-техническая экспертиза (ННТЭ) научно-технического уровня научных исследований, кросс-секторальных инновационных проектов и других государственных программ, планируемых к выполнению за бюджетные средства или в рамках государственного заказа.

Постановка проблемы в общем виде. Задача определения эффективности научных исследований является сложной многокритериальной задачей, решаемой в условиях неполноты или неопределенности исходной информации [1]. В качестве критериев эффективности научных и научно-технических проектов, как правило, выступают их новизна, значи-

мость для науки и практики, объективность, доказательность и точность [2]. В свою очередь эти критерии декомпозируются на более детальные показатели научно-технического уровня проектов.

Для решения многокритериальных задач широко используются различные методы построения обобщенного показателя. Учитывая разнообразие тематик этих проектов [3] в качестве частных показателей выступают различные технические, технологические, социально-экономические и эстетические показатели. А так как эти показатели имеют различную физическую природу и, следовательно, различную размерность, важным моментом формирования обобщенного показателя является приведение частных показателей к безразмерному виду.

Такое преобразование, как правило, осуществляется с помощью соответствующих нормирующих шкал, причем, для каждого показателя вводится своя шкала. Выбрать такую шкалу достаточно трудно, так как она должна быть однотипной для всех частных показателей, иначе их нельзя будет сравнить. Кроме этого такой выбор должен быть обоснован, т.е. шкала измерения должна максимально быть согласована с объективными отношениями, которым подчинен соответствующий показатель.

Анализ последних исследований и публикаций. Практика проведения ННТЭ как в Украине, так и за рубежом позволяет отметить следующие подходы к использованию нормирующих шкал. Так при проведении экспертизы научных и научно-технических проек-

тов в Министерстве образования и науки Украины, а также в республике Беларусь частные показатели, как правило, оцениваются по бальным шкалам различной длины [4-5]. В Европейском Союзе показатели научно-технического уровня проектов, в рамках международной программы Горизонт-2020, оцениваются по единичной 5-ти бальной шкале [6].

В работах [7-11] рассмотрены методические подходы к оцениванию научного и научно-технического уровня НИР, в которых также используется метод бальных оценок с различными шкалами. Так, в [7-9] оценка научной и научно-технической результативности НИР производится с помощью системы взвешенных бальных оценок в разных интервалах в диапазоне от 0,1 до 1. В [10, 11] предлагается использовать шкалы от 1 до 10. Кроме этого для фундаментальных НИР рассчитывается только коэффициент научной результативности, а для поисковых работ также и коэффициент научно-технической результативности. Оценки коэффициентов задаются экспертами. Оценка научно-технической результативности прикладных НИР производится на основе сопоставления достигнутых в результате выполнения НИР технических параметров с базовыми. Общий коэффициент научно-технической результативности определяется в виде свертки с учетом весовых коэффициентов показателей.

Таким образом, при оценивании научно-технического уровня научных и научно-технических проектов в основном применяются линейные бальные шкалы различной длины, а в качестве функции обобщенного показателя используется аддитивная свертка. Это положение позволяет сделать следующие критические замечания. Во-первых, так как бальные шкалы различной длины имеют различную чувствительность, следовательно, имеют различную точность измерения, поэтому оценки по таким шкалам нельзя сравнивать, а следовательно и суммировать. Во-вторых, использование аддитивного обобщенного показателя не совсем правомерно, так как линейная свертка допускает взаимную компенсацию значений частных показателей. В-третьих, поскольку значения показателей научно-технического уровня проектов представляют собой оценки экспертов, то, согласно закона Вебера-Фехнера [12], психологическая оценка какого-либо показателя нелинейно связана с его величиной. Поэтому нормирующие преобразования объективно должны быть нелинейными, что обуславливает применение нелинейных шкал.

Учитывая вышесказанное, в качестве интегрального показателя эффективности научных исследований предлагается использовать обобщенную функцию желательности Харрингтона, что позволит устранить отмеченные недостатки. Это положение определяет **цель и основное содержание данной статьи.**

Изложение основного материала

Критерии и показатели эффективности. В статье рассматривается прогнозная оценка научных и научно-технических проектов, которая выполняется на стадии отбора программ фундаментальных и прикладных исследований, научно-технических программ и их заданий, а также отдельных инновационных проектов.

При этом под критериями оценки будем понимать признаки, на основании которых определяется степень прогрессивности (новизны) и полезности результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Результаты научных и научно-технических проектов оцениваются по критериям научно-технической и социальной эффективности.

В качестве критериев научно-технической эффективности, как правило, выступает новизна, значимость для науки и практики, объективность, доказательность и точность результатов [2, 4, 5].

Критерий новизны – наличие в результатах научной деятельности новых научных знаний (новой научной информации), которые могут характеризоваться значениями в пределах от уже известного до абсолютной новизны. Высшая степень новизны (абсолютная новизна, принципиально новая научная информация) соответствует в фундаментальных исследованиях открытиям, подтвержденным общественным признанием в форме экспертных заключений высококвалифицированных ученых в соответствующих областях знаний, а в прикладных исследованиях – изобретениям, промышленным образцам, полезным моделям, товарным знакам, сортам растений и другим объектам, на которые получены патенты. Все остальные степени (уровни) новизны определяются путем соотнесения полученных значений с абсолютной новизной и выражаются с помощью конкретных систем показателей.

Критерий значимости для науки и практики – масштабы влияния результатов научных исследований на науку, экономику, социальную сферу, экологию. Масштабы влияния характеризуются:

в фундаментальных исследованиях – значениями в пределах от распространения уже известных знаний и передового опыта до коренных преобразований в науке, технике, экономике, социальной и иных сферах;

в прикладных исследованиях – от использования на отдельном предприятии до применения в масштабе всего народного хозяйства;

в инновационной сфере – от реализации отдельных изделий или мелких партий на местном рынке до выхода на мировой рынок.

Критерий объективности – степень обоснованности результата научного исследования, которая может изменяться в пределах от несоответствия до полного соответствия оценки результату. Степень объективности может выявляться посредством учета квалификации и компетентности разработчиков и экспертов и по формам признания результатов.

Критерий доказательности – характер используемой информации, способы ее получения и обработки (использование научной литературы, опыта, экспериментов, испытаний, математических методов). Степень доказательности результатов может изменяться в пределах от неопределенности до возможности воспроизведения и применения на практике. Степень доказательности результатов определяется экспертным путем.

Критерий точности – соответствие модели (образца) стандартам (техническим условиям, техниче-

скому заданию, основным показателем бизнес-плана), которое может характеризоваться от несоответствия до полного соответствия. По критерию точности классифицируют, как правило, результаты прикладных исследований при создании действующих моделей и образцов новой техники и технологий, а также результаты исследований, включенных в инновационный процесс.

Степень соответствия критериям выражается через значения конкретных показателей научно-технического уровня. Показатели могут быть количественными (количество изобретений, патентов, лицензий, публикаций в наукометрических базах и т.д.) и качественными (принципиально новая информация, соответствие мировому научно-техническому уровню и т.д.). Качественные показатели могут также быть выражены количественно с использованием условных единиц (баллов, коэффициентов и других). Состав применяемых показателей определяется с учетом отрасли науки (естественные, технические и общественные науки) и вида научных исследований (фундаментальные, прикладные, инновационные разработки).

В [5] приведены примерные перечни результатов научной деятельности, показателей и признаков критериев новизны, значимости для науки и практики, объективности, доказательности и точности этих результатов в зависимости от сфер и видов научной деятельности. Причем для каждого критерия используется единая 5-ти бальная система показателей. Эти перечни могут выступать в качестве базовых при оценке результатов научных исследований в различных отраслях науки и при необходимости могут быть уточнены, дополнены и конкретизированы в зависимости от сфер и видов научной деятельности различных организаций.

Причем, состав показателей, характеризующих научно-технический уровень научных, научно-технических и инновационных разработок, имеющих выраженный прикладной характер, определяется с учётом вида и назначения оцениваемых систем, конкретных целей и задач их функционирования,

особенностей их разработки, изготовления и использования. Под социальной эффективностью понимается достижение социальных и экологических результатов научных, научно-технических и инновационных разработок. Эти результаты рассматриваются как источники косвенных (дополнительных) эффектов и учитываются при принятии решений о реализации и (или) государственной поддержке программ и инновационных проектов.

Экспертная оценка социальной эффективности НТП и инновационных проектов может быть двух видов: оценка социально-целевой направленности и оценка социальных последствий программы (инновационного проекта). В первом случае социальные оценки входят в состав целей НТП и инновационных проектов, во втором – как вторичные, латентные последствия, возникающие в результате их реализации.

Оценка социальной эффективности НТП и инновационных проектов отражает вклад результатов разработок в улучшение социальной среды и, в конечном счете, в повышение качества жизни людей и характеризуется показателями: уровня и образа жизни; здоровья и продолжительности жизни [2]. Там же приведены показатели оценки экологических результатов НТП и инновационных проектов. К таким показателям относятся:

выбросы (сбросы) загрязняющих веществ в окружающую среду, размещение отходов в окружающей среде, воздействие на земельные ресурсы, лесные ресурсы, животный мир;

безотходность производства за счет замкнутого технологического цикла переработки ресурсов;

приближение к биосферосовместимому типу технологий.

Таким образом, систему критериев оценки эффективности научных (фундаментальных) исследований, научно-технических (прикладных) и инновационных разработок можно представить следующей иерархической структурой (рис. 1). На рис. 2 приведен пример показателей оценки научнотехнической эффективности результатов прикладных исследований.



Рис. 1. Структура системы критериев оценки эффективности исследований

Оценка научно-технической эффективности научно-технической разработки	
Новизна	Объект новой техники по всем параметрами выше мирового уровня
	Объект новой техники с основными параметрами выше мирового уровня
	Объект новой техники с основными параметрами мирового уровня
	Усовершенствованный объект соответствует отечественным аналогам
	Создан объект новой техники путем усовершенствования существующего
Значимость	Межотраслевое значение, может найти применение в промышленности
	Применим при производстве продукции в нескольких отраслях промышленности
	Может найти применение на всех предприятиях отрасли
	Может найти применение на нескольких предприятиях
	Для использования только на конкретном предприятии
Доказательность	На основе теоретических исследований и опытной партии
	Теоретические исследования, испытания образца, рабочая документация
	На основе теоретических исследований и испытаний образца
	На основе теоретических исследований и испытаний макета
	На основе теоретических исследований и испытаний модели
Объективность	Прошел государственную экспертизу
	Получен с участием научных работников высшей квалификации
	Прошел необходимую экспертизу
	Рассмотрен и оценен секцией Ученого (научно-технического) совета
	Получен без участия научных работников высшей квалификации
Точность	Образец соответствует ТЗ, гос. и международному стандарту
	Образец соответствует ТЗ, гос. стандарту и не требует доработки
	Образец соответствует ТЗ, гос. стандарту, но требует доработки
	Образец по основным параметрам соответствует техническому заданию
	Образец не соответствует техническому заданию и требует переработки

Рис. 2. Показатели оценки научно-технической эффективности научных исследований

И, наконец, показателями оценки социальной эффективности научных исследований для всех критериев являются: низкий, средний, высокий.

Оценка проектов. Основной целью оценки эффективности научных, научно-технических и инновационных разработок (проектов) является определение их научно-технического уровня и конкурентноспособности, соответствия принципам наилучших доступных технологий, достижимости поставленных научно-технических параметров, соответствия расходов и сроков разработки рыночным условиям [2]. Оценка научно-технического уровня проекта осуществляется экспертным путем и основывается на получении численных значений показателей новизны, значимости для науки и практики, объективности, доказательности и точности результатов и вычисления интегрального (обобщенного) показателя по конкретному проекту.

Одним из наиболее удобных способов построения интегрального показателя является обобщенная функция желательности Харрингтона [13]. В основе построения этой функции лежит преобразование натуральных значений частных показателей различной физической природы и размерности в единую безразмерную шкалу желательности (предпочтительности).

Шкала желательности Харрингтона является универсальной психофизической вербально-числовой шкалой, которая применяется преимущественно в случаях, когда оценки носят субъективный характер, в частности, при экспертном оценивании и позволяет формализовать имеющуюся у эксперта систему предпочтений. Эта шкала задается функцией желательности (кривой желательности) Харрингтона, которая устанавливает соответствие между натуральными значениями показателей в физических шкалах и психофизическими параметрами – субъективными лингвистическими оценками «желательности» этих значений для функции, объекта, системы или человека. В табл. 1 приведена связь между количественными значениями безразмерной шкалы и психологическим восприятием человека. При этом нижняя граница каждого интервала значений включается в соответствующий интервал. Практически часто ограничиваются тремя градациями шкалы Харрингтона, отвечающим лингвистическим категориям «низкая», «удовлетворительная» (средняя), «высокая» (хорошая). В этом случае области, соответствующие уровням «низкая», «удовлетворительная» и «высокая» характеризуются интервалами (0,00 – 0,37), (0,37 – 0,69) и (0,69 – 1,00) соответственно.

Таблиця 1 – Вербально-числовая шкала Харрингтона

Лингвистическая оценка желательности	Интервалы значений функции желательности
Очень высокая	0,8 – 1,0
Высокая	0,63 – 0,8
Удовлетворительная	0,37 – 0,63
Низкая	0,2 – 0,37
Очень низкая	0,0 – 0,2

Первоначальным этапом построения обобщенной функции желательности Харрингтона является задание границ допустимых значений (y) для всех частных показателей. Такие границы могут быть установлены, например, на основе инструктивных документов, стандартов, норм и правил или экспертным путем, если такие данные отсутствуют. При этом ограничения могут быть односторонние или двусторонние. Если улучшение общей характеристики происходит только при однонаправленном изменении показателя (уменьшении или увеличении) – ограничение носит односторонний характер в виде $y_i \leq y_{\max}$ или $y_i \geq y_{\min}$. Если изменение показателя вероятно в обе стороны от оптимального значения, то ограничение носит двусторонний характер $y_{\min} \leq y_i \leq y_{\max}$.

При одностороннем ограничении значению желательности 0,37 соответствует y_{\min} или y_{\max} (задан нижний или верхний предел соответственно), при двустороннем ограничении – и y_{\min} и y_{\max} . Примером показателя, для которого устанавливается одностороннее ограничение, является время реакции – чем меньше время реакции, тем значение показателя желательности больше, а примером показателя с двусторонним ограничением, является величина артериального давления – ее оптимальные значения лежат в определенном диапазоне, а повышение или понижение значений относительно оптимума приводят к снижению показателя желательности.

Для одностороннего ограничения в случае «позитивных» показателей, для которых характерна монотонная и возрастающая зависимость желательности от их числовых значений, функция Харрингтона имеет следующий сигмоидальный вид (рис. 3). Эта функция задается формулой:

$$d = \exp(-\exp(-y')), \quad (1)$$

где y' – шкала кодированных значений частных показателей y , d – шкала желательности.

Из рис. 3 видно, что функция желательности на участке «удовлетворительно» близка к линейной, а в областях желательностей близких к 0 и 1 проявляется ее нелинейность. То есть, ее чувствительность в этих областях существенно ниже, чем в средней зоне, что вполне согласуется с законом Вебера-Фехнера. Интервал от -2 до 5 на шкале кодированных значений частных показателей является промежуток эффективных значений [14]. Нормирование количественных значений частных показателей

осуществляется следующим образом. Каждый показатель y пересчитывается в числовые отметки в диапазоне от -2 до +5. При этом если «наибольшему» из всех значений частных показателей «присвоить» отметку «+5», а «наименьшему» – «-2», то все остальные расположатся между ними, образуя масштабируемую последовательность значений y'_i .

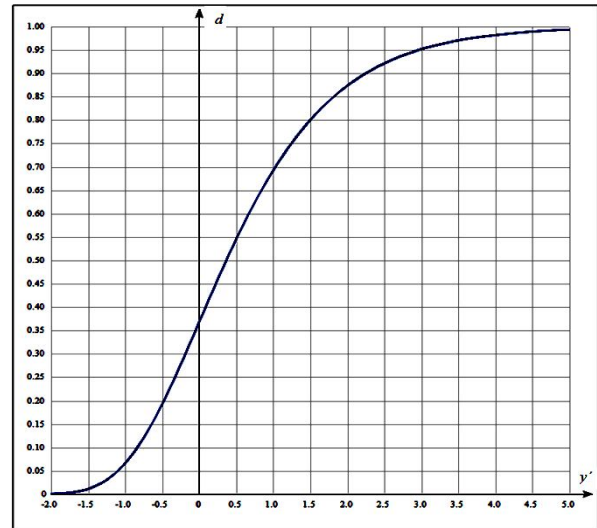


Рис. 3. График функции желательности Харрингтона с односторонним ограничением

Такое преобразование можно осуществить, например, по следующей формуле:

$$y' = -2 + 7 \cdot (y - y_{\min}) / (y_{\max} - y_{\min}), \quad (2)$$

где y_{\min} и y_{\max} – нижняя и верхняя границы области изменения показателя y .

При этом при переводе кодированных значений y'_i частных показателей в частные желательности d_i , значение $d_i = 0$ будет соответствовать абсолютно неприемлемому уровню данного показателя, значение $d_i = 1$ – самому лучшему его значению, значение $d_i = 0,37$ обычно соответствует границе допустимых значений. В табл. 2 приведены табулированные значения функции желательности.

Таблиця 2 – Значения функции желательности

y'_i	-2,0	-1,5	-1	-0,5	0
d_i	0,001	0,011	0,066	0,192	0,368
y'_i	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
d_i	0,545	0,692	0,800	0,873	0,921
y'_i	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
d_i	0,951	0,970	0,982	0,989	0,993

При двустороннем ограничении функция желательности задается формулой:

$$d = \exp(-|y'|^n), \quad (3)$$

где y' – кодированное значение частного параметра y , n – положительное число не обязательно целое.

Чтобы функция (3) была построена по месту расположения левой и правой границ необходимо значения y' вычислять по формуле:

$$y' = (2y - y_{\max} - y_{\min}) / (y_{\max} - y_{\min}) \quad (4)$$

На рис. 4 представлен график функции желательности с двусторонним ограничением для $n = 2$.

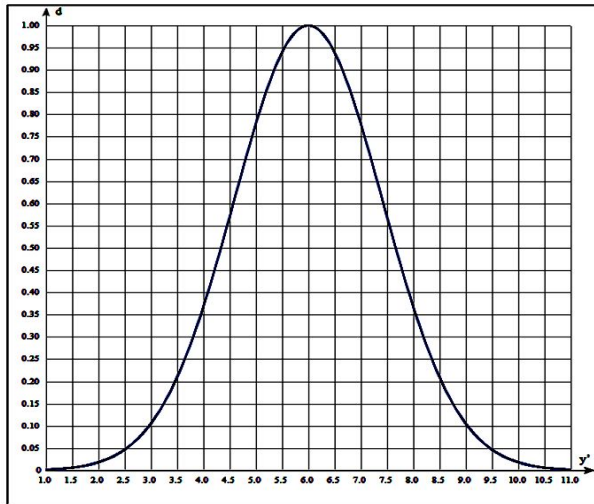


Рис. 4. График функции желательности с двусторонним ограничением

В общем, показатель n можно вычислить по формуле $n = (\ln \ln(1/d)) / (\ln |y'|)$, если задать некоторому значению y значение d (предпочтительно в интервале $0.6 < d < 0.9$, обычно $d = 0.7$). Задавая при помощи контрольной точки крутизну кривой желательности, можно учесть особую важность отдельных показателей. Для этих показателей n будет большим, и незначительное их изменение вблизи границ будет приводить к резкому изменению желательности. Показатель степени n определяет наклон кривой, и когда n становится большим, кривая приближается к своей предельной форме: $d = 0$ вне заданных пределов и $d = 1$ между этими пределами.

После вычисления всех частных желательностей d_i осуществляется их свертка в обобщенный критерий D – обобщенная функция желательности. В случае отсутствия весовых коэффициентов эта функция задается формулой

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i} \quad (6)$$

Для обобщенного показателя используется та же шкала предпочтительности (табл. 1), что и для частных показателей. Если устанавливаются весовые коэффициенты частных критериев, то обобщенный критерий рассчитывается как взвешенное среднее геометрическое:

$$D = \prod_{i=1}^n d_i^{\alpha_i} \quad (7)$$

где α_i – вес частной желательности d_i , причем $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ [15].

Обобщенная функция желательности весьма чувствительна к малым значениям частных желательностей и превращается в ноль, если хотя бы одно из отдельных свойств получает нулевую оценку. В то же время она равна единице, когда все частные желательности также равны единице. Когда столь жесткие свойства обобщенного критерия являются неприемлемыми, тогда нужно использовать другие способы обобщения, например, аддитивную свертку.

Таким образом, процесс оценки научно-технического уровня проектов на основе обобщенной функции желательности Харрингтона состоит из следующих этапов:

1. Определение перечня частных критериев и показателей оценки.
2. Установление границы допустимых значений для всех показателей.
3. Вычисление частных желательностей.
4. Вычисление обобщенной функции желательности.

Поскольку примеры более доходчивы, чем общие рассуждения, рассмотрим один из них.

На примере оценивания заявок на участие в конкурсе МОН Украины на финансирование научно-технических разработок за государственным заказом рассмотрим существующий и предлагаемый подходы.

Согласно требованиям к научно-техническим разработкам за государственным заказом в качестве показателей оценивания используются такие характеристики [4]: соответствие планируемого научно-технического результата приоритетным государственным потребностям; практическая ценность планируемых научно-технических результатов; научная новизна планируемых результатов; уровень научно-технической продукции; степень готовности результатов к внедрению; наличие научного задела и опыта у коллектива авторов; степень детализации календарного плана работ; реалистичность путей и способов внедрения результатов работы в практику; обоснованность финансовых показателей проекта. В табл. 3 приведена карточка экспертного оценивания заявок. В табл. 4 приведены результаты экспертного оценивания трех заявок Z_1, Z_2 и Z_3 .

В рамках существующего подхода ранжирование заявок осуществляется на основе их общего балла, который вычисляется как сумма баллов частных показателей. Исходя из этого, имеем $Z_3 \succ Z_1 \succ Z_2$, где \succ – символ предпочтения.

Теперь оценим эти заявки с помощью обобщенной функции Харрингтона. При этом для “чистоты эксперимента” будем использовать те же оценки частных показателей. В табл. 5 приведены оценки заявок и их границы y_{\min}, y_{\max} .

В табл. 6 приведены кодированные значения частных показателей заявок Z_1, Z_2 и Z_3 , полученные по формуле (2). Причем значения всех показателей имеют односторонние ограничения. В табл. 7, согласно (1) и (6), приведены значения d_i частных желательностей и значения D обобщенной функции желательности для каждой заявки с учетом равных весов частных показателей заявок.

Таблица 3 – Карточка экспертного оценивания заявок

Карточка экспертного оценивания заявки на участие в конкурсе научно-технических разработок за государственным заказом		Оценка (баллы)
1	Соответствие запланированного научно-технического (прикладного) результата приоритетным гос. потребностям	
1.1	Соответствует полностью.	5
1.2	Соответствует частично.	3
1.3	Не соответствует.	0
2	Практическая ценность планируемых научно-технических результатов	
2.1	Результаты НТР имеют межотраслевое значение, могут найти применение в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и в других отраслях народного хозяйства	7
2.2	Результаты НТР применимы при производстве продукции в нескольких отраслях промышленности	5
2.3	Результаты НТР могут найти применение на всех предприятиях отрасли	3
2.4	Результаты НТР могут найти применение на нескольких предприятиях, использующих однотипное оборудование	2
2.5	Результаты НТР предназначены для использования только на конкретном предприятии (без тиражирования на другие предприятия)	1
2.6	Результаты НТР не имеют практической ценности для экономики и общества.	0
3	Научная новизна, наличие новых технических/технологических решений	
3.1	Создан уникальный объект новой техники (способ, технол. процесс), получены принципиально новые результаты	6
3.2	Некоторые общие закономерности, методы, способы, позволяющие создать принципиально новую продукцию	4
3.3	Положительное решение на основе простых обобщений, анализа связей факторов, распространение известных принципов на новые объекты	2
3.4	Описание отдельных факторов, распространение ранее полученных результатов	0
4	Оценка уровня научно-технической продукции, которая ожидается в результате выполнения НТР	
4.1	Объект новой техники по всем параметрами выше мирового уровня	8
4.2	Объект новой техники с новыми параметрами выше мирового уровня	7
4.3	Объект новой техники с новыми параметрами мирового уровня	5
4.4	Усовершенствованный объект соответствует отечественным аналогам	3
4.5	Создан объект новой техники путем усовершенствования существующего на основании известных решений. Аналогичная продукция существует.	1
4.6	Результаты НТР по основным параметрам уступают аналогам.	0
5	Степень готовности результатов к внедрению	
5.1	Результат предполагает создание, изготовление опытных образцов продукции	9
5.2	Результат предполагает создание и испытание опытного образца изделия, материала, технологии, изготовленного по рабочей документации	7
5.3	Результат предполагает разработку и испытания экспериментального образца изделия, материала, технологии	5
5.4	Результат предполагает разработку макета изделия, материала, технологии	3
5.5	Результат предполагает создание экспериментальной модели изделия, материала, технологии	2
5.6	Результат предполагает только теоретические исследования	0
6	Наличие научного задела и опыта у коллектива авторов за тематикой НТР	
6.1	Авторы имеют значительный научный потенциал и опыт по тематике НТР	4
6.2	Авторы имеют определенный (незначительный) задел и опыт по определенной тематике.	2
6.3	Авторы не имеют задела и опыта по тематике НТР.	0
7	Степень детализации календарного плана работ.	
7.1	Содержание этапов выполнения работ календарного плана детализированное и соответствует требованиям нормативов и стандартов в соответствующей сфере.	5
7.2	Содержание этапов выполнения работ частично детализированно, но не определена научно-техническая продукция, которую получит заказчик по результатам каждого из этапов выполнения работ кроме научного отчета.	3
7.3	Содержание этапов работ и состав научно-технической продукции не детализировано, указано формально.	1
7.4	Календарный план отсутствует.	0
8	Оценка реалистичности путей и способов внедрения результатов работы в практику результатов выполнения НТР	
8.1	Пути и способы внедрения в практику научно-технической продукции подробно описаны и реалистичны.	5
8.2	Пути и способы внедрения научно-технической продукции описаны не детально.	3
8.3	Приведенные в заявке пути и способы внедрения научно-технической продукции не описаны или нереальны.	0
9	Обоснованность финансовых показателей проекта	
9.1	Затраты на реализацию проекта обоснованы	4
9.2	Затраты на реализацию проекта обоснованы частично	2
9.3	Затраты на реализацию проекта не обоснованы	0

Таблица 4 – Результаты экспертного оценивания

№	Показатель	Заявка		
		Z ₁	Z ₂	Z ₃
1	Соответствие планируемого научно-технического результата приоритетным государственным потребностям	5	3	5
2	Практическая ценность планируемых научно-технических результатов	7	2	7
3	Научная новизна планируемых результатов	4	4	6
4	Уровень научно-технической продукции	6	7	8
5	Степень готовности результатов к внедрению	7	3	5
6	Наличие научного задела и опыта у коллектива авторов	4	2	4
7	Степень детализации календарного плана работ	3	5	3
8	Реалистичность путей и способов внедрения результатов работы	3	0	5
9	Обоснованность финансовых показателей проекта	4	2	2
	Общий балл	43	28	45

Таблиця 5 – Оценки заявок и их границы

№	Показатель	Заявка			Y_{\min}	Y_{\max}
		Z_1	Z_2	Z_3		
1	Соответствие планируемого научно-технического результата приоритетным гос. потребностям	5	3	5	0	5
2	Практическая ценность планируемых научно-технических результатов	7	2	7	0	7
3	Научная новизна планируемых результатов	4	4	6	0	6
4	Уровень научно-технической продукции	6	7	8	0	8
5	Степень готовности результатов к внедрению	7	3	5	0	9
6	Наличие научного задела и опыта у коллектива авторов	4	2	4	0	4
7	Степень детализации календарного плана работ	3	5	3	0	5
8	Реалистичность путей и способов внедрения результатов работы в практику	3	0	5	0	5
9	Обоснованность финансовых показателей проекта	4	2	2	0	4

Таблиця 6 – Кодированные значения частных показателей заявок

Заявка	y'_1	y'_2	y'_3	y'_4	y'_5	y'_6	y'_7	y'_8	y'_9
Z_1	5	5	2,67	3,25	3,447	5	2,2	2,2	5
Z_2	2,2	0	2,67	4,125	0,337	1,5	5	-2	1,5
Z_3	5	5	5	5	1,89	5	2,2	5	1,5

Таблиця 7 – Значения частных желательностей и обобщенной функции Харрингтона

Заявка	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	D
Z_1	0,99	0,99	0,93	0,96	0,97	0,99	0,89	0,89	0,99	0,958
Z_2	0,89	0,37	0,93	0,98	0,49	0,8	0,99	0,0	0,8	0,0
Z_3	0,99	0,99	0,99	0,99	0,86	0,99	0,89	0,99	0,8	0,943

Имеем $Z_1 > Z_3 > Z_2$. Изменение порядка доминирования заявок произошло из-за особенностей существующего подхода, которые привели к искажению результата ранжирования. Эти особенности, как было отмечено, заключаются в том, что оценки частных показателей полученные по шкалам различной длины суммировать нельзя, так как линейная свертка допускает взаимную компенсацию значений частных показателей – низкие оценки по одним показателем могут быть компенсированы высокими оценками по другим.

Выводы

Рассмотрено применение обобщенной функции Харрингтона в качестве интегрального показателя эффективности научных и научно-технических проектов. Это дает возможность, во-первых, уйти от

аддитивного интегрального показателя качества научных и научно-технических проектов Во-вторых, для каждого показателя эффективности выбирать такую шкалу оценки, которая максимально согласована с объективными отношениями, которым подчинен соответствующий показатель. В-третьих, использование шкалы Харрингтона позволяет интерпретировать обобщенный показатель эффективности научных исследований модальными категориями термина “желательно”.

Рассмотренные методические аспекты могут быть использованы при планировании и проведении оценки эффективности выполнения государственных программ научных исследований; научно-технических программ и их отдельных заданий; мероприятий по научному обеспечению государственных программ и инновационных проектов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Деменков, Н. П. Программное обеспечение для оценки эффективности разнотипных научно-исследовательских работ / Н.П. Деменков // Инженерный вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2013. - № 11. - С. 1011-1024.
2. Методические рекомендации по оценке эффективности научных, научно-технических и инновационных разработок и их внедрения / Постановление Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 20 апреля 2017 г. № 9 // Электронный ресурс. Режим доступа: http://gost-snip.su/document/stb_1078_97_otsenka_nauchno_tehnicheskogo_urovnya_i_konkurentosposobno
3. Закон Украины "О приоритетных направлениях развития науки и техники" / Электронный ресурс. Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2623-14>
4. Приказ Министерства образования и науки Украины от 09.02.2017 № 192 / Электронный ресурс. Режим доступа <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0339-17>
5. Постановление Национальной академии наук Беларуси и Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 29.10.2014 №6/17 / Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.gknt.gov.by/upload/iblock/Post_17_2014.pdf
6. Горизонт 2020. Руководство по грантам. Представление и оценка предложений / Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.lp.edu.ua/sites/default/files/book/2016/3368/h2020-guide-pse_en.pdf
7. Гольдштейн, Г.Я. Стратегический инновационный менеджмент. Учебное пособие. / Г.Я. Гольдштейн – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004- 267 с. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.aup.ru/books/m92/10_3.htm
8. Оцінка науково-технічного рівня НДР / Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.novaecologia.org/voecos-462-1.html>
9. Іванілов, І.М. Визначення науково-технічної ефективності результатів наукових досліджень з позиції сучасної економетрії / І.М. Іванілов, О.Г. Приймаков, Т.М. Сагайдачна // Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_136/st%209.pdf

10. Карпов, В.А. Методика оцінки ефективності науково-дослідних робіт / В.А. Карпов, Т.С. Корольова, А.З. Підгорний - Одеса: ОДЕУ, ротапінт, 2005 р. – 19 с.
11. Самохвалов, Ю.Я. Экспертное оценивание. Методический аспект / Ю.Я. Самохвалов, Е.М. Науменко. – К.: ДУИКТ, 2007. – 262 с.
12. Шапарь, В.Б. Новейший психологический словарь / В.Б. Шапарь, В.Е. Рассоха, О.В. Шапарь; под. общ. ред. В.Б. Шапаря. – Изд. 4-е – Ростов н/Д. Феникс, 2009, с. 144.
13. Harrington, E.C. The desirable function // Industrial Quality Control. – 1965. –Vol. 21. No. 10. – pp. 494–498.
14. Пичкалев, А.В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств / Исследования наукограда. – 2012. – № 1. – С. 25–28.
15. Ахназарова, С. Л., Гордеев Л. С. Использование функции желательности Харрингтона при решении оптимизационных задач химической технологии: учеб.-мет. пособие / С.Л. Ахназарова, Л.С. Гордеев. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2003. - 76 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 20.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 01.08.2018

Оцінка ефективності наукових і науково-технічних проєктів на основі узагальненої функції Харрінгтона

Ю. Я. Самохвалов, О. І. Бурба

Предметом досліджень в статті є процеси оцінки науково-технічного рівня наукових і науково-технічних проєктів шляхом застосування бальних шкал різної довжини з використанням в якості опції узагальненого показника адитивної згортки. **Метою статті** є розробка методичного підходу до оцінки ефективності наукових і науково-технічних проєктів, згідно з яким в якості інтегрального показника використовується узагальнена функція Харрінгтона. **Завдання статті** полягає в аналізі існуючих підходів до оцінки науково-технічного рівня наукових і науково-технічних проєктів, методичних аспектів використання узагальненого показника ефективності та обґрунтування використання узагальненої функції Харрінгтона. В ході дослідження використовувалися методи системного та порівняльного аналізу, методи експертного оцінювання, математичного та імітаційного моделювання. **Отримані наступні результати.** Розглянуто систему критеріїв і показників оцінки, на підставі яких визначається ступінь прогресивності (новизни) і корисності результатів науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт. Оцінка науково-технічного рівня проєкту здійснюється експертним шляхом і ґрунтується на отриманні чисельних значень показників новизни, значущості для науки і практики, об'єктивності, доказовості і точності результатів з подальшим обчисленням інтегрального (узагальненого) показника за конкретним проєктом. При цьому запропоновано використання узагальненої функції Харрінгтона, яка дозволяє уникнути використання адитивного інтегрального показника при оцінці науково-технічної якості проєктів. **Висновки.** Розглянуто застосування узагальненої функції Харрінгтона в якості інтегрального показника ефективності наукових і науково-технічних проєктів. Це дає можливість, по-перше, уникнути адитивного інтегрального показника якості наукових і науково-технічних проєктів. По-друге, для кожного показника ефективності вибрати таку шкалу оцінки, максимально узгоджена з об'єктивними відносинами, яким підпорядкований відповідний показник. По-третє, використання шкали Харрінгтона дозволяє інтерпретувати узагальнений показник ефективності наукових дослідження модальними категоріями терміна "бажано".

Ключові слова: науково-технічна експертиза, ефективність науково-технічних проєктів, узагальнена функція Харрінгтона, шкала оцінювання.

Assessment of the efficiency of scientific and scientific and technical projects based on the Harrington generalized function

Yu. Samokhvalov, O. Burba

The **subject** of research in the article are the processes of assessing the scientific and technical level of scientific and technical projects by applying ball scales of various lengths, using as a function the generalized index of additive convolution. The **goal** of the article is to develop a methodical approach to assessing the effectiveness of scientific and technical projects, according to which the generalized Harrington function is used as an integral indicator. The **task** of the article is to analyze the existing approaches to the evaluation of the scientific and technical level of scientific and technical projects, the methodological aspects of using the generalized efficiency index and the rationale for using the generalized Harrington function. During the research **methods** of system and comparative analysis, methods of expert evaluation, mathematical and simulation modeling were used. The following **results** are obtained. The system of evaluation criteria and indicators is considered, on the basis of which the degree of progressiveness (novelty) and utility of the results of research and development work is determined. The evaluation of the scientific and technical level of the project is carried out expertly and is based on obtaining numerical values of novelty indicators, significance for science and practice, objectivity, evidence and accuracy of results with subsequent calculation of the integral (generalized) indicator for a specific project. In this case, the use of Harrington's generalized function is suggested, which avoids the use of an additive integral index in assessing the scientific and technical quality of projects. **Conclusions.** The application of Harrington's generalized function as an integral indicator of the effectiveness of scientific and scientific and technical projects is considered. This makes it possible, first, to avoid the additive integral indicator of the quality of scientific and technical projects. Secondly, for each efficiency index, to choose such a scale of assessment, is maximally consistent with the objective relations to which the corresponding indicator is subordinate. Thirdly, the use of the Harrington scale makes it possible to interpret the general indicator of the effectiveness of scientific research by modal categories of the term "desirable".

Keywords: scientific and technical expertise, efficiency of scientific and technical projects, generalized Harrington function, scale of evaluation.

О. В. Чала

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

МЕТОД ІЄРАРХІЧНОГО ВИВЕДЕННЯ В БАЗІ ЗНАНЬ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧОЇ СИСТЕМИ В ПАРАДИГМІ «ENTERPRISE 2.0»

Предметом вивчення в статті є процеси використання знань в рамках парадигми функціонування підприємства «Enterprise 2.0», яка передбачає створення комплексних об'єктів управління в його межах. **Мета** полягає в розробці методу ієрархічного виведення на основі темпоральних залежностей в базі знань для побудови набору можливих послідовностей дій у поточному стані об'єкту управління на різних рівнях організаційної ієрархії підприємства. **Задачі:** розробити ієрархію контекстно-орієнтованих темпоральних залежностей для представлення знань про поведінку об'єкту управління на різних рівнях організаційної ієрархії; розробити метод ймовірного ієрархічного виведення в базі знань на основі інформації про поведінку об'єкту управління у вигляді послідовностей подій. **Методами**, що використовуються, є методи визначення ваг правил в марківській логічній мережі, методи виведення на основі представлення знань в марківській логічній мережі. Отримані такі **результати**. Виділені темпоральні правила, що пов'язують атрибути подій журналу об'єкту управління. Сформована ієрархія таких правил на основі групування по визначеним атрибутам подій. Розроблено метод ймовірного ієрархічного виведення, що використовує темпоральні правила для формування допустимих послідовностей виконання дій на відповідному рівні ієрархії. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: розроблена модель ієрархічного представлення темпоральних залежностей у вигляді правил для послідовних дій на об'єкті управління та узагальнюючих правил виконання цільових дій. Розроблене представлення дозволяє деталізувати знання про поведінку об'єкту управління для різних рівнів організаційної ієрархії і тим самим підвищити ефективність управління підприємством. Запропоновано метод ієрархічного виведення в базі знань підприємства в парадигмі «Enterprise 2.0». Метод передбачає формування ієрархії упорядкованих за ймовірністю реалізації можливих варіантів прогнозованої поведінки об'єкту управління. Метод дозволяє підвищити ефективність управління підприємством на основі вибору із множини можливих варіантів поведінки із заданим рівнем деталізації для об'єкту управління.

Ключові слова: парадигма «Enterprise 2.0»; марківські логічні мережі; темпоральні правила; логічне виведення; журнал подій.

Вступ

Сучасна парадигма управління підприємством «Enterprise 2.0» орієнтована на одночасне скорочення строків і витрат на виробництво продукції. Вона передбачає поєднання функціонального і процесного підходів до управління [1]. Функціональне управління засноване на вертикальній декомпозиції діяльності підприємства у вигляді ієрархії функцій. Надалі ці функції реалізуються за допомогою колективної роботи на різних рівнях організаційної ієрархії підприємства. Процесне управління засноване на описі діяльності підприємства як сукупності бізнес-процесів і реалізується з використанням моделей цих процесів. Модель процесу містить набір можливих послідовностей дій, які забезпечують виробництво продукції і послуг підприємства, із зазначенням умов виконання цих дій.

Об'єкт управління у відповідності до наведеної парадигми об'єднує фрагменти колективної роботи виконавців, а також апріорно задані послідовності дій з виробництва продукції або надання послуг. В рамках колективної роботи здійснюється прийняття рішень по вибору щодо реалізації тієї чи іншої послідовності дій. Вибір дій здійснюється кваліфікованими виконавцями на основі своїх персональних знань [2] з урахуванням поточного стану предметної області, а також зовнішніх впливів. Зазначені персональні знання лише частково піддаються формалізації, тому в рамках парадигми «Enterprise 2.0» для обміну такими знаннями традиційно використовуються корпоративні портали, блоги, соціальні мережі, які в сукупності розглядаються як неформалізо-

вана база знань підприємства. Механізм соціалізації, що використовується при такій передачі, вимагає значних витрат часу на узагальнення і перетворення знань, що ускладнює оперативний реінжиніринг знання-ємних процесів в результаті їх модифікації співробітниками під час виконання.

Викладене свідчить про актуальність автоматизованої побудови і поповнення баз знань в реальному часі і подальшого використання механізмів виведення при формуванні допустимих варіантів поведінки об'єкту управління на підприємстві в разі втручання виконавців в хід робіт.

На сьогодні методи та технології автоматизованої побудови баз знань призначені в першу чергу для виявлення залежностей в великих базах даних в мережі Інтернет [3]. Ключова особливість цих методів полягає в тому, що вони призначені для пошуку статичних залежностей в обраній предметній області [4]. У той же час, при вирішенні завдань управління підприємством в рамках парадигми «Enterprise 2.0» необхідно враховувати темпоральний аспект використовуваних залежностей і постійно, синхронно з ходом виконання відповідних бізнес-процесів, оновлювати і поповнювати ці залежності.

Інформація про поведінку процесів, що дозволяє отримати знання про послідовність його станів і залежності між цими станами, представлена в журналах подій розглянутих процесів. Існуючі методи аналізу журналів подій орієнтовані на побудову моделей таких процесів «як є» для подальшого порівняння з його апріорної моделлю згідно з технологією process mining [5, 6]. Виділені в результаті аналізу журналу каузальні залежності застосовуються в

першу чергу при обробці вихідних даних для задач інтелектуального аналізу процесів [7].

Загальний метод автоматизованої побудови бази знань на основі аналізу журналів подій і виділення залежностей між цими подіями запропонований в роботі [8]. Даний метод використовує представлення знань на основі марківських логічних мереж [9]. Методи імовірнісного виведення на базі марківських логічних мереж представлені в роботах [10]. Дані методи призначені в першу чергу для знаходження ймовірностей статичних залежностей в базі знань і не враховують темпоральний аспект, що не дозволяє прогнозувати поведінку розглянутих процесів. Таким чином, загальна задача прогнозування поведінки процесу в нестандартній ситуації, викликаній втручанням виконавців, вимагає свого вирішення. Особливість даного завдання полягає в тому, що рішення щодо зміни послідовності робіт процесу можуть бути прийняті в ієрархічному контексті, що відповідає різним рівням організаційної ієрархії підприємства.

Метою статті є розробка методу ієрархічного виведення з використанням темпоральних залежностей в базі знань для побудови набору можливих послідовностей дій на різних рівнях організаційної ієрархії підприємства відносно поточного стану об'єкту управління.

Модель ієрархії контекстно-орієнтованих темпоральних правил

Для побудови темпоральних залежностей використовуються журнали подій, що реєструють стан об'єкту управління в дискретні моменти часу. Послідовність подій відображає поведінку об'єкту управління на підприємстві. Кожна подія характеризується множиною значень атрибутів, що містять інформацію про властивості артефактів, пов'язаних із цією подією. В якості артефактів розглядають об'єкти, що є складовими комплексного об'єкту управління. Темпоральні правила визначають зв'язки між подіями у часі. Розглянемо, наприклад, ситуацію, коли дві події e_j та e_m , що відображають різні стани об'єкту управління, завжди виникають одна за другою. Це свідчить про наявність зв'язків між діями на об'єкті управління, результати яких записані у вигляді подій e_j та e_m . Такі зв'язки будемо відображати темпоральним правилом C_{Next} (правило наступної події). Тоді поведінку об'єкту управління можна описати у вигляді послідовності правил C_{Next} . Послідовність із $n > 1$ правил C_{Next} поєднує між собою $n + 1$ подію, причому між першою та $n + 1$ подіями існує зв'язок виду: за першою подією колись у майбутньому відбудеться $n + 1$ подія. Такий зв'язок описується правилом майбутньої події C_{Future} .

Як було показано вище, кожна подія e_j характеризується множиною значень атрибутів $\{a_j^k\}$, $k = \overline{1, K}$. Значення атрибуту a_j^k одночасно є значенням відповідної властивості одного з артефактів, наприклад виконавців, продукції, відділу, тощо. Сукупність значень пов'язаних із подією атрибутів відображає стан контексту в момент виконання дії.

В цілому, правило C_{Next} доцільно розглядати як темпоральну залежність між двома станами контексту – до та після виконання відповідної дії. Стан контексту в момент події e_j задамо предикатом $A(\{a_j^k\})$. Даний предикат приймає значення *true* для заданої підмножини значень атрибутів a_j^k .

Атрибути події у багатьох журналах містять назву та стан відповідної дії. В такому випадку правило C_{Next} можна представити у двох варіантах:

– ЯКЩО УМОВА ВИКОНАННЯ (поточний стан контексту) ТО ДІЯ (назва та стан дії, представлені атрибутом події);

– ЯКЩО УМОВА ВИКОНАННЯ (поточний стан контексту) ТО ДІЯ (назва та стан дії, представлені атрибутом події) ТА РЕЗУЛЬТАТ (новий стан контексту).

В першому варіанті враховуються атрибути однієї події, а в другому – обох подій.

Узагальнене контекстно-орієнтоване правило C_{Next} , що враховує атрибути подій, має вигляд:

$$C_{Next} = A(\{a_j^k\})X A(\{a_n^k\}), k = \overline{1, K}. \quad (1)$$

Аналогічне правило C_{Future} з урахуванням всіх атрибутів подій має вигляд:

$$C_{Future} = A(\{a_j^k\})F A(\{a_n^k\}), k = \overline{1, K}. \quad (2)$$

Правила у виразах (1) та (2) записані з використанням операторів темпоральної логіки X та F , що задають зв'язок відповідно між послідовними подіями та подіями, між якими є інші події. Ці правила відображають зв'язки між атрибутами подій журналу. Тому при побудові наведених правил можуть бути використані підмножини атрибутів подій.

Виділення підмножин атрибутів подій дозволяє на основі відношення включення отримати ієрархію правил процесного опису. Загальна ідея запропонованого підходу полягає у групуванні підмножини правил C_{Next}^l на детальному рівні l та відображенні згрупованих залежностей у вигляді одного правила C_{Future}^{l+1} на узагальненому рівні $l + 1$. Групування правил виконується за критерієм спільності значень як мінімум одного атрибута для всіх подій з групи. Тому область визначення Y_{Next}^l для всіх правил C_{Next}^l задається з урахуванням цього загального атрибута:

$$C_{Future}^{l+1} = \{C_{Next}^l\}, Y_{Next}^l = \{e_j \in E \mid \exists a_j^k = \alpha_m^k\}, \quad (3)$$

де E – множина подій, що описують поведінку об'єкту управління.

Вираз (3) поєднує правила (1) та (2) на основі відношення включення і тим самим визначає модель ієрархічного представлення темпоральних правил, що задають поведінку об'єкту управління згідно парадигми «Enterprise 2.0».

Приклад дворівневого представлення темпоральних правил згідно (1) - (3) наведено на рис. 1.

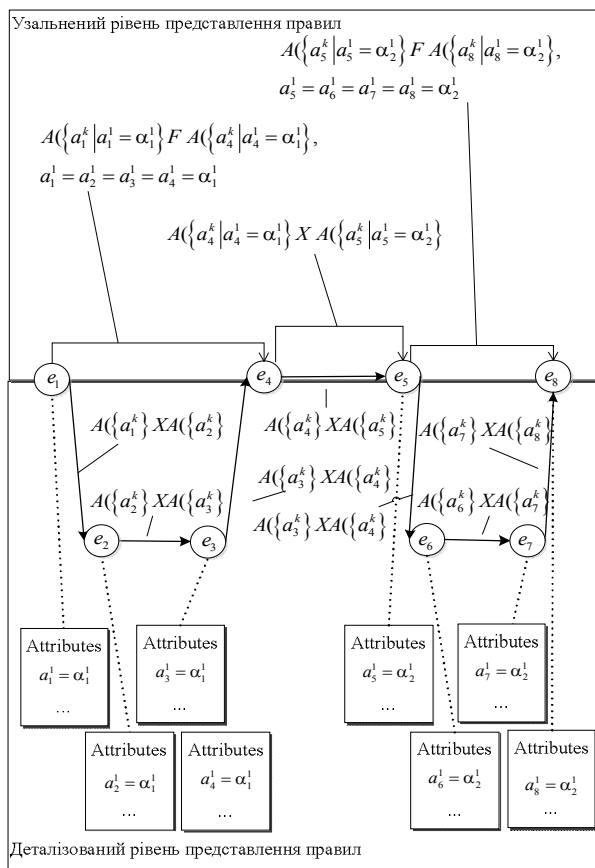


Рис. 1. Приклад дворівневого представлення темпоральних правил

На даному рисунку наведено послідовність із 8 подій і дворівневе представлення правил, що визначають порядок цих подій. На нижньому, детальному рівні виділені дві групи правил: $A(\{a_1^k\} XA(\{a_2^k\})$, $A(\{a_2^k\} XA(\{a_3^k\})$, $A(\{a_3^k\} XA(\{a_4^k\})$ та $A(\{a_4^k\} XA(\{a_5^k\})$, $A(\{a_6^k\} XA(\{a_7^k\})$, $A(\{a_7^k\} XA(\{a_8^k\})$, які задають дві групи послідовних дій процесу. Всі події кожної групи мають одну загальну властивість, що описується атрибутом a_j^1 цих подій. Перший атрибут усіх подій першої групи має одне і те ж значення: α_1^1 : $a_j^1 = \alpha_1^1$. Перший атрибут усіх подій другої групи також має однакове значення: $a_j^1 = \alpha_2^1$.

Наведемо приклади значень атрибутів з різних журналів подій: найменування оброблюваної продукції: *Product_value* = "PROD609"; ім'я виконавця: *Org_resource_value* = "Sophie"; IP - адреса відправника: *SourceIPAddress* = "192.168.220.51"; мережний протокол: *TransportProtocol* = "ICMP". Тоді семантика виразу (3) полягає у групуванні подій, що відображають обробку одного виду продукції, виконуються одним виконавцем, описують роботу з одним конкретним комп'ютером (одною IP - адресою відправника), визначають роботу з одним мережним протоколом і т.п.

Загальна характеристика наведених в прикладі атрибутів полягає в тому, що вони задають ключові

властивість контексту виконання групи дій на об'єкті управління. Це дозволяє побудувати ієрархію контексту виконання дій на основі ієрархії цих атрибутів, та потім використовувати її при побудові ієрархії темпоральних правил.

Правила на верхньому рівні поєднують групу правил нижнього рівня, тому правила C_{Next} представлені на узагальненому рівні одним правилом типу C_{Future} із заданою умовою по загальним атрибутам події, наприклад:

$$A(\{a_1^k | a_1^1 = \alpha_1^1\}) FA(\{a_4^k | a_4^1 = \alpha_1^1\}, a_1^1 = a_2^1 = a_3^1 = a_4^1 = \alpha_1^1.$$

Метод ієрархічного виведення з використанням темпоральних залежностей

Розроблений метод призначений для побудови імовірнісного опису допустимої поведінки об'єкту управління на декількох рівнях його деталізації. Сформований опис має забезпечувати виконання послідовності дій від поточного стану об'єкту управління і до цільового. Цільовий стан відображає результати процесу управління. Поточний стан представлено результатом виконання ланцюжка попередніх дій. У журналі об'єкту управління в інформаційно-управляючій системі і поточний і цільовий стани відображаються у вигляді подій, що дозволяє контролювати поведінку об'єкту управління.

Метод використовує представлення знань на основі марківської логічної мережі [9], адаптоване до завдань управління підприємством в роботі [8]. Ключовим елементом даного подання є розглянуті раніше темпоральні правила.

Загальна ідея даного методу полягає у формуванні ієрархії правил (3) на основі вхідної ієрархії атрибутів подій журналу. В подальшому формується ієрархія трас із упорядкованих послідовностей подій, що відображають допустимі варіанти поведінки об'єкту управління в поточному стані з різним ступенем деталізації. Для кожної траси на кожному рівні ієрархії за правилами марківської логічної мережі розраховуються значення ймовірності її реалізації, що дозволяє впорядкувати вибір допустимого варіанту поведінки процесу в поточній ситуації. Метод ієрархічного виведення в базі знань використовує такі вхідні дані:

- підмножина $\{\pi_i\}$ послідовностей подій, що описують актуальну поведінку об'єкту управління та його поточний стан; кожна послідовність подій відповідає одному екземпляру об'єкту управління;
- набір темпоральних залежностей типів C_{Next} та C_{Future} для зазначених послідовностей подій;
- ієрархію підмножин атрибутів подій $\{\{a_j^k\}^l\}$, які задають різні рівні деталізації поведінки об'єкту управління;
- максимальний рівень ієрархії L , для якого буде здійснюватися виведення.

поточний рівень ієрархії, з якого буде починатись логічне виведення; за замовчуванням - з першого рівня.

Метод включає в себе наступні фази і етапи.

Фаза 1. Підготовка набору темпоральних правил до виведення.

Етап 1.1. Формування ієрархії правил згідно (3).

Етап 1.2. Обчислення ваги правил. Даний етап виконується циклічно для всіх рівнів ієрархії.

Розрахунок виконується згідно з особливостей марківської логічної мережі, з використанням представленою в роботі [11] підходу. Значення ваги відповідає ймовірності виконання правила: чим більше вага, тим більше ймовірність. Додатково встановлюється вага обмежень α . Обмеження виконуються для всіх варіантів поведінки об'єкту управління. Результат фази 1: множини зважених правил та обмежень для всіх рівнів ієрархії.

Фаза 2. Формування ймовірних варіантів поведінки процесу.

Етап 2.1. Вибір вхідної підмножини подій на поточному рівні l для правила C_{Future}^{l+1} .

На даному етапі вибирається підмножина подій для рівня l , для якої виконується умова $e_j \in E \mid \exists \alpha_j^k = \alpha_m^k$, тобто ця підмножина відповідає правилу C_{Future}^{l+1} . Якщо така підмножина відсутня, то перейти до етапу 2.7.

Етап 2.2. Побудова підмножини упорядкованих послідовностей подій $\{\pi_s^l\}$ для правила C_{Future}^{l+1} .

На даному етапі формуються всі можливі перестановки з отриманої на етапі 2.1 підмножини подій з урахуванням отриманих на етапі 1.2 обмежень. Це означає, що події, що входять до складу обмежень, виключаються з перестановок. Отримані в результаті перестановок послідовності подій визначають можливі послідовності дій на об'єкті управління.

Етап 2.3. Обчислення потенціалу для кожної отриманої упорядкованої послідовності подій π_s^l .

Потенціал розраховується як сума ваг правил, істинних для даної послідовності подій [9]. Потенціал визначає ймовірність реалізації дій, що відповідає послідовності подій π_s^l .

Етап 2.4. Розрахунок ймовірностей реалізації для отриманих упорядкованих послідовностей подій $\{\pi_s^l\}$, що відповідають узагальненому правилу C_{Future}^{l+1} .

Розрахунок ймовірностей виконується згідно виразу (2) в роботі [8]. Результатом етапу є множина

$\{P(\pi_s^l)\}$ ймовірностей реалізації послідовностей подій для правила C_{Future}^{l+1} .

Етап 2.5. Упорядкування послідовностей подій π_s^l за $P(\pi_s^l)$.

Результатом етапу є упорядковані послідовності

$$\langle \pi_1^l, \dots, \pi_s^l, \dots, \pi_s^l \mid P(\pi_1^l) > \dots > P(\pi_s^l) > \dots > P(\pi_s^l) \rangle.$$

Етап 2.6. Перевірка поточного рівня деталізації l . Якщо всі події рівня впорядковані, то перейти до етапу 2.7. Інакше - перейти до етапу 2.1.

Етап 2.7. Перехід до рівня деталізації $l+1$.

Якщо $l+1=L$, то завершити роботу. Інакше - перехід до етапу 2.1.

Результат фази 2: упорядкований за значеннями ймовірності на кожному рівні ієрархії набір множин упорядкованих послідовностей подій, що задають допустимі послідовності дій для заданих рівнів деталізації поведінки об'єкту управління.

Висновки

1. Запропоновано модель ієрархічного представлення темпоральних правил, що визначають поведінку об'єкту управління в інформаційно-управляючій системі, в формі узагальнення послідовності правил безперервного виконання дій на об'єкті управління на більш детальному рівні одним правилом виконання цільової дії в майбутньому на узагальненому рівні. У практичному плані отримане представлення знань дозволяє поєднувати процесний та функціональний опис діяльності підприємства при вирішенні частково структурованих задач шляхом комбінування ієрархії властивостей контексту виконання дій, а також послідовності цих дій.

2. Запропоновано метод ієрархічного виведення в базі знань інформаційно-управляючої системи, який узагальнює зважені темпоральні правила для об'єкту управління для формування ієрархії варіантів його можливої подальшої поведінки із зазначенням ймовірності кожного з варіантів. Метод призначений для підвищення ефективності управління підприємством шляхом прогнозування контекстно-залежних послідовностей дій відповідно до парадигми «Enterprise 2.0», на основі поєднання технологій колективної роботи та бізнес-процесів.

REFERENCES

1. Vom Brocke, J. (2015). Handbook on Business Process Management 1. Introduction, Methods, and Information Systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 709 doi:10.1007/978-3-642-45100-3
2. Kalynychenko, O., Chalyi, S., Bodyanskiy, Y., Golian, V., Golian, N. (2013, September). Implementation of search mechanism for implicit dependences in process mining. 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Available: <https://doi.org/10.1109/idaacs.2013.6662>
3. Shin J., Wu S., Wang F., De Sa C. Zhang C, R'e C. (2015). Incremental Knowledge Base Construction Using DeepDive. 41 th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB). Vol. 8(11).
4. Niu F., Zhang C., Re C. (2012). DeepDive: Web-scale Knowledge-base Construction using Statistical Learning and Inference. VLDS, 25–28.
5. Van der Aalst, W. M. P. (2011). Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes. Springer Berlin Heidelberg, p 352 . doi:10.1007/978-3-642-19345-3
6. Van der Aalst, W. M. P. (2014). Process Mining in the Large. A Tutorial. Business Intelligence. Springer Science + Business Media, 33–76. doi:10.1007/978-3-319-05461-2_2

7. Chalvi S., Levykin I., Petrychenko A. and Bogatov I. (2018). Causality-based model checking in business process management tasks. *Proc. IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies DESSERT'2018*. Ukraine, Kyiv, May 24-27, 478 – 483.
8. Levykin V., Chala O. (2018). Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 29-35.
9. Richardson, M., Domingos, P. (2006). Markov logic networks. *Machine Learning*, 62 (1-2), 107–136. doi: <https://doi.org/10.1007/s10994-006-5833-1>.
10. Singla, P., Domingos, P. (2005). Discriminative Training of Markov Logic Networks. *Proceedings of the 20th national conference on Artificial intelligence*.
11. Lowd D., Domingos P. (2007). Efficient weight learning for Markov logic networks. *European Conference on Principles of Data Mining and Knowledge Discovery. Knowledge discovery in databases: PKDD 2007*.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г. А. Кучук,

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків

Received (Надійшла) 14.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.08.2018

Метод иерархического вывода в базе знаний информационно-управляющей системы в парадигме «Enterprise 2.0»

О.В. Чала

Предметом изучения в статье являются процессы использования знаний в рамках парадигмы функционирования предприятия «Enterprise 2.0», которая предусматривает создание комплексных объектов управления. **Цель** состоит в разработке метода иерархического вывода на основе темпоральных зависимостей в базе знаний для построения набора возможных последовательностей действий в текущем состоянии объекта управления на разных уровнях организационной иерархии предприятия. **Задачи:** разработать иерархию контекстно-ориентированных темпоральных зависимостей для представления знаний о поведении объекта управления на разных уровнях организационной иерархии; разработать метод вероятностного иерархического вывода в базе знаний на основе информации о поведении объекта управления в виде последовательностей событий. **Методами**, которые используются, являются методы определения весов правил в марковской логической сети, методы вывода на основе представления знаний в марковской логической сети. Получены следующие **результаты**. Выделены темпоральные правила, связывающие атрибуты событий журнала объекта управления. Сформирована иерархия таких правил на основе группировки по определенным атрибутам событий. Разработан метод вероятностного иерархического вывода, который использует темпоральные правила для формирования допустимых последовательностей выполнения действий на соответствующем уровне иерархии. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: разработана модель иерархического представления темпоральных зависимостей в виде правил для последовательных действий на объекте управления и обобщающих правил выполнения целевых действий. Разработанное представление позволяет детализировать знания о поведении объекта управления для различных уровней организационной иерархии и тем самым повысить эффективность управления предприятием. Предложен метод иерархического вывода в базе знаний предприятия в парадигме «Enterprise 2.0». Метод предусматривает формирование иерархии упорядоченных по вероятности реализации возможных вариантов прогнозируемой поведения объекта управления. Метод позволяет повысить эффективность управления предприятием на основе выбора из подмножества наиболее вероятных вариантов поведения с заданным уровнем детализации для объекта управления.

Ключевые слова: парадигма «Enterprise 2.0»; марковские логические сети; темпоральные правила; логический вывод; журнал событий.

The method of hierarchical inference in the knowledge base of the information control system in the "Enterprise 2.0" paradigm

O. Chala

The **subject matter** of the article is the process of using knowledge within the framework of the Enterprise for Enterprise 2.0 Paradigm, which involves the creation of complex management objects. The **goal** is to develop a hierarchical output method based on the temporal dependencies in the knowledge base to construct a set of possible action sequences in the current state of the control object at different levels of the organizational hierarchy of the enterprise. **Tasks:** to develop a hierarchy of context-oriented temporal dependencies for representing knowledge about the behavior of the control object at different levels of the organizational hierarchy; develop a method of probabilistic hierarchical output in the knowledge base based on information about the behavior of the control object in the form of event sequences. The **methods** used are: methods for determining the rules weights in the Markov logical network, the methods of output based on the representation of knowledge in the Markov logical network. The following **results** were obtained. Temporal rules are assigned that bind the event attributes of the control object's log. A hierarchy of such rules is formed based on grouping according to certain event attributes. The method of probabilistic hierarchical output is developed, which uses temporal rules for generating valid sequences of execution of actions at the appropriate level of the hierarchy. **Conclusions.** The scientific novelty of the results obtained is as follows: a model of the hierarchical representation of temporal dependencies in the form of rules for the successive actions on the control object and generalizing rules for the implementation of targeted actions is developed. The developed representation allows to detail the knowledge about the behavior of the control object for different levels of the organizational hierarchy and thus increase the efficiency of enterprise management. A method of hierarchical conclusion is proposed in the enterprise knowledge base in the Enterprise 2.0 paradigm. The method involves the formation of a hierarchy of ordered probabilities of possible variants of the predicted behavior of the control object. The method allows to increase the efficiency of enterprise management by choosing from the subset the most probable behavior with a given level of detail for the control object.

Keywords: paradigm "Enterprise 2.0"; Markov Logical Networks; temporal rules; logical conclusion; event log.

Г. В. Шуклін, О. В. Барабаш

Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В СИСТЕМІ ДЕРЖАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ КІБЕРНЕТИЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ФОНДОВОГО РИНКУ

В роботі застосовано математичну теорію керування системами диференціальних рівнянь з запізненням, для моделювання процесами регулювання кібернетичної безпеки з боку держави на фондовому ринку. Розглянуті умови стійкості інформаційної безпеки держави на прикладі кібернетичного простору фондового ринку. Запропоновано алгоритм побудови функції керування процесом виявлення кількості кібернетичних атак на електронний торговельний майданчик на фондовому ринку, який розглядається, як динамічна система, яка описується системами диференціальних рівнянь з запізненням. Запропонована структурна схема системи захисту інформації з введенням інфраструктурного сервісу та аналізатора атак. Встановлено, що системи з запізненням породжують нову інформацію, яку необхідно використовувати при модернізації системи захисту.

Ключові слова: кібернетичний простір, фондовий ринок, керування процесами інформаційною безпекою, державне регулювання кібернетичною безпекою, функція керування, запізнення, час квантування.

Вступ

Постановка завдання. Забезпечення інформаційної безпеки в кібернетичному просторі є однією з основних завдань держави на теперішній час. Так як держава інтегрує велику кількість інституцій, які забезпечують її існування, то задача керування і регулювання інформаційною безпекою їх є однією з найважливіших, особливо в умовах євроінтеграції.

Однією з таких інституцій, яка є складовою макроекономічної системи держави є фондовий ринок (ФР). Стійке функціонування ФР, а саме, здійснення відкритих торгів на електронних майданчиках, які забезпечують надходження податків до бюджету, приток інвестицій та регулювання цінової політики в державі, залежить від забезпечення захищеності інформації і персональних даних учасників ФР від стороннього впливу.

Учасники ФР здійснюють торги на електронних майданчиках у віддалених доступах, та здійснюють розрахунки в режимі онлайн. Для успішних виконань дій в процесі роботи ФР, інформаційно – телекомунікаційні ресурси останнього мають бути стійко захищені.

27 червня 2017 року Інтерфакс-Україна процитувало повідомлення біржі ПФТС, в якому визначалось, що Український фондовий ринок фактично припинив роботу в очікуванні відновлення роботи основних інститутів депозитарно-клірингової системи - Національного депозитарію України (НДУ) і Розрахункового центру з обслуговування договорів на фінансових ринках (РЦ, обидва - Київ), які 27 червня стали жертвою масштабної вірусної кібератаки. "Початок торгів на Фондовій біржі ПФТС відкладено до відновлення роботи клірингово-розрахункової інфраструктури ринку цінних паперів України". Цю атаку було здійснено за допомогою вірусу Petya.A. Крім того, в повідомленні визначалось, що хакерські атаки були націлені на об'єкти критичної інформаційної інфраструктури енергогенеруючих і енергопостачальних компаній, об'єктів транспорту, ряду банківських установ, телекомунікацій-

них компаній. Вірус атакував і Кабінет міністрів України [1].

Злочинники намагаються здійснювати атаки на вказані об'єкти через відповідні професійні мережі в режимі онлайн. Ці мережі, якими користуються Учасники ФР, виконують не тільки функції отримання необхідної інформації та здійснення платежів за біржовими контрактами, але ще є засобами керування кібербезпекою, та зоною інформаційної протидії. Такі ресурси є інструментом інформаційного впливу, метою яких є маніпулювання думкою гравця, або групи гравців при створенні торговельних стратегій для формування портфелів інвесторів. Все це призводить до інформаційних війн, наслідком яких може бути дестабілізація ринку («обвал ринку»). Історії відомі декілька таких обвалів, які закінчилися втратами мільярдів доларів і масовою загибеллю матеріальних благ: обвал на Уолл-Стріт в 1929 році, обвал 1973-1974 роки, Чорний понеділок 1987 рік, Бум доткомів в 2000 році і обвал 2008 року.

Злочинники активно використовують інформаційні технології та маскуються таким чином, що виявлення їх намірів є однією з нелегких задач сучасності. Тому, актуальною є задача підвищення якості захисту і створення оптимального процесу управління та регулювання інформаційною безпекою з боку держави.

Одним з ефективних підходів для розв'язування зазначеної вище задачі є застосування декомпозиції. Принцип декомпозиції полягає у тому, що для розв'язання задачі виконується розбиття її на ряд окремих простіших задач, які мають певну ієрархічну будову на відповідному рівні. Такий підхід, дає змогу мінімізувати ризик захищеності [4]. Саме формулюванню і розв'язуванню такого класу задач присвячена ця робота.

Мета роботи. Метою даної роботи є розробка методики синтезу динамічної моделі керування процесом інформаційної безпеки фондового ринку з використанням математичної теорії керування системами диференціальних рівнянь з запізненням.

Аналіз останніх досліджень показав, що існує достатня кількість публікацій, присвячена побудові математичних моделей оцінки ефективності систем захисту інформації [6-12]. Однак кожна з моделей має свої недоліки і тому існують обмеження її використання.

Однією з таких обмежень є те, що складністю врахування показників надійності захисту інформаційних систем пов'язана з постійною появою нових факторів, які впливають на її захищеність. Також встановлено, що сучасна методологічна база оцінювання ефективності системи захисту інформації характеризується певним ступенем суб'єктивізму процедур оцінювання [7]. Проблемним залишається питання вибору відповідних показників при оцінці рівня захищеності інформаційної системи з урахуванням наявності часу запізнення.

Основний результат

В роботі [16] побудовано алгоритм побудови функції керування системою диференціальних систем з запізненням, яка має наступний вид

$$x(\dot{t}) = Ax(t - \tau) + bu(t), t \geq t_0, \tau > 0. \quad (1)$$

Було зазначено, що система (1) відносно керування, якщо для довільної неперервно-диференційованої функції $\varphi(t)$, часу $t_0 - \tau \leq t \leq t_0$, що визначає початкові умови, та кінцевого стану x_1 та моментів часу t_0, t_1 існує управління $u_0(t), t_0 \leq t \leq t_1$ таке, що система (1) має розв'язок $x_0(t)$, який задовольняє граничним умовам

$$x_0(t) = \varphi(t), t_0 - \tau \leq t \leq t_0, x_0(t_1) = x_1.$$

При конструюванні функції управління системою (1) було введено матричну функцію, яка отримала назву запізнюючого експоненціалу і яка має такий вигляд:

$$e_{\tau}^{At} = \begin{cases} \theta, & -\infty < t < -\tau; \\ 1, & -\tau \leq t < 0; \\ 1 + A \cdot \frac{t}{1!} + A^2 \cdot \frac{(t-\tau)^2}{2!} + \dots + A^k \cdot \frac{(t-(k-1)\tau)^k}{k!}, & (k-1)\tau \leq t < k\tau, \end{cases} \quad (2)$$

де θ – нульова матриця, I – одинична матриця.

За допомогою функції (2) розв'язок системи (1) було представлено у вигляді

$$x(\dot{t}) = e_{\tau}^{At} \varphi(t_0 - \tau) + \int_{t_0 - \tau}^{t_0} e_{\tau}^{A(t-\tau-s)} \varphi'(s) ds + \int_{t_0}^t e_{\tau}^{A(t-\tau-s)} bu(s) ds, \quad (3)$$

з початковими умовами $x_0(t) = \varphi(t), t_0 - \tau \leq t \leq t_0$ [17].

Функція керування, яка входить в третій доданок представлення (3), має такий вигляд:

$$u(s) = b^T e_{\tau}^{A(t-\tau-s)} \left(\int_{t_0}^{t_1} e_{\tau}^{A(t_1-\tau-s)} b b^T e_{\tau}^{A^T(t_1-\tau-s)} ds \right)^{-1} \times \left(x_1 - e_{\tau}^{A t_1} \varphi(t_0 - \tau) - \int_{t_0 - \tau}^{t_0} e_{\tau}^{A(t-\tau-s)} \varphi'(s) ds \right), \quad (4)$$

В наших дослідженнях керування інформаційною безпекою в системі державного регулювання

кібернетичною безпекою фондового ринку в якості математичної моделі будемо використовувати представлення (3) і (4).

Здійснюючи постійний моніторинг інформаційно-телекомунікаційних систем, які забезпечують функціонування ФР, необхідно виділяти, як окрему множину, сценаріїв атак, та їх кількість $x(t)$, які здійснюються в момент часу t . Початкова функція $\varphi(t)$ формується постійно на відрізку часу $[t_0 - \tau; t_0]$, яка визначає кількість атак протягом часу τ , який назвемо часом квантування. При цьому, система державного регулювання кібернетичною безпекою повинна здійснити відповідні заходи, при яких $x_1 = 0$. В цьому випадку керуюча функція $u(s)$ здійснює стабілізацію функціонування інформаційних систем і відбиває атаки. Кількість майбутніх можливих атак на проміжку $[t_0; t_0 + \tau]$, визначається розв'язком представленням (3), яке в свою чергу є початковою функцією для прогнозування кількості атак на проміжку часу $[t_0 + \tau; t_0 + 2\tau]$.

Матриця $A = \|a_{ij}\|_{n \times m}$, яка входить в представлення (3) уявляє собою степінь незахищеності інформаційної системи, на яку здійснюється атака і є стохастичною. Елементи цієї матриці a_{ij} – це ймовірність незахищеності i -го об'єкта, $i = \overline{1, n}$ від j -го сценарію атаки, $j = \overline{1, m}$.

Вектор – стовпчик b визначає степінь захищеності i -го об'єкту від всіх можливих сценаріїв атак. Ми будемо припускати, що $m = n$. Якщо рівність не виконується, то відповідна прямокутна матриця доповнюється до квадратної нулями.

Виходячи з вищесказаного, за допомогою представлення (3) і структурі функції керування (4), ми можемо прогнозувати кількість можливих атак і при цьому, аналізуючи їх сценарії, своєчасно їх відбивати. При цьому, побудувавши фазові портрети на інтервалах часів квантування, ми можемо аналізувати стійкість системи захисту.

На рис. 1 представлена залежність кількості атак від часу квантування, які спостерігались протягом години на українській біржі під час електронних торгів.

Крива, яка зображена на цьому рисунку є початковою функцією $\varphi(t)$, при $0 \leq t \leq 1$.

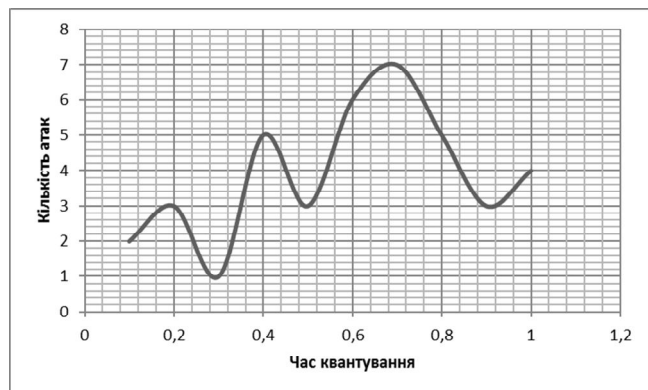


Рис. 1. Залежність кількості кібератак протягом однієї години на Українській фондовій біржі

Степінь незахищеності інформаційної системи при цьому була 0,01, а степінь захищеності була 0,99. Тому (1) в цьому випадку перетворюється в одновірну, тобто в наступне диференціальне рівняння

$$x(t) = 0.01x(t - 1) + 0.99u(t), \quad 1 \leq t \leq 2. \quad (5)$$

Задача керуючої функції полягає в тому, щоб протягом наступного часу система продовжувала працювати в стаціонарному режимі, а атаки були відбиті. Інакше кажучи, $x_1(t) = 0$, тобто функція (4) здійснює стабілізацію динамічної системи, яка описується рівнянням (5).

На рис. 2 побудовано фазову траєкторію, яка відображає процес стабілізації даного динамічного об'єкту, яка здійснювалась за допомогою керуючої функції (4), яка мала такий вигляд

$$u(t) = (1307s + 2668.1) / (-6).$$

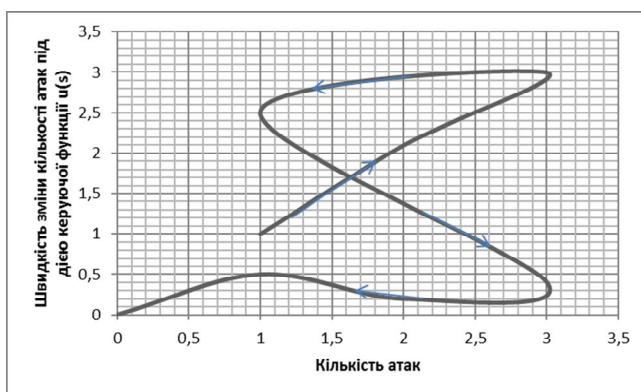


Рис. 2. Фазова траєкторія стабілізації динамічної системи захисту інформації

Схема керування процесом забезпечення інформаційної безпеки на фондовому ринку представлено на рис. 3.

З практичної точки зору, керування – це інфраструктурний сервіс (рис. 3). Між електронним торговельним майданчиком і інтернет-мережею повинно існувати інформаційно-телекомунікаційна система (інфраструктурний сервіс), яка приймає на себе атаки, які фіксуються програмами-тестерами і подають інформацію в аналізатор сценарію атак і одночасно після їх відбиття за допомогою функції керування

$u(s)$, дає дозвіл електронному майданчику на проведення торгів.



Рис. 3. Керування процесом захисту інформації

Цей процес відбувається неперервно. Аналізатор сценарію атак – це каркас в якому створюється база знань про сценарії атак і здійснюється формування нових функцій для протидії для інфраструктурного сервісу.

Висновки

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що однією із складових стабілізації фондового ринку в є інформаційна безпека на торгах, тому ефективність торгів залежить від вміння системи захисту виявити і відбити атаку в поточний момент часу. За допомогою математичної теорії керування можна будувати моделі державного регулювання кібернетичною безпекою фондового ринку. Створення систем захисту, як буфера між інтернет – мережею і інформаційною системою дає можливість не тільки виявляти атаки, але аналізуючи їх сценарії, постійно модернізувати існуючі засоби захисту.

Розглядаючи динаміку атак, як динамічну систему з запізненням, ми постійно маємо можливість прогнозувати їх кількість, будуючи закон розподілу ймовірностей їх за допомогою систем диференціальних рівнянь з запізненням і водночас отримувати нову інформацію про розвиток новітніх сценаріїв кібернетичних атак.

Система захисту повинна бути керованою. Завжди необхідно володіти інформацією про те, що відбувається в інформаційній системі, а ще краще, отримати прогноз розвитку ситуації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Електронний ресурс: [https:// biz.nv.ua/ukr/finance](https://biz.nv.ua/ukr/finance).
2. Г.В. Шуклін. Моделювання інвестиційних рішень на фондовому ринку.//Г.В. Шуклін. Моделювання та інформаційні системи в економіці. Збірник наукових праць. Випуск 79, 2009 р. с. 62-69.
3. Борсуковський Ю.В. Базові напрямки забезпечення кібербезпеки державного та приватного секторів / Ю.В. Борсуковський, В.Л. Бурячок, В.Ю. Борсуковська // Сучасний захист інформації. - №2(30), 2017.- с.85-89.
4. Проект Концепції інформаційної безпеки України : [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Міністерства інформаційної політики України. – Режим доступу: <http://www.mip.gov.ua/documents/30.html> (дата звернення 25.07.2018). - Назва з екрану.
5. Юдін О.К. Інформаційна безпека держави : навч. посіб./ О.К. Юдін, В.М. Богуш. – Харків: Консум, 2004. – 508 с.
6. Тюлюпа С.В. Проектирование систем поддержки принятия решений в процессе восстановления и обеспечения комплексной защиты информационных систем / С.В. Тюлюпа // Сучасний захист інформації. - №4, 2012. – с.69-74.
7. Гришук Р.В. Диференціально-ігровий метод оцінювання ефективності систем захисту інформації / Р.В.Гришук // Сучасний захист інформації. - №1,2012. – С 40-44.
8. Хорошко В.О. Оцінка захищеності інформаційних систем / В.О.Хорошко, Ю.Є. Хохлачова. // Сучасний захист інформації, № 4,2012.- С. 50-89.
9. Гришук Р.В. Використання диференціальних ігор для оптимізації управління в системах захисту інформації / Гришук Р.В., Хорошко В.О., Хохлачова Ю.Є. // Сучасний захист інформації №2,2012.- с 21-26.

10. Ahentstvo z rozvytku infrastruktury fondovoho rynku Ukrainy. Vlasnyky krupnykh paketiv aktsiy PrAT «Fondova birzha PFTS». (2010). Retrieved from: [URL:http://smida.gov.ua/db/owners/21672206/2010/2](http://smida.gov.ua/db/owners/21672206/2010/2).
11. Хорошко В.О. Алгоритм виявлення атак для засобів моніторингу інформації / В.О. Хорошко, О.М. Чернишев // Сучасний захист інформації. - №1, 2012. – с. 49-56.
12. Невойт Я.В. Влияние генетических алгоритмов на эффективность решения задач по информационной безопасности / Невойт Я.В., Хорошко В.А. // Сучасний захист інформації №2, 2012.- с 58-64.
13. Д.Я.Хусаїнов. Керування в системах з чистим запізненням.// Д.Я. Хусаїнов, Г.В. Шуклін. Вісник Київського Університету, випуск №1, 2002р. С. 267-276.
14. Гришук Р.В. Основи кібернетичної безпеки: монографія / Р.В. Гришук, Ю.Г. Даник; під заг. Ред. проф. Ю.Г. Даника.- Житомир: ЖВІ ім. С.П.Корольова, 2016.- 636 с.
15. Доктрина інформаційної безпеки України (затверджена указом Президента України №47/2017 від 25 лютого 2017 року) : [Електронний ресурс] / Офіційне представництво Президента України. – режим доступу: <http://www.president.gov.ua/documents/472017-21374> (дата звернення 25.07.2018). - Назва з екрану.
16. Д.Я. Хусаїнов. Про один алгоритм керування в системах з чистим запізненням.// Д.Я. Хусаїнов, Г.В. Шуклін. Вісник Київського Університету, випуск №2, 2002р. С. 262-267.
17. Д.Я. Хусаїнов. Об относительной управляемости в системах с чистым запаздыванием.// Д.Я. Хусаїнов, Г.В. Шуклін. Прикладная механика, Том 41, № 2, 2005 г, с. 118-130.
18. В.В. Глушак. Синтез структури системи захисту інформації з використанням позиційної гри захисника та зловмисника. // В.В. Глушак, О. М. Новіков, Системні дослідження та інформаційні технології, №2, 2013 р. с. 89-100.
19. Р.В. Гришук. Неперервна дискретна диференціально-ігрова модель процесу нападу на інформацію. // Р.В. Гришук, Вісник ЖДТУ, №4 (51), 2009 р. с. 135-141.
20. В.И. Зубов. Лекции по теории управления.-М.: Наука, 1975. – 496 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г. А. Кучук,
 Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків
 Received (Надійшла) 28.06.2018
 Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.08.2018

Математическое моделирование управления процессами информационной безопасности в системе государственного регулирования кибернетической безопасностью фондового рынка

Г. В. Шуклин, О. В. Барабаш

В работе использована математическая теория управления системами дифференциальных уравнений с запаздыванием для моделирования процессами регулирования кибернетической безопасности со стороны государства на фондовом рынке. Рассмотрены условия устойчивости информационной безопасности государства на примере кибернетического пространства фондового рынка. Предложен алгоритм построения функции управления процессом выявления количества кибернетических атак на электронную торговую платформу на фондовом рынке, который рассматривается, как динамическая система, которая описывается системами дифференциальных уравнений с запаздыванием. Предложена структурная схема системы защиты информации с введением инфраструктурного сервиса и анализатора атак. Установлено, что системы с запаздыванием порождают новую информацию, которую необходимо использовать при модернизации системы защиты.

Ключевые слова: кибернетическое пространство, фондовый рынок, управление процессами информационной безопасности, государственное регулирование кибернетической безопасностью, функция управления, запаздывание, время квантования.

Mathematical modeling of the control of information security processes in the state regulation of the cybernetic security of the stock market

G. Shuklin, O. Barabash

In the work the mathematical theory of control of systems of late differential equations is used, for modeling the processes of regulation of cybernetic security by the state in the stock market. Conditions of stability of state information security are considered on the example of the cyberspace of the stock market. An algorithm for constructing a control function for detecting the number of cybernetic attacks on an electronic trading platform on the stock market is proposed, which is considered as a dynamic system described by systems of late differential equations. A structural scheme of the information security system with introduction of infrastructure service and attack analyzer is proposed. It has been established that latent systems generate new information that should be used when upgrading the security system. A comparative analysis of the existing mathematical approaches to ensuring the effectiveness of the information security system is carried out. Consider integration of the newest managerial technology in system of state regulation of cyber security of stock market, especially integration of aimed and processing state regulation of cyber security, which continue application managing technologies for this. In case of mathematical model proposed systems of differential equations with downtime. With help of methods of their calculation is show phase pictures, which give possibilities to analyze concrete systems of information security in cyber space and build managerial systems for further improving and developing of relevant technology. In the work proposed the conceptual subjection of the national monopolies of the cyber security regulation of the stock market, which goes into the general system of the economy of state regulation of cyber security of stock market. Shown the directions of importing of system of state regulation of cyber security. The form of forecasting of cyber attack on electronic trade systems of stock market with help of forerunner is proposed.

Keywords: cybernetic space, stock market, information security processes management, state regulation of cybernetic security, control function, delay, quantization time.

S. Alyoshin, E. Borodina, A. Kikot, I. Zaban

Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

PYTHON PROGRAMMING FEATURES AND NEW POSSIBILITIES

Purpose. The purpose of the article is to demonstrate the profitability of new versions of the Python programming language, and also to demonstrate the volumes of this language together with new software. The content of the article is an overview that allows you to understand the features and new features of the Python language. **Results.** It was found that to create programs for different purposes, use a powerful tool Python. **Originality.** Programs written in Python work in exactly the same way, regardless of which operating system they are running on, and also Python adds features that make it widely used. **Practical value.** The cost-effectiveness of new versions of Python and the volumes of this language together with the new provision provides a detailed analysis of the areas where Python is used. The conclusion is that Python has some noteworthy features that make it widely used. **Conclusions.** The arguments we have presented prove that the program written in Python will function exactly the same regardless of which operating system it is running in. Differences arise only in rare cases, and they are easy to anticipate due to the availability of detailed documentation.

Keywords: Python, professional language, features, possibilities of Python.

Introduction

YouTube, DropBox, Google, Quora, Instagram, BitTorrent, Spotify, Reddit, Yahoo Maps, Hipmunk. The thing that unites them is Python. [1] “General purposeness” of the language resulted into extraordinary large field of its application.

A relevance of this article is that for the time being Python is the fifth most used as a professional language in Ukraine and the eighth in the list of languages a person wants to learn next according to Dou [2].

A new element is that there is no comprehensive and complex article that would cover all below-mentioned questions from different views and both for prepared and non-prepared readers.

The purpose of article is to demonstrate profitability of new versions of Python and show the scope of this language along with new soft.

The tasks are:

1. To consider new versions of Python and their features.
2. To describe a scope of Python and new soft for its usage.

Main part

Let us start with first item and examine advantages and specificities of 3.5 version of Python that was released in 2008. Despite the mentioned, most people still prefer to use v.2.7 [3].

Below is the list of minor and not so minor features supposed to change their preferences [3]:

1. *Advanced unpacking*

You can already do this:

```
>>> a, b = range(2)
>>> a
0
>>> b
1
```

Now you can do this:

```
>>> a, b, *rest = range(10)
>>> a
0
>>> b
1
>>> rest
[2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]
```

2. *Keyword only arguments*

```
def f(a, b, *args, option=True):
```

...

- option comes after *args.
- The only way to access it is to explicitly call f(a, b, option=True)
- You can write just a * if you do not want to collect *args.

```
def f(a, b, *, option=True):
```

3. *Chained exceptions*

Python 3 shows you the whole chain of exceptions.

4. *Everything is an iterator*

In Python 3, *range*, *zip*, *map*, *dict.values*, etc. all return memory-efficient iterables. If you want a list, just wrap the result with list.

This way it is harder to write code that accidentally uses too much memory, because the input was bigger than you expected.

5. *No more comparison of everything to everything*

In Python 2, you can do:

```
>>> max(['one', 2]) # One “is” the loneliest
number
```

```
'one'
```

It is because in Python 2, you can < compare anything to anything. In Python 3, you cannot do this:

```
>>> 'one' > 2
```

```
Traceback (most recent call last):
```

```
File "<stdin>", line 1, in <module>
```

```
TypeError: unorderable types: str() > int()
```

6. *Yield from*

Instead of accumulating a list, just yield or yield from.

- 1) Bad


```
def dup(n):
    A = []
    for i in range(n):
        A.extend([i, i])
    return A
```
- 2) Good


```
def dup(n):
    for i in range(n):
        yield i
        yield i
```
- 3) Better


```
def dup(n):
    for i in range(n):
        yield from [i, i]
```

7. *Asyncio*

Uses new coroutine features and saved state of generators to do asynchronous IO.

8. *Faulthandler*

Shows traceback even if Python has crashed in a bad way.

9. *Unicode variable names*

```
>>> résumé = "knows Python"
>>> π = math.pi
```

10. *Pathlib*

In Python 2, path handling is verbose.

```
import os
directory = "/etc"
filepath = os.path.join(directory, "test_file.txt")
if os.path.exists(filepath):
    stuff
```

In Python 3, it is much simpler.

```
from pathlib import Path
directory = Path("/etc")
filepath = directory / "test_file.txt"
if filepath.exists():
    stuff
```

In the second part of this article, we will take a closer look at both evident and little-known or specific fields of Python application.

Testing automation. As a programmer, you need to write tests all the time and Python code fits all requirements for test code: it is plain, simple and needs not so much time to be written. In addition, it has a lot of tooling which comes in handy as well.

Web sites. One can use Python to create dynamic web sites, a program that uses CGI (still it is not recommended), a test for such a program, let alone usage of Django, Flask, Tornado and other frameworks.

Mixing of Python and HTML is possible and provides with libraries, templates and template engines (Mako, Genshi, Jinja) that help a developer to maintain code (fig. 1) [5].

```
>>> template = "<html><body><h1>Hello $s!</h1></body></html>"
>>> print template % "Reader"
<html><body><h1>Hello Reader!</h1></body></html>

>>> from string import Template
>>> template = Template("<html><body><h1>Hello $(name)</h1></body></html>")
>>> print template.substitute(dict(name='Dinsdale'))
<html><body><h1>Hello Dinsdale!</h1></body></html>
```

Fig. 1. Mixed Python and HTML code template

As a Data analyst, you would use Python for getting data from databases, from the web, text files etc., for analysis itself and especially visualization for Python is accompanied by a vast number of great visualization libraries and tools. Here are some examples (fig. 2, 3).

The most common tools for scientific and numeric computing are SciPy (collection of packages for mathematics, science, and engineering), Pandas (data analyzing and modeling library), iPython (interactive shell supporting visualizations and parallel computing) [7].

Another chance to apply this language is teaching or learning programming at any level up to advanced. There is a lot of books and online courses, both free and paid services.

Now about future scope of Python. For a Linux admin, Python is crucial, nowadays almost 1/5 of Linux

job require Python code to be hired [6]. Python programming skills come in handy for Database developers and boost their productivity.

In view of the above and given fact of Python is used in such an amount of fields, the fact that this language in addition has its own GUIs sounds unbelievably.

However, here they are:

- Widgets
- Kivy, for writing multitouch applications.
- Qt via pyqt or pyside [7]

Specialists say that Python has a bright future because it has been voted as most favorite language beating C, C++ and Java; it is robust, comprehensive and versatile.

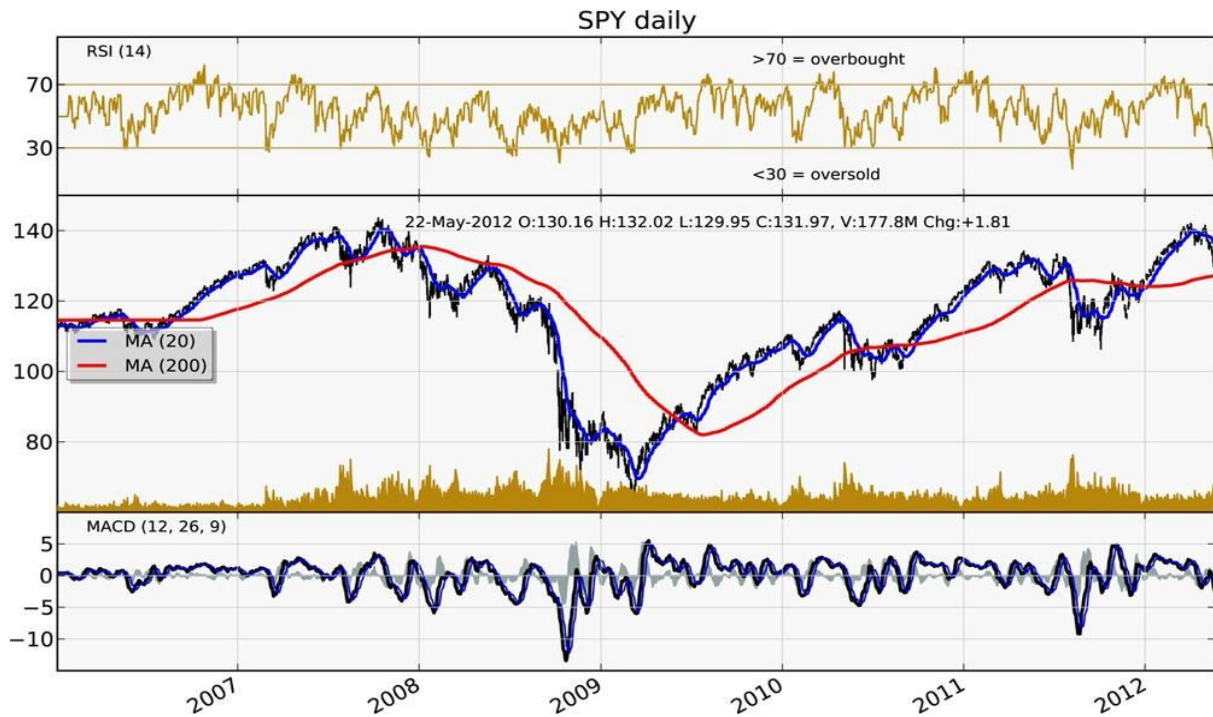


Fig. 2. Matplotlib financial plot

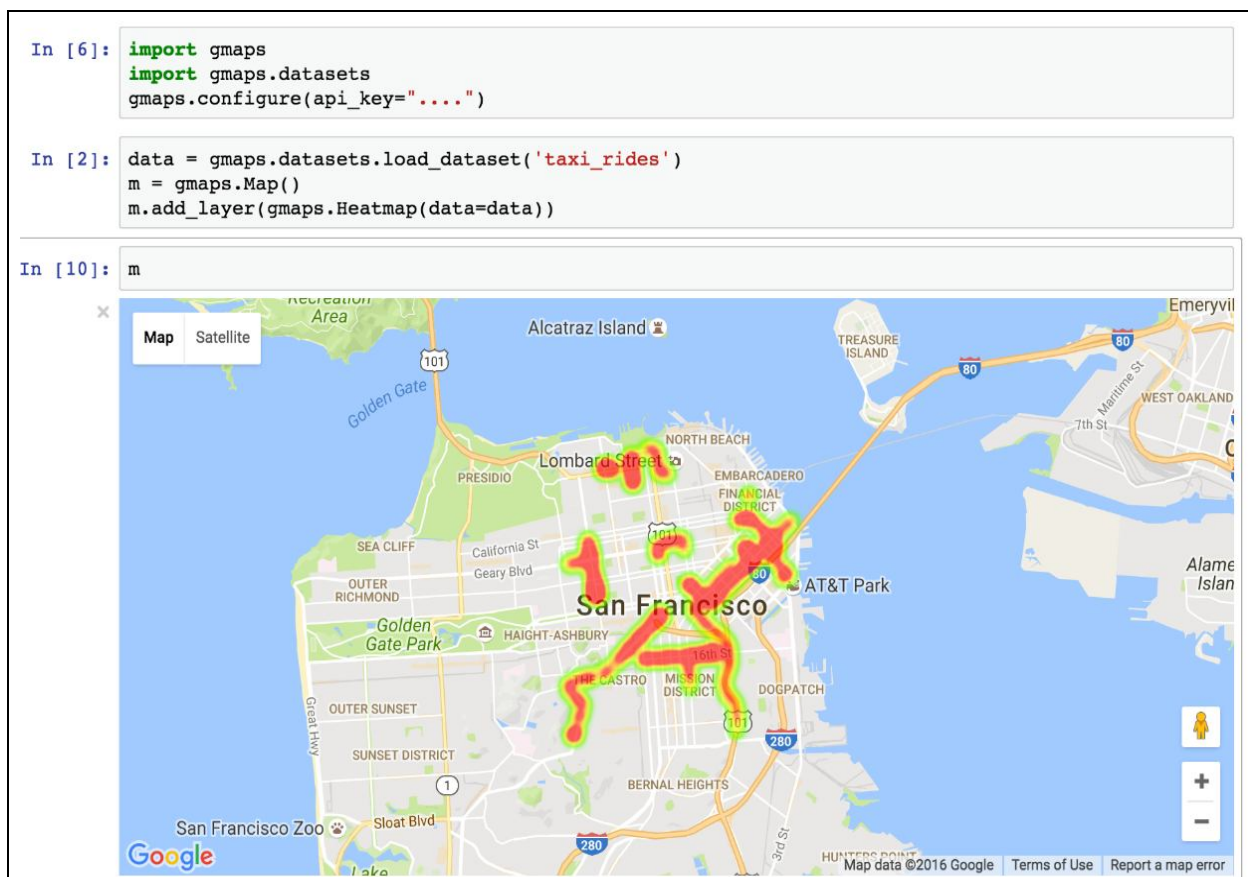


Fig. 3. Heatmap in Python

Conclusions

The conclusion is that Python has some noteworthy features that make it widely used. The arguments we have presented prove that the program

written in Python will function exactly the same regardless of which operating system it is running in. Differences arise only in rare cases, and they are easy to anticipate due to the availability of detailed documentation.

REFERENCES

1. WHAT ARE THE 10 MOST FAMOUS SOFTWARE PROGRAMS WRITTEN IN PYTHON? Available at: http://www.hartmannsoftware.com/Blog/Articles_from_Software_Fans/Most-Famous-Software-Programs-Written-in-Python (accessed 13 May 2018).
2. Рейтинг языков программирования 2018: Go и TypeScript вошли в высшую лигу, Kotlin стоит воспринимать серьезно Available at: <https://dou.ua/lenta/articles/language-rating-jan-2018/> (accessed 13 May 2018).
3. 10 awesome features of Python that you can't use because you refuse to upgrade to Python 3 Available at: <https://www.asmeurer.com/python3-presentation/slides.html#1> (accessed 13 May 2018).
4. Testing with Python: Just Makes Sense Available at: <https://blog.smartbear.com/testing/testing-with-python-and-why-it-makes-sense/> (accessed 13 May 2018).
5. HOWTO Use Python in the web Available at: <https://docs.python.org/2/howto/webrowsers.html> (accessed 13 May 2018).
6. Future Scope of Python Programming Language Available at: <https://legacy.gitbook.com/book/sarahjohan/what-is-the-scope-of-python-programming-language/details> (accessed 13 May 2018).
7. Applications for Python Available at: <https://www.python.org/about/apps/> (accessed 13 May 2018).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ЧТО ТАКОЕ 10 САМЫХ ИЗВЕСТНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОГРАММ, НАПИСАННЫХ В ПИТОНЕ? [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.hartmannsoftware.com/Blog/Articles_from_Software_Fans/Most-Famous-Software-Programs-Written-in-Python.
2. Рейтинг языков программирования 2018: Go и TypeScript вошли в высшую лигу, Kotlin следует воспринимать всерьез. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://dou.ua/lenta/articles/language-rating-jan-2018/>
3. 10 удивительных особенностей Python. Python 3 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.asmeurer.com/python3-presentation/slides.html#1>.
4. Тестирование с помощью Python: просто имеет смысл. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://blog.smartbear.com/testing/testing-with-python-and-why-it-make-sense/>
5. Как использование Python в Интернете [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://docs.python.org/2/howto/webrowsers.html>
6. Будущий масштаб языка программирования Python [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://legacy.gitbook.com/book/sarahjohan/what-is-the-scope-of-python-programming-language/details> (доступно 13 мая 2018 года).
7. Приложения для Python [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.python.org/about/apps/>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І. В. Шостак,
 Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського «ХАІ», Київ
 Received (Надійшла) 7.06.2018
 Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.08.2018

Особенности програмування та нові можливості мови програмування Python

С. П. Альшин, О. О. Бородіна, А. С. Кікоть, І. Б. Жабран

Мета. Метою статті є необхідність продемонструвати рентабельність нових версій мови програмування Python, а також продемонструвати обсяги цієї мови разом з новим програмним забезпеченням. Зміст статті представляє оглядовий характер, що дозволяє зрозуміти особливості та нові можливості мови Python. **Результати.** Було встановлено, що для створення програм для різних цілей застосовують потужної інструмент програмування Python. **Наукова новизна.** Програми, написані на мові програмування Python працюють так само та незалежать від того, на якій операційній системі працює, а також в Python додані особливості, які роблять його широко застосовуваним. **Практична значимість.** Рентабельність нових версій Python та обсяги цієї мови разом з новим забезпеченням дає детальний аналіз областей, де застосовується Python. **Висновки.** Висновок полягає в тому, що у Python є деякі функції, які роблять його широко використовуваними. Наведені аргументи доводять, що програма, написана на Python, буде працювати однаково, незалежно від того, в якій операційній системі вона працює. Різниця виникає лише в рідкісних випадках, і їх легко передбачити через доступність докладної документації.

Ключові слова: Python, професійна мова, особливості, можливості Python.

Особенности программирования и новые возможности языка программирования python

С. П. Алёшин, Е. А. Бородина, А. С. Кикоть, И. Б. Жабран

Цель. Целью статьи является необходимость продемонстрировать рентабельность новых версий языка программирования Python, а также продемонстрировать объемы этого языка вместе с новым программным обеспечением. Содержание статьи представляет собой обзорный характер, которая позволяет понять особенности и новые возможности языка Python. **Результаты.** Было установлено, что для создания программ для разных целей применяют мощный инструмент Python. **Научная новизна.** Программы, написанные на Python работают точно так же, независимо от того, на какой операционной системе работает, а также в Python добавлены особенности, которые делают его широко применяемым. **Практическая значимость.** Рентабельность новых версий Python и объемы этого языка вместе с новым обеспечением дает детальный анализ областей, где применяется Python. **Выводы.** Вывод заключается в том, что у Python есть некоторые функции, которые делают его широко используемым. Представленные аргументы доказывают, что программа, написанная на Python, будет работать одинаково, независимо от того, в какой операционной системе она работает. Различия возникают только в редких случаях, и их легко предвидеть из-за доступности подробной документации.

Ключевые слова: Python, профессиональный язык, особенности, возможности Python.

С. С. Бульба, В. В. Давидов, Г. А. Кучук

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

МЕТОД РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ МІЖ КОМПОЗИТНИМИ ЗАСТОСУНКАМИ

Предмет розгляду – методи оптимального розподілу ресурсів. **Метою статті** є розробка методу розподілу ресурсів між композитними застосунками, орієнтованому на динамічний вибір алгоритму оптимізації. методи, що використовуються, – жадібні та мурашині алгоритми, кластеризаційний підхід. **Результати роботи.** Розглянуто узагальнення існуючих евристик динамічного планування, які відносяться до класу жадібних алгоритмів та знаходять на кожному кроці локально оптимальне рішення. Проведено укрупнену класифікацію методів розподілу пакету композитних застосунків. Проаналізовано два типи кластеризації - вертикальну та горизонтальну. Розглянута можливість планування наборів композитних застосунків на базі кластеризаційного підходу. Наведено спосіб розподілу наборів композитних застосунків як з використанням мурашиного алгоритму, так і на базі кластеризаційного підходу з використанням мурашиного алгоритму. Проаналізовано переваги та недоліки кожного із розглянутих підходів, що дало змогу визначити межі застосування кожного із підходів. **Висновки.** Запропоновано чотири різних підходи до розподілу ресурсів між композитними застосунками з використанням таких методів: жадібні алгоритми, мурашині алгоритми, вертикальна та горизонтальна кластеризація, сумісне використання мурашиного алгоритму та кластеризації. Розроблений метод дозволяє динамічно провести найкращий вибір. Подальші дослідження будуть направлені на розробку відповідного алгоритму.

Ключові слова: композитний застосунок, жадібний алгоритм, мурашиний алгоритм, кластеризація.

Вступ

Безперервно зростаючі вимоги в області складних обчислювальних систем призводять до необхідності розвитку нових методів реалізації обчислювальних ресурсів і сервісів, функціонування яких можуть задовольнити дані вимоги. Один з напрямків вирішення даної проблеми засноване на подальшому розвитку технологій розробки платформ розподілених обчислень для виконання композитних застосунків (КЗ). Під композитними застосунками в розподілених середовищах маються на увазі програми, які дозволяють користувачеві мати доступ до сервісів, розташованих на різних пристроях, не пов'язаних між собою. Даний підхід дає можливість в деякій мірі забезпечити процес обробки інформації завдяки тому, що вихід з робочого стану одного з сервісів не призводить до зриву процесу.

У процесі роботи в даному обчислювальному середовищі користувач надсилає запит на виконання необхідних обчислень, після чого дана система розподіляє отримане навантаження між наявними сервісами. Далі сервіси повертають оброблену інформацію назад, компонується відповідь і надається користувачеві. При цьому при паралельному виконанні декількох КЗ виникає задача розподілу ресурсів системи між КЗ.

Аналіз літератури. В [1 – 7] розглядаються різні підходи для розподілу ресурсів у інфокомунікаційних системах. При цьому застосовується цілий ряд оптимізаційних алгоритмів, зокрема, кожен із підходів, що пропонується, зазвичай є орієнтованим тільки на один із методів. Однак варто приділити увагу питанням, пов'язаним з динамічним вибором оптимізаційного алгоритму, при цьому вибір повинен бути орієнтовним на якість розподілу. Це і визначило завдання досліджень, тобто метою даної статті є розробка методу розподілу ресурсів між композитними застосунками, орієнтованому на динамічний вибір алгоритму оптимізації.

1. Жадібні алгоритми

Жадібний алгоритм — евристичний алгоритм, який приймає найкраще рішення, виходячи з наявних на поточному етапі даних [8]. Сутність жадібного алгоритму полягає локально оптимальному виборі на кожному кроці. Для реалізації алгоритму необхідно визначити такі елементи задачі:

- набір можливих варіантів, з яких робиться вибір;
- функція вибору, за допомогою якої знаходиться найкращий варіант;
- функція придатності, яка визначає придатність отриманого набору;
- функція цілі, яка оцінює цінність рішення та зазвичай не виражена явно;
- функція розв'язку, яка вказує на те, що знайдене кінцеве рішення.

Основний недолік жадібних алгоритмів – велика ймовірність того, що знайдені рішення не буде оптимальним. Основна перевага – швидкість знаходження рішення. Якщо постановка задачі потребує знаходження оптимального, а не раціонального рішення, то необхідно проведення аналізу можливостей його застосування.

До оптимізаційної задачі можна застосувати принцип жадібного вибору, якщо послідовність локально оптимальних виборів дає глобальний оптимальний розв'язок. Доведення оптимальності можна проводити за такою схемою: довести, що жадібний вибір на першому етапі не унеможливило шляху до оптимального розв'язку: для всякого розв'язку є інше, узгоджене із жадібним і не гірше першого, подалі довести, що підзадача, яка виникла після жадібного вибору на першому етапі, аналогічна початковій. Доведення проводиться методом математичної індукції [6].

Ідею, що лежить у використанні жадібних алгоритмів до розподілу ресурсів КЗ, можна описати таким чином:

- на кожному етапі розподілу ресурсів для КЗ розглядається деякий набір обчислювальних задач, які можуть належати різним КЗ;
- у існуючому наборі можуть міститися тільки задачі, виконання яких можливо на даний момент виходячи з відносин черговості графів КЗ;
- відповідно до значення деякого критерію вибору задач КВЗ вибирається одна ОЗ з набору КЗ, після чого вибрана ОЗ отримує ОБ відповідно до другого критерію призначення ресурсу КПП, приклад представлено на рис. 1;

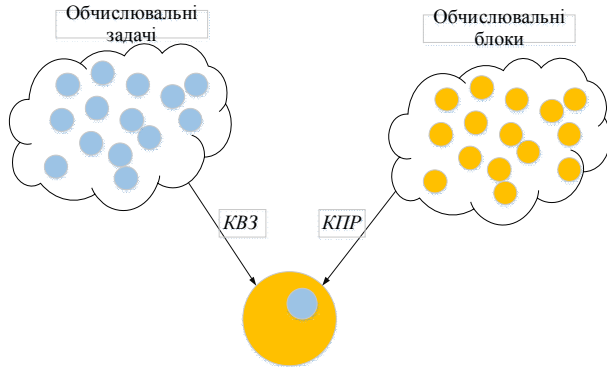


Рис. 1. Планування виконання КЗ з урахуванням критеріїв КВЗ та КПП

- поповнення множини КЗ новими ОЗ здійснюється за існуючими моделями.

Підхід, що розглядається, є узагальненням існуючих евристик динамічного планування, які відносяться до класу жадібних алгоритмів та знаходять на кожному кроці локально оптимальне рішення. У даному випадку прийняття рішення про призначення для всіх ОЗ здійснюється до їх запуску, тобто формується статичний план.

Для коректного розподілу ресурсів між ОЗ в представленому методі виникає необхідність в розподілі на базі критеріїв вибору завдання *MinEnd*, або *MaxEnd*. (табл. 1). Такий підхід дасть можливість враховувати витрати на передачу даних і можливість наявності попередньо зарезервованих часових вікон і вікон, зайнятих вже спланованими завданнями. Критерій вибору ресурсу дозволяє визначити ОБ з множини CP_{mn} для ОЗ що буде на нього назначена. Час завершення завдання на ресурсах обраного типу розраховується з урахуванням поточного завантаження ресурсів їх утилізації та часу комунікації.

Задамо множину ОЗ *StPar* призначених для розподілу. Множина *StPar* формуються з ОЗ які не мають батьківських обчислювальних задач або вони вже виконані.

Таблиця 1 – Опис критеріїв

Позначення	Вираз для розрахунку	Опис критерію
<i>КВЗ (критерій вибору завдань з набору)</i>		
MinTime,	$\min_{(m,n)} \tau_{mn}$	Планування за мінімальним часом виконання ОЗ
MaxTime	$\max_{(m,n)} \tau_{mn}$	Планування за максимальним часом виконання ОЗ
MinAvgTime	$\min_{(m,n)} \frac{\tau_{mn}}{card(CP_{smn})}$	Планування за мінімальним середнім часом виконання ОЗ
MaxAvgTime	$\max_{(m,n)} \frac{\tau_{mn}}{card(CP_{smn})}$	Планування за максимальним середнім часом виконання ОЗ
MinEnd,	$\min_{(m,n)} t_{mn}^{(1)}$	Планування за мінімальним часом завершення ОЗ
MaxEnd	$\max_{(m,n)} t_{mn}^{(1)}$	Планування за максимальним часом завершення ОЗ
MinAvgEnd,	$\min_{(m,n)} \sum_1^{card(CP_{smn})} t_{mn}^{(end)} / card(CP_{smn})$	Планування за мінімальним середнім часом завершення ОЗ
MaxAvgEnd	$\max_{(m,n)} \sum_1^{card(CP_{smn})} t_{mn}^{(end)} / card(CP_{smn})$	Планування за максимальним середнім часом завершення ОЗ
Suffrage	$\max_{(m,n)} (weig_m \min t_{mn}^{(1)} - \min t_{mn}^{(1)})$	Планування за максимальною різницею значення часу завершення ОЗ
<i>КПП (критерій призначення ресурсу)</i>		
MinTime	ОЗ призначаються на ОБ який за мінімальний час виконає її розрахунок	
MinEnd	ОЗ призначаються на ОБ який за мінімальний час завершить її розрахунок	
Rand	ОБ призначається випадково	
MinLoad	Завдання призначається на ОБ з мінімальним навантаженням	
MinUtil	Завдання призначається на ОБ з мінімальною утилізацією	

Для поповнення множини *StPar* існують такі методи:

- *PlanT*. Нова ОЗ додається до множини *StPar* лише у тому випадку коли виконуються умови: а) ОЗ не розподілена та не міститься в наборі; б) для неї розподілені всі батьківські ОЗ, які завершуються перед її виконанням .

- *ExecutT*. Проводиться розподіл ОЗ з множини *StPar*, далі множина *StPar* формується шляхом додавання ОЗ, у яких всі батьківські ОЗ були виконані.

Представлені критерії визначають групу методів розподілу *GreedPlan* яка складеться з *КВЗ*, *КПП*, *PlanT* *ExecutT*, отже розроблені методи розподілу

мають наступний вигляд *GreedPlan(KB3, KIP, PlanTExecutT)*. Представлений план може мати застосункові критерії при розподілі обчислювальних задач КЗ.

Отже різні методики розподілу в залежності від конфігурації ОР, числа КЗ і віддаленості крайніх термінів завершення будуть давати результати які відрізняються як з точки зору дотримання термінів виконання, так і з точки зору ефективності утилізації, а отже доцільно вибирати в якості еталонного план з найкращим значенням утилізації ресурсів.

2. Кластеризація завдань наборів композитних застосунків

Виконання розподілу пакету композитних застосунків можливо за допомогою таких методів [10]:

- розподіл по обчислювальним задачам, тобто КЗ представлені до розподілу об'єднуються, потім за допомогою обраного алгоритму розподілу формується метод розподілу для одного КЗ;
 - розподіл на основі пріоритетизації КЗ - композитні застосунки з пакету DS розподіляються відповідно до деякого порядку в залежності від їх пріоритету за обраним параметром;
 - розподіл на основі кластеризації ОЗ - множина обчислювальних задач NDS_{mn} розбивається на підмножини, які потім розподіляються на ОР в залежності від вимог розподілу.
- Існують такі типи кластеризації - вертикальна та горизонтальна.

При вертикальній кластеризації, кожний КЗ для розподілу на ОБ розбивається на групи ОЗ з врахуванням закінчення попередніх задач, рис. 2.

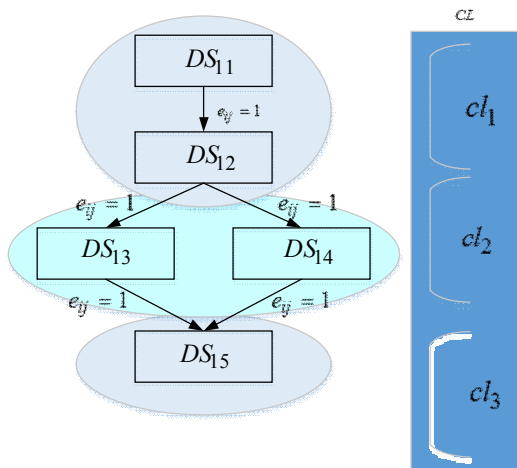


Рис. 2. Вертикальна кластеризація

При горизонтальній кластеризації виникає можливість входження завдань різних КЗ в один і той же кластер, приклад наведено на рис. 3. При горизонтальній кластеризації також є необхідність врахування закінчення попередніх задач. Процес розподілу при використанні представлених методів кластеризації ділиться на етапи, причому кожному етапу назначається набір завдань що підлягають розподілу. Додавання ОЗ до набору здійснюється тільки із застосуванням методу *ExecutT*

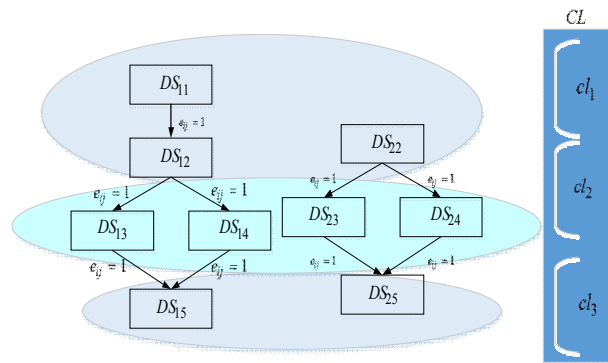


Рис. 3. Горизонтальна кластеризація

Етап розподілу на основі кластеризації полягає в розміщенні підмножини задач одного або декількох КП, відповідно число етапів залежить від способу групування завдань.

Так як вертикальна кластеризація може вважатися окремим випадком горизонтальної, формально спільне завдання кластеризації може бути описана розбиттям множини завдань $NDS_{mn} = \bigcup_{m=1}^{N_{DS}} \bigcup_{n=1}^{n_m} DS_{mn}$ що належать пакету КЗ DS на підмножину

$$CL = \bigcup_{k=1}^{Ncl} cl_k \quad (1)$$

де Ncl - кількість кластерів отриманих при розбитті множини NDS_{mn} , cl_k - кластер з номером k .

З дотриманням умов що кожна задача DS_{mn} належить певному кластеру cl_k , тобто $\forall DS_{mn} \in NDS_{mn} \exists cl_k \in CL$, та кожна задача входить лише до одного кластеру cl_k .

Крім того, при розподілі множини завдань КЗ NDS_{mn} на кластери cl_k необхідно враховувати що структура композитних застосунків задана ациклічним графом. Звідси виникає необхідність в дотриманні послідовності виконання ОЗ в залежності від заданої в структурі КЗ. Тобто кожне наступне завдання може виконуватися лише після завершення його попередника.

3.2.2 Планування наборів композитних застосунків на базі кластеризаційного підходу. Під час розподілу пакету КЗ DS методом кластеризації виникає необхідність в знаходженні способу формування кластерів cl_k з множини існуючих ОЗ NDS_{mn} . Під час кластеризації створена множина кластерів CL може характеризуватися такими параметрами як кількість кластерів та параметром кластеру. Параметром кластера може виступати мінімальний або максимальний: час завершення або старту ОЗ, час обчислення ОЗ та інше. Отже під час кластеризації ці параметри можуть бути не задані, попередньо задані, або задаються під час кластеризації.

Якщо під час розподілу ОЗ параметри кластеризації не задані, то виникають такі види кластерів як об'єднання усіх задач КЗ в один кластер, та кластеризація в залежності від КЗ. Перший підхід не дає змогу

навіть мінімально впливати на процес розподілу, тобто ми не маємо змоги впливати на початок чи завершення певного КЗ. Під час другого підходу число кластерів співпадає з кількістю КЗ. Такий розподіл завжди є коректним, а також дає можливість враховувати пріоритетність КЗ. Але такий підхід не дає змогу справедливо розподіляти часові вікна на обчислювальних блоках для виконання пакету КЗ.

Якщо число кластерів N_{cl} і параметри кластеризації попередньо задані, тоді виникає статична кластеризація з числом кластерів від 1 до N_p . Після цього ОЗ в випадковому порядку розподіляються по кластерам cl_k з множини CL . Під час такої кластеризації необхідно враховувати коректність розподілу після процесу кластеризації.

Якщо число кластерів N_{cl} задано, а параметри кластеризації задаються дід час кластеризації, то в такому випадку кожна ОЗ призначається певному кластеру cl_k в залежності від критерію розподілу. Для правильного розподілу ОЗ до кластеру виникає необхідність стежити за коректністю розподілу, а отже розглядати ОЗ від їх попередників або за допомогою методів *PlanT* або *ExecuT*.

Якщо під час розподілу ОЗ параметри кластеризації задаються під час кластеризації, то виникають наступні способи кластеризації:

- кластеризація на базі об'єднання - спочатку кожна ОЗ розподіляється в окремий кластер, після чого задаються параметри об'єднання кластерів і критерій закінчення кластеризації;
- динамічна кластеризація - один етап кластеризації в цьому випадку включає вибір ОЗ, для якої буде визначатися кластер, і призначення ОЗ існуючого кластера або створення нового кластера в залежності від параметру кластера.

Після задання способу кластеризації, виникає необхідність в засобі знаходження коректного порядку розподілу кластерів на ОБ. На даний момент існують засоби які базуються на методах *PlanT* або *ExecuT*. Тобто кластери упорядковуються один раз до початку розподілу на ОБ, або пошук наступного кластера проводиться перед кожним етапом розподілу на ОБ. Таким чином, число і спосіб взаємного розташування трьох основних етапів розподілу з використанням кластеризаційного підходу можуть варіюватися в залежності від конкретного алгоритму.

3.3.1 Розподіл наборів композитних застосунків на базі мурашиного алгоритму. Робота мурашиного алгоритму базується на моделюванні здатності мурахи знаходити оптимальний шлях до джерела їжі у дикій природі, а також адаптуватися до зміни умов при пошуку цього шляху [9]. Такі можливості зв'язані з використанням мурахами певного феромону для помітки пройденого шляху. Після того як феромон було нанесено мурахою, інший представник може використовувати цю інформацію для свого пересування, чим більше було нанесено феромону тим привабливіше стає даний шлях. Для підтримки можливості пошуку іншого шляху нанесений феромон з часом вивітрюється якщо його не

поновлювати. Моделювання вивітрювання феромону дає гарантію того що знайдене локально-оптимальне рішення не буде єдиним, тобто мурахи будуть шукати інші шляхи.

Для використання описаного алгоритму проведемо його модифікацію. У нашому випадку мурахи ми будемо вважати існуючі ОЗ DS_{mn} композитного застосунку DS_m що прийшов на обчислення, тоді шляхом вважатимемо ОБ певного типу, на якому може обчислюватися представлена ОЗ. Феромоном виступає блок статистики БС який тримає у собі значення критеріїв виконання ОЗ на обчислювальному блоці p_{si} що обчислює задачу яка надійшла. До критеріїв виконання відносяться: мінімальний або максимальний час виконання ОЗ, та навантаження ОБ, значення утилізації ресурсів, час комунікації між обчислювальними блоками.

Щоб описати роботу методів представленого алгоритму необхідно обрати обчислювальні задачі DS_{mn} для розподілу їх на множину ресурсів P , так щоб задача яка підтягаються розподілу не мала попередника. Для цього використаємо метод *ExecuT*, додавання нових задач також будемо проводити за допомогою даного методу. Для початку виконання алгоритму необхідно задати початкові значення евристичних метрик «феромонів», які будуть визначати привабливість *attrac* ОБ для виконання певної типової ОЗ. Це можливо завдяки тому що в мережі Укрзалізниці виконуються типові завдання існуючих АСК.

Графічне зображення наведено на рис. 4.

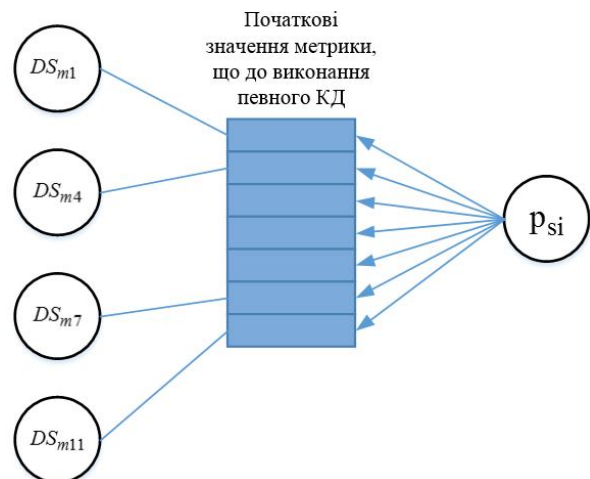


Рис 4. Початкові значення метрик

Якщо розподіл задачі виконуються в перше, тоді необхідно враховувати лише значення початкової привабливості *attrac* обчислювального блоку. Для цього необхідно привабливість певного параметру усіх ОБ з множини обчислювальних блоків CP_{mn} , за 100%. Тоді вірогідність розподілу ОЗ на певний ресурс буде проводитись випадково, але з урахуванням відсоткового значення привабливості кожного ресурсу. При подальшому розподілі необхідно враховувати як початкові значення привабливості параметрів так і значення статистичної при-

вабливості $attracSt$ кожного ОБ що знаходяться в блоці статистики.

В залежності від того яке значення ваги у представленому виразі мають параметри $attrac$ та $attracSt$, буде залежати значення зміни відсоткової частки привабливості.

На проміжку певного часу, представлений метод (Жадібної мурахи) дає змогу знайти кращий варіант розподілу ОЗ на обчислювальний блок з певною групою критеріїв. Але виникає проблема з пошуком нових ОБ які будуть виконувати обчислення задач КЗ, так як знайдений блок завжди буде кращим.

У такому випадку необхідно використовувати можливість вивітрювання статистичної привабливості ОБ за деякою функцією $wind()$, що буде зменшувати відсоткову привабливість представленого ОБ в загальній множині CP_{mn} , що здатна виконувати завдання DS_{mn} .

Представлений підхід дає змогу реалізувати пошук ОБ що буде мати найкращу привабливість для розподілу ОЗ в залежності від вибраного критерію, з урахування можливості зміни множини ресурсів доступних для виконання.

3.3.2 Розподіл наборів композитних застосунків на базі кластеризаційного підходу з використанням мурашиного алгоритму. Представлений метод розподілу ресурсів на основі мурашиного алгоритму дає змогу для розширення можливостей кластеризаційного підходу.

У даному випадку за мурахою вважається певний кластер cl_k з множини CL , який було сформовано за допомогою певного параметру кластеризації. Початкові значення привабливості $attrac$ ОБ задаються кожному кластеру cl_k який приймає участь у розподілі. Під час вибору критерію розподілу кластеру необхідно враховувати параметри за яким було сформовано вибраний кластер, якщо параметри було задано, то і пошук ОБ необхідно виконувати за такими критеріями. Метод розподілу ресурсів на основі мурашиного алгоритму може використовуватися як з вертикальною так і с горизонтальною кластеризацією після їх повного впорядкування. Але для кожного виду кластеризації необхідно використовувати різні початкові параметри привабливості $attrac$ ОБ.

Наступні кроки виконання мурашиного алгоритму на основі кластеризаційного підходу співпадають з описаними у підрозділі 3.3.1. Але параметри необхідно розуміти що вивітрювання параметрів статистичної привабливості необхідно використовувати в залежності від методу розподілу.

Загальна схема роботи мурашиного алгоритму на основі кластеризаційного підходу представлена на рис 5.

Для того щоб описані методи розподілу ресурсів використовувались з більшою гнучкістю створимо блок розподілу ресурсів (БРР). Створений блок буде нести відповідальність за вибір методу розподілу в залежності від отриманих статистичних даних розподілу пакету КЗ, або в залежності від

пріоритетності виконання КЗ. Тобто, якщо при розподілі та виконанні типового пакету композитних застосунків за певними параметрами кращі результати виконання було досягнуто при виконанні мурашиного алгоритму то в наступному розподілі буде дано пріоритет даному алгоритму.

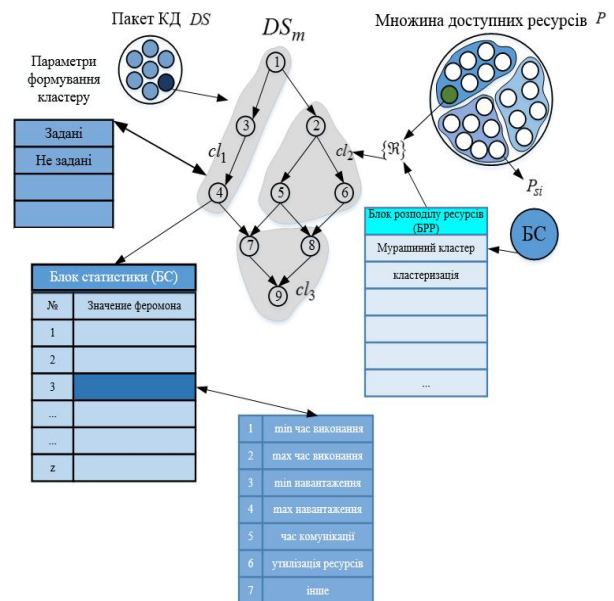


Рис. 5. Загальна схема розподілу за мурашиним алгоритмом на основі кластеризаційного підходу

Але для кращого контролю вибору розподілу пакету КЗ ми можемо також використовувати мурашиний алгоритм що дасть змогу корегувати проведений вибір в залежності від зміни протягом певного часу.

Висновки

Таким чином, у статті розглянуто узагальнення існуючих евристик динамічного планування, які відносяться до класу жадібних алгоритмів та знаходять на кожному кроці локально оптимальне рішення. Проведено укрупнену класифікацію методів розподілу пакету композитних застосунків. Проаналізовано два типи кластеризації - вертикальну та горизонтальну. Розглянута можливість планування наборів композитних застосунків на базі кластеризаційного підходу. Наведено спосіб розподілу наборів композитних застосунків як з використанням мурашиного алгоритму, так і на базі кластеризаційного підходу з використанням мурашиного алгоритму. Проаналізовано переваги та недоліки кожного із розглянутих підходів, що дало змогу визначити межі застосування кожного із підходів. Запропоновано чотири різних підходи до розподілу ресурсів між композитними застосунками з використанням таких методів: жадібні алгоритми, мурашині алгоритми, вертикальна та горизонтальна кластеризація, сумісне використання мурашиного алгоритму та кластеризації. Розроблений метод дозволяє динамічно провести найкращий вибір.

Подальші дослідження будуть направлені на розробку відповідного алгоритму.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Lord P. Seven Bottlenecks to Workflow Reuse and Repurposing Sattler // P. Lord, C. Goble // The Semantic Web – ISW 2005. – 2005. – P. 323-337.
2. Князьков К. В. Предмет ориентированные технологии разработки приложений в распределенных средах // К. В. Князьков, А. В. Ларченко // Известия вузов. Приборостроение. – 2011. – № 10. – С. 36–43.
3. Merlac V. Resources Distribution Method of University e-learning on the Hyperconvergent platform / V. Merlac, S. Smatkov, N. Kuchuk, A. Nechausov // Conference Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT'2018. Ukraine, Kyiv, May 24-27, 2018. – P. 136-140.
4. Коваленко А. А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А. А. Коваленко, Г. А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава. ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
5. Kuchuk G. Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems / G. Kuchuk, V. Kharchenko, A. Kovalenko, E. Ruchkov // East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – 2016. –P. 1-6. doi : <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655>.
6. Кучук, Г. А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г. А. Кучук, А. А. Коваленко, А. А. Янковский // Системы обработки информации: сборник научных трудов. – Х.: ХУ ВС, 2014. – Вып. 7 (123). – С. 93 – 96.
7. Ковальчук С. В. Облачные вычисления второго поколения: композитные приложения, интерактивные системы и семантические технологии [Электронный ресурс] / С. В. Ковальчук, А. В. Бухановский // МНТК «Инфокоммуникационные технологии». – Таруса, 2012. – Режим доступа: <http://keepslide.com/technology/8702#sthash.YH3i15Gy.dpuf>.
8. Кормен, Т., Лейзерсон, Ч., Ривест, Р., Штайн, К. Глава 16. Жадные алгоритмы // Алгоритмы: построение и анализ = Introduction to Algorithms / Под ред. И. В. Красикова. — 2-е изд. — М.: Вильямс, 2005. — 1296 с.
9. M. Dorigo, G. Di Caro & L. M. Gambardella, 1999. «Ant Algorithms for Discrete Optimization». Artificial Life, 5 (2): 137—172.
10. Хайдуков Д. С. Применение кластерного анализа.— М.: МАКС Пресс, 2009. — 287 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І. В. Рубан,
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків
Received (Надійшла) 28.06.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.08.2018

**Метод распределения ресурсов
между композитными отношениями**

С. С. Бульба, В. В. Давыдов, Г. А. Кучук

Предмет рассмотрения - методы оптимального распределения ресурсов. **Целью статьи** является разработка метода распределения ресурсов между композитными за отношениями, ориентированном на динамический выбор алгоритма оптимизации. методы, используемые, - жадные и муравьиные алгоритмы, кластеризационный подход. **Результаты.** Рассмотрены обобщения существующих эвристик динамического планирования, которые относятся к классу жадных алгоритмов и находят на каждом шагу локально оптимальное решение. Проведено укрупненную классификацию методов распределения пакета композитных приложений. Проанализированы два типа кластеризации - вертикальную и горизонтальную. Рассмотрена возможность планирования наборов композитных приложений на базе кластеризационного подхода. Приведены способ распределения наборов композитных за отношений как с использованием муравьиного алгоритма, так и на базе кластеризационного подхода с использованием муравьиного алгоритма. Проанализированы преимущества и недостатки каждого из рассмотренных подходов, что позволило определить границы применения каждого из подходов. **Выводы.** Предложено четыре различных подхода к распределению ресурсов между композитными за отношениями с использованием жадных алгоритмов, муравьиных алгоритмов, вертикальной и горизонтальной кластеризации, совместного использования муравьиного алгоритма и кластеризации. Разработанный метод позволяет динамично провести лучший выбор. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку соответствующего алгоритма.

Ключевые слова: композитный приложение, жадный алгоритм, муравьиный алгоритм, кластеризация.

**Method of distribution of resources
between composite application**

S. Bulba, V. Davydov, H. Kuchuk

Subject of consideration - methods of optimal allocation of resources. The purpose of the article is to develop a method for distributing resources between composite relationships, focused on the dynamic choice of optimization algorithm. methods used - greedy and ant algorithms, clustering approach. Results of work The generalization of existing heuristics of dynamic planning, which relates to the class of greedy algorithms and finds at each step a locally optimal solution, is considered. An enlarged classification of distribution methods for a composite application package is carried out. Two types of clustering, vertical and horizontal, are analyzed. Considered the possibility of planning sets of composite applications based on clustering approach. The method of distribution of sets of composites for relations using both ant algorithm and on the basis of a clustering approach using an ant algorithm is given. The advantages and disadvantages of each of the considered approaches were analyzed, which made it possible to determine the limits of application of each approach. Conclusions A four different approaches to resource allocation for the relationship between the composite using the following methods: Greedy algorithms, ant algorithms, vertical and horizontal clustering, sharing ant algorithm and clustering. The developed method allows dynamically to make the best choice. Further research will be aimed at developing an appropriate algorithm.

Keywords: composite application, greedy algorithm, ant algorithm, clusterization.

N. Ichanska, A. Gritsenko, V. Shefer

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

DEVELOPMENT OF SOFTWARE SERVICE FOR SALE OF VEHICLES

In article the software on car sale is studied, its development and testing, is constructed model of creation and development of the website in car sale on the example of the website on sale of cars of the Japanese vendors. The work is that it is the active Internet users who come to the aid of online stores, or, for example, sites selling car services designed to view the relevant equipment and characteristics of cars, without leaving their own home. Unlike a regular store, the Internet resource is open 24 hours a day, 7 days a week, available to any user, anywhere in the world and does not require financial costs for renting a room, greatly reduces the cost of staff. The popularity of Internet services is increasing day by day. It is no secret to anyone that a well-"untwisted" Internet resource brings revenue not less than its usual counterpart, and keeping and making the Internet resource in order is more profitable - there is no cost of renting a road and other expenses. **An object of research** of work are implementers of Web resources. The main objectives are implementation of development tools of structure of the Website and the interface, the choice of means for their implementation, program implementation of the website. **The work purpose** - improvement of quality of information visualization from automobile subject of the software by creation of the modern website. **Results** - it is offered the strategy of development for the website and its further development that allows to provide the competing possibilities of the created website. The technique of creation of the software is described and it is accented on parameters of convenient use of the website by the user, the main problems and shortcomings of the existing websites and their implementation in comparison with are covered again. **Conclusion** - the work proposed principles of program services offered allow to provide the competing possibilities of online store, in comparison with analogs. Methods are considered realize the main objectives of design of information filling of the website.

Keywords: software, development of service, testing of service, "usability", software, online store, content management system, HTML5, CSS3, structure of the website.

Introduction

Modern objective reality is establishment to different spheres of life activity of the personality, society and the state of the latest information technologies, creations on their basis of varying complexity of the information systems intended for bystry information exchange and access to different information sources [1].

Having carried out infographics of modern development of technologies and systems as one of criteria of the level of development of the state and the tool of an intensification of all processes in society, Ukraine, along with other countries, is interested in development of information infrastructure, by use in all spheres of business activities of the opportunities given by wide area networks of data transmission. A wide area network extremely perspective communication medium and communications on the example of which every year we can observe its development.

Thanking overflows of communication communications in a wide area network of people had an opportunity to communicate within all planet, irrespective of borders and distances. The Internet is one of signs of transition of society to information stage of development. 40 years - the Internet developed from confidential military technology into public, open system which influenced development of the planet and mankind in general.

For the last decades thanks to development of the Internet it was selected the direction - Web programming. With updating of standards of the requirement to the websites strongly changed, and now on the Internet it is necessary to provide for successful representation to the organization to the clients contact

forms, product catalogs, subscriptions, mailings with the laconic and thought-over design.

Adaptivity of the website is provided by means of modern HTML and CSS technologies. Web programming on client side includes a set of programming aids and a marking of the text. These means are divided into two main types: server and client [2, 3].

For today the websites business cards of the separate organizations purchase popularity. "Online" business cards is usually given in such detailed information on the owner of the website, and the small list of the main characteristics of cars, the corresponding sets and the price of them is shown.

The main task of such websites is providing detailed information about about the choice of sets as budget and expensive variations. Before creating the website on car sale, it is necessary to like autosubject, that is will be on sale and will interest it buyers, to satisfy all their requirements. Because many will not give the money to our not simple time for low-quality. By the way, in this case cars, with a small resource of use, for example new domestic cars. In this case, the website will offer new cars, and cars with a run, but at the same time with the Japanese quality [3, 4].

The number of people who prefer to find previously all necessary information in the Internet grows, however there is not a lot of resources with autosubject. In the presence of own website, visitors whom purchase of a car or diagnostics of faults of the car interests will make a basis of target audience that will allow to receive much more visitors on the website.

Therefore, development and deployment of the Website on car sale is urgent and reasonable [2, 3].

Evaluation of a problem and problem definition

Development of the websites of automobile subject includes a complex of actions which purpose consists in attraction on a resource as it is possible the bigger number of visitors, that is, prospective clients. It is known that from 80 to 90% of users are visited the website by means of such search giants as "Bing" and Google therefore also the profit of owners of a resource depends on bots as a result. One of the main distinctive features of the websites of an avtotematika is that purchase and car sale or spare parts practically always happens the mode.

Therefore the main objective of such website - to induce the potential buyer to visit an outlet and to purchase the car or necessary spare parts [3]. Features of search development of the website of automobile subject consist in specific contents of information which fills a resource. By drawing up a request of search for the automobile website it is necessary to pay attention to keywords which not only contain the root "car", but also it is a lot of other words which characterize automobile subject, for example, of "bus", "technical characteristics", "tuning", "spare parts", "repair of the check point and automatic transmission", "aerographics" and many others. Besides, it is worth paying attention and to the formulation of a request. For example, issue on demand "car" will be much bigger, than on demand "to purchase the car" or "to purchase the Toyota car".

Respectively, the request is shorter and simpler, the it is more difficult to untwist on it the website as the competition very big. For descriptive reasons it is possible to tell that on a request "car" of Google issues about 300 000 000 results, and on a request "to purchase the Toyota car" - about 800 000. The optimizer's task - to define what requests will be the most effective in a specific case, and to be on their basis the semantic center the website. The Internet contains a significant amount of the Websites on car sale in the present, however all of them are intended for what search of declarations in car sale, is not convenient for the normal user. An example of such website it is represented in the fig. 1. User-friendlier website on car sale was designed that is represented in the fig. 2.

The work purpose - improvement of quality of reproduction of information from automobile subject by creation of an Internet resource.



Fig. 1. Typical website on car sale

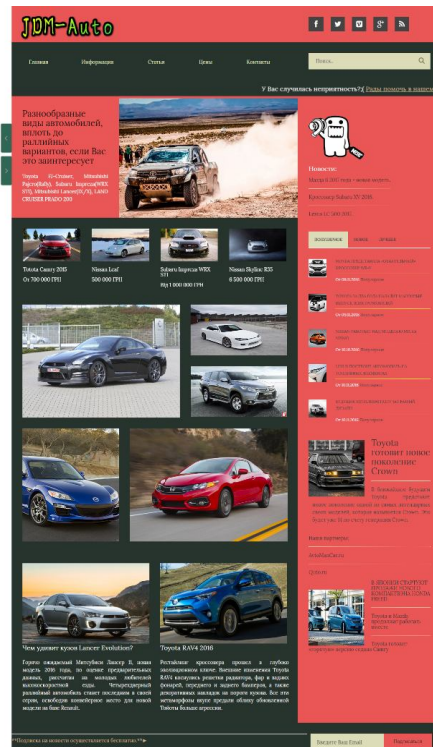


Fig. 2. Own designed website on car sale

Statement of the main material

Creation of the website - extremely laborious process, especially when a resource is created by one person. Earlier process of creation of the websites was available only to the large companies. Today creation of the websites in Ukraine and beyond its limits is a popular service which is available to everyone to the person. Demand for service in development of the websites grows in using areas, the automobile world to that not an exception.

Today, bigger demand gather the information websites of the organizations or subdivisions. So, we will define problems which are solved by the website on car sale. This work is that active Internet users are come to the rescue by Online stores, or for example the websites on car sale intended for viewing of the corresponding sets and characteristics of cars without coming out own house. Unlike normal shop, the online store is open 24 hours a day, 7 days a week, is available to any user, in an every spot on the globe and does not demand finance costs on tenancy, considerably cuts staff expenses.

Popularity of Online stores grows every day. Already for anybody not a secret that well the Online store brings "promotions" the income not less, than its normal analog and to hold and make Online store much profitably-there are no costs for the road lease and other expenses

Usability is a property of a product to be suitable for use. Also defines the general degree of convenience of a subject when using. If to tell about the website as about defined an Internet product, then it also possesses the usability in a varying degree. The usability is a characteristic which first of all is turned to visitors of the website. Search engines do not evaluate it, it only

indirectly influences ranging. The usability is more qualitative, the website is more popular, the product, the more traffic, and respectively is on sale better, issue in search engines is higher - everything is interconnected.

The low level of a usability, respectively, reduces attendance of the website. However, it does not mean at all that this website does not contain good content. On the contrary, content can be interesting, useful, and a usability - low. For example, interesting information is on the page of the multi-level menu with muffled the name which to reach neither one, nor in two clicks it will not turn out in any way. Or information is typed, but located so that it is impossible to read it [3].

The usability is considered high if having for the first time got on the website, the client at once understands how to use it. One more sign: the client, having got on the website suddenly, without problems remembers and easily is guided. The third sign is more from discharge of psychology, but is also important: it has to be pleasant to user to use the website. As criterion of a good usability it is possible to consider also lack of errors when using of the website. It is especially important, so far as concerns big the unrolled portals to requirements of registration, filling of questionnaires, interactive polls, games. In this respect the websites with games are especially indicative: the client, having visited the website and not having understood how to play what to begin with, having made several attempts, yet not the website [5, 6].

Important, it is possible to tell - the basic, software development of the website will be a development stage of the website. For a start, we will select a convenient development environment. Also we will carry out the alternative analysis of software of implementation and database management systems. Having selected the most suitable option for implementation of the tasks, we realize the main modules of the website.

Many Web designers agree in opinion that one of the main problems of Web design - variety of browsers and platforms, each of which differently supports HTML and the script.

With release of each new browser their characteristics and opportunities improve, but it does not mean that earlier versions at the same time

disappear. In the majority people are not inclined to pursue for the latest and the best. One are content with what they have, and others, most likely, work at computers of firms or organizations which selected browsers for them [3, 4]. How to make design of the Web page esthetic and technically interesting, without ignoring at the same time owners of the previous versions of browsers? Really

In Web design the main objective - to make content of the page available to most of users.

The successful design decision lies in "menu" of needs of audience and in clear vision as the website will be used [6]. Most of programmers in the work are guided by GoogleChrome and Firefox as they occupy the main market share. Nevertheless, there is some other browsers which can be taken into account, however almost all of them will be based on projects (Chromium, some also with compression of data volume of the Operaturbo project) Creation of the website - quite not easy process if it is created only by one person. Earlier development of the websites was available only to the large organizations. But today creation of the websites is a widespread type of a earnings and is available to everyone.

Conclusion

The principles of implementation of the website were analyzed. Also the basic principles which will be applied at design of information filling of the website and navigation aids were defined. It was defined types of information support and are briefly characterized them.

Placement of the latest news from the automobile world, the interesting facts and events, the discussed problems, new cars is reasonable.

The module of news is in detail described and realized, provides adding, editing and removal of news, also it provides output of the latest news on the homepage of the website. Also it was developed the interface and logic of work of the website, completely realize functions, are assigned to them. For more informative filling it was used freeze frame images which provide content of the website of a variety. Also it was shown the ropes and are considered such concept as "usability".

REFERENCES

1. B. Khoghan HTML5 y CSS3. Veb-razrabotka po standartam novogho pokoleniya- 4-e yzd. – SPb.: Yzdatel'skiy dom «Piter», 2010. – 260 s.
2. PiterLabbers, BrajanOlbers, Frenk Salim HTML5 dlya professionalov. Moshnyeinstrumenty dlya razrabotkisovremennyh veb- prilozhenij – SPb.: Izdatel'skiy dom «Piter», 2011. – 272 s.
3. Usability, available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Usability>
4. Romanyuk O.N. Veb-dizajn i komp'yuterna grafika. Navchalnij posibnik / O.N. Romanyuk, D.I. Katyelnikov, O.P. Kosovec. – V.: VNTU, 2007. - 147 s.
5. E. Frimen, E. Frimen. Izuchaem HTML, XHTML i CSS = HeadFirst HTML with CSS & XHTML. — P.: «Piter», 2010. — 656 s.
6. Stiven Shafer.HTML, XHTML i CSS. Bibliya polzovatelya, 5-e izdanie.—M.:«Dialektika», 2010.— 656 s.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Б. Хоган HTML5 и CSS3. Веб-разработка по стандартам нового поколения– 4-е изд. – СПб.: Издательский дом «Питер», 2010. – 260 с.

2. ПитерЛабберс, БрайанОлберс, Фрэнк Салим HTML5 для профессионалов. Мощные инструменты для разработки современных веб-приложений – СПб.: Издательский дом «Питер», 2011. – 272 с.
3. Юзабіліті [електронний ресурс] Режим доступу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Юзабіліті>!
4. Романюк О.Н. Веб-дизайн і комп'ютерна графіка. Навчальний посібник / О.Н. Романюк, Д.І. Кательніков, О.П. Косовець. – В.: ВНТУ, 2007. - 147 с.
5. Э. Фримен, Э. Фримен. Изучаем HTML, XHTML и CSS = HeadFirst HTML with CSS & XHTML. — П.: «Питер», 2010. — 656 с.
6. Стивен Шафер. HTML, XHTML и CSS. Библия пользователя, 5-е издание.—М.:«Диалектика», 2010.— 656 с.

Рецензент: д-р техн. наук, доц. О. В. Шульга,
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, Полтава
Received (Надійшла) 11.06.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.08.2018

Розробка програмного сервісу з продажу автомобілів

Н. В. Ічанська, А. В. Гриценко, В. О. Шефер

У статті вивчено програмне забезпечення з продажу автомобілів, його розробка та тестування, побудовано модель створення та розвитку сайту з продажу автомобілів на прикладі сайту з продажу автомобілів японських виробників. Оскільки сьогодні, все більшої популярності набирають інформаційні сайти окремих організацій або підрозділів, то можна визначити проблеми, які вирішує сервіс з продажу автомобілів. Робота заключається в тому, що саме активним користувачам мережі Інтернет приходять на допомогу Інтернет-магазини, або ж до прикладу сайти-сервіси з продажу автомобілів, призначені для перегляду відповідних комплектацій та характеристик автомобілів, не виходячи із власної оселі. На відміну від звичайного магазину, Інтернет-ресурс відкрито 24 години на добу, 7 днів на тиждень, доступний будь-якому користувачеві, в будь-якій точці планети і не потребує фінансових затрат на аренду приміщення, значно знижує витрати на персонал. Популярність Інтернет-сервісів зростає з кожним днем. Уже ні для кого не секрет, що добре «розкручений» Інтернет-ресурс приносить доходів не менше, чим його звичайний аналог, причому утримувати і виготовляти Інтернет-ресурс на порядок вигідніше - відсутні затрати на дорогу, оренду і інші витрати. **Предметом** дослідження роботи є засоби реалізації Web-ресурсів. Основними завданням є реалізація засобів розробки структури Web-сайту та інтерфейсу, вибір засобів для їх реалізації, програму реалізацію web-сайту. **Мета роботи** – покращення якості візуалізації інформації із автомобільної тематики програмного забезпечення шляхом створення сучасного веб-сайту. **Результати** – запропоновано стратегію розвитку сайту та подальший його розвиток, що дозволяє забезпечити конкуруючі можливості створеного сайту. Описано методіку створення програмного забезпечення та акцентовано на параметрах зручного використання сайту користувачем, висвітлено основні проблеми та недоліки існуючих сайтів та їх запровадження у порівнянні з новоствореним. **Висновок** – принципи розробки програмних сервісів, запропоновані у роботі, дозволяють забезпечити конкуруючі можливості інтернет-магазину, порівняно із аналогами. Розглянуті методи реалізують основні задачі проектування інформаційного наповнення сайту.

Ключові слова: програмне забезпечення, розробка сервісу, тестування сервісу, «юзабіліті», програмні засоби, інтернет-магазин, система керування вмістом, HTML5, CSS3, структура сайту.

Разработка программного сервиса по продаже автомобилей

Н. В. Ичанская, А. В. Гриценко, В. А. Шефер

В статье изучено программное обеспечение по продаже автомобилей, его разработка и тестирование, построена модель создания и развития сайта по продаже автомобилей на примере сайта по продаже автомобилей японских производителей. Поскольку сегодня, все большую популярность набирают информационные сайты отдельных организаций или подразделений, то можно определить проблемы, которые решает сервис по продаже автомобилей. Работа заключается в том, что именно активным пользователям сети Интернет приходят на помощь Интернет-магазины, или к примеру сайты-сервисы по продаже автомобилей, предназначенные для просмотра соответствующих комплектаций и характеристик автомобилей, не выходя из собственного дома. В отличие от обычного магазина, Интернет-ресурс открыт 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, доступен любому пользователю, в любой точке планеты и не требует финансовых затрат на аренду помещения, значительно снижает расходы на персонал. Популярность интернет-сервисов растет с каждым днем. Уже ни для кого не секрет, что хорошо «раскрутки» Интернет-ресурс приносит доходов не менее, чем его обычный аналог, причем удерживать и производить Интернет-ресурс на порядок выгоднее - отсутствуют затраты на дорогу аренду и другие расходы. **Предметом** исследования работы являются средства реализации Web-ресурсов. Основными задачами являются реализация средств разработки структуры Web-сайта и интерфейса, выбор средств для их реализации, программную реализацию web-сайта. **Цель работы** - улучшение качества визуализации информации с автомобильной тематики программного обеспечения путем создания современного сайта. **Результаты** - предложено стратегию развития сайта и дальнейшее его развитие, что позволяет обеспечить конкурирующие возможности созданного сайта. Описана методика создания программного обеспечения и акцентировано на параметрах удобного использования сайта пользователем, освещены основные проблемы и недостатки существующих сайтов и их внедрение в сравнении с вновь. **Вывод** - принципы разработки программных сервисов, предложенные в работе, позволяют обеспечить конкурирующие возможности интернет-магазина, по сравнению с аналогами. Рассмотрены методы реализуют основные задачи проектирования информационного наполнения сайта.

Ключевые слова: программные средства, интернет-магазин, система управления содержимым, WordPress, базы данных, язык гипертекстовой разметки, система управления базами данных, конкурентоспособность, методы разработки.

В. В. Кальченко

Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського “ХАІ”, Харків, Україна

ОГЛЯД МЕТОДІВ ПРОВЕДЕННЯ ТЕСТУВАННЯ НА ПРОНИКНЕННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗАХИЩЕНОСТІ КОМП’ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Предметом статті є аналіз найбільш розповсюджених методів проведення тестування на проникнення в комп’ютерні системи. **Результати.** Проаналізовано міжнародні стандарти і керівництва з інформаційної безпеки, розглянуті методології проведення тестування на проникнення, проаналізовано нормативні акти різних країн в яких закріплено вимоги з проведення даного виду тестування. Наведено перелік найбільш розповсюджених міжнародних методологій проведення пентестінгу, надано їх короткий опис. Проаналізовано методи проведення пентестінгу, визначені основні переваги і недоліки таких методів. **Висновок.** Запропоновано класифікацію методів тестування на проникнення для оцінки захищеності комп’ютерних систем.

Ключові слова: тестування на проникнення, пентестінг, комп’ютерна мережа, захист інформації.

Вступ

Проникнення комп’ютерів у всі сфери життя людини призвело не тільки до пришвидшення фінансових розрахунків, надання послуг, оприлюднення інформації, але й неминуче створило нові загрози, як для суспільства так і держави в цілому. Основними видами загроз для комп’ютерних систем на даний час є загрози порушення доступності інформаційних ресурсів, що зберігаються в даних системах, та порушення конфіденційності і цілісності інформації [1]. Згідно останнього дослідження компанії Cisco, кожна з 53% атак на комп’ютерні мережі завдали підприємствам та організаціям збитків більше ніж на 500 000 доларів США. Причому основною причиною даної ситуації в цій сфері є недостатня кількість спеціалістів в сфері інформаційної безпеки, що призводить до неможливості впровадження нових заходів з захисту та проводити розслідування інцидентів інформаційної безпеки. [2] Проаналізувавши повідомлення в засобах масової інформації, повідомлення команди на реагування на комп’ютерні надзвичайні події України (CERT-UA) за декілька останніх років варто констатувати, що організовані групи злоумисників здійснюють втручання в роботу комп’ютерних систем органів державної влади, органів місцевого самоврядування, установ, підприємств, організацій та об’єктів критичної інфраструктури України. Це в свою чергу призводить до блокування роботи установ, матеріальних та репутаційних збитків. В нашій країні найбільш резонансними стали атаки BlackEnergy на інформаційно-телекомунікаційні системи Міністерства фінансів, Державної казначейської служби, та атаки з застосуванням вірусу PetyaA [2]. Варто визнати, що на даний час в Україні законодавство в сфері захисту інформації застаріло і не відповідає вимогам сьогодення. Це в свою чергу призводить до того, що рівень захисту комп’ютерних систем не відповідає тим загрозам, які існують. Метою даної роботи є аналіз інформації, яка стосується питань визначення рівня захищеності інформації в комп’ютерних системах, узагальнення отриманої інформації та вироблення відповідних пропозицій для вітчизняних підприємств, установ, організацій.

Керівництва з проведення аудиту інформаційної безпеки

В класичному варіанті, для перевірки оцінки захищеності інформації, проводять аудит інформаційної безпеки. Прикладами стандартів і керівництв в області такого роду аудиту є: «IT Audit Framework 2nd Edition» (ITAF), Cobit, International Professional Practices Framework (IPPF) for Internal Auditing Standards, Global Technology Audit Guide» (GATG), Guide to the Assessment of IT Risk» (GAIT), ISO/IEC 27007: Guidelines for information security management systems auditing. Однією з важливих частин такого роду аудиту, є проведення тестування на проникнення до комп’ютерної системи організації-замовника (pentesting, пентест).

Тест на проникнення це симуляція атаки на систему, мережу, частину обладнання чи інші засоби обслуговування, з метою доказу того, наскільки ця система вразлива для реального нападу. Процес тестування максимально схожий на процес злому, який проводить злоумисник. В ході тесту відповідний фахівець (група фахівців) намагається отримати доступ до інформації, яка обробляється в комп’ютерній системі, отримати контроль над роботою системи, або вивести її з ладу. Такий фахівець (пентестер) виступає в ролі злодія і намагається з’ясувати найбільш вразливі місця в системі, зафіксувати їх в звіті і передати відповідним працівникам організації-замовника для усунення. Під час проведення тесту йде визначення того, як система реагує на атаку (в незалежності від того можливо чи ні порушити захист системи) і яку інформацію можна отримати в системі. За результатами проведених робіт власник системи отримує звіт в якому вказуються недоліки в системі інформаційної безпеки підприємства та надаються практичні рекомендації щодо усунення виявлених вразливостей. Тест дозволяє отримати актуальну, незалежну оцінку захищеності інформаційних систем, дозволяє зрозуміти наскільки якісно побудовані процеси інформаційної безпеки, оцінити правильність налагоджень серверів і робочих станцій.

Найчастіше тести проводять для:

– оцінки захищеності нової інформаційної системи, де буде оброблятися чутлива інформація;

- оцінки захищеності системи після її модернізації;
- виконання вимог міжнародних стандартів;
- планування витрат на інформаційну безпеку.

В західних країнах тестування на проникнення є досить розповсюдженим і необхідність його проведення нормативно закріплено в відповідних законах, постановах, стандартах, тощо. Такими прикладами можуть бути:

- для американських публічних компаній, акції яких торгуються на фондових біржах – згідно вимог американського закону SOX Сарбейнса-Окслі (Sarbanes-Oxley Act);

- для американської медичної галузі та компаній, які мають справу з інформацією про здоров'я людей – згідно вимог американського закону про охорону та відповідальність за інформацію отриману в результаті медичного страхування HIPAA (Health Information Portability and Accountability Act);

- для банківської сфери – згідно вимог міжнародного стандарту безпеки даних індустрії платіжних карт PCI DSS (Payment Card Industry Data Security Standard), розробленому платіжними системами Visa і MasterCard.[3];

- для міжнародних компаній – згідно вимог міжнародного стандарту ISO/IEC 27001.

Стосовно українського законодавства варто констатувати, що необхідність проведення тестування на проникнення нормативно закріплена в «Положенні про організацію заходів із забезпечення інформаційної безпеки в банківській системі України», затвердженого Постановою Правління Національного банку України від 28.09.2017 №95 [4] і є обов'язковим для банків.

Враховуючи той факт, що комп'ютерні системи відрізняються одна від одної за сотнями характеристик, постає питання раціонального способу проведення тестування на проникнення. При чому в результаті необхідно отримати якісну оцінку захищеності та надати конкретні пропозиції щодо підвищення рівня захищеності системи, що оцінювалась.

Існуючі методології для тестування інформаційної безпеки

На даний час найбільш розповсюдженими методологіями проведення тестування на проникнення є:

- The Open Source Security Testing Methodology Manual (OSSTMM);
- The National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Publication 800-115;
- OWASP Testing Guide;
- Penetration Testing Execution Standard (PTES);
- Information Systems Security Assessment Framework (ISSAF).

OSSTMM – міжнародна методологія для тестування інформаційної безпеки, розроблена ISECOM (Institute for Security and Open Methodologies) [5]. Метою даної методології є надання керівних принципів для процесу оцінки безпеки. Дана методологія виділяє 3 загальні класи безпеки: COMSEC (communication security channel), PHYSSEC(physical security

channel), SPECSSES(spectrum security channel). Дані класи поділяються на 5 каналів взаємодії з активами організації, які повинен перевірити пентестер, а саме: фізичної безпеки, бездротових мереж, інформаційних та телекомунікаційних мереж, людський фактор (використати методи соціальної інженерії). Основними перевагами даної методології є: детальний опис процедури підготовки до тестування, детально опрацьовані методи і підходи до тестування, детально описані основні терміни та поняття в галузі інформаційної безпеки. Проте дана методологія не містить опису інструментів, які повинні бути використані для цього.

Методологія NIST Special Publication 800-115 виділяє як мінімум 3 фази проведення оцінювання інформаційної безпеки: планування, виконання, пост-експлуатація (аналіз отриманих даних, виявлення причин що призвели до появи вразливостей, розробка рекомендацій до знешкодження вразливостей і розробка звіту). Перевагою даного документа є те, що в ньому в загальному вигляді описані техніки перевірки безпеки комп'ютерної системи і їх короткий опис. Наприклад сніфінг мережі, перевірка log-файлів, перевірка налаштувань системи, перевірка цілісності файлів, сканування вразливостей, сканування бездротових мереж, тощо. Крім того, в даному документі приводяться посилання на програмні продукти, які необхідно використовувати для проведення тестування та посилання на інші нормативні документи та методології. Проте серед недоліків варто зазначити, що даний документ було розроблено в 2008 році. На даний момент він не відповідає сучасному стану розвитку інформаційних технологій та методам проникнення у комп'ютерні мережі.

Методологія OWASP [6] є прикладом детально опрацьованого документа, який детально охоплює питання безпеки веб-сайтів, веб-додатків. Проте якщо веб-сайт, веб-додатки підприємства не є критичними з точки зору бізнесу, то тестування на проникнення з застосуванням даної методології не є доцільним.

Методологія The Penetration Testing Execution Standard (PTES) фокусується лише на питаннях проведення тестування на проникнення [7]. Дана методологія виділяє 7 фаз тестування: визначення початкової інформації для тестування, збір необхідних даних, визначення векторів атак, аналіз вразливостей цільової системи, використання вразливостей для підтвердження можливості обходу засобів захисту, пост-експлуатація, складання звітних матеріалів. Перевагою даної методології є детально опрацьована послідовність дій з перевірки програмної захищеності комп'ютерних мереж. В свою чергу питанням фізичного захисту комп'ютерної мережі, питанням використання методів соціальної інженерії не приділяється достатньої уваги.

Методологія ISSAF дозволяє змоделювати вимоги до внутрішніх заходів з безпеки, і направлена на оцінку безпеки комп'ютерних мереж, систем та додатків[8]. Дана методологія більш детально ніж PTES фокусується на питаннях перевірки безпеки комп'ютерних систем та визначає яким саме чином

використовувати той чи інший інструмент. Проте як і NIST, дана методологія є застарілою (2005 року).

Класифікація методів тестування та їх використання

Проте, як зазначалось вище, кожна з методологій має деякі свої особливості, недоліки і переваги. При проведенні тестування на проникнення постає питання оптимального вибору методів тестування, їх узгодження з представниками організації-замовника та врахування особливостей цільової системи. Враховуючи даний факт, пропонується наступна класифікація методів тестування на проникнення (табл. 1). За місцем розташування особи, що проводить тестування, відносно периметру організації-замовника, можна виділити 2 напрямки тестування: зовнішнє і внутрішнє.

Так як більшість атак на комп'ютерні системи відбуваються через мережу Інтернет, то зовнішнє тестування на проникнення дозволяє отримати та оцінити ризики таких атак. При зовнішньому тестуванні пентестерам повідомляється початкова інформація (назва компанії, офіційний сайт, адреси електронних поштових скриньок, ір-адреси, тощо) і задачею тестування становиться отримання доступу до внутрішньої мережі організації-замовника та її подальше дослідження. Як правило при такому тестуванні йде оцінка брандмаєра, систем які знаходяться в демілітаризованій зоні (Demilitarized Zone - DMZ), сервісів віддаленого доступу (Remote Access Service - RAS), тощо.

Згідно [9] при проведенні тестування на проникнення, в 68% випадків вдавалось подолати мережевий периметр та потрапити до корпоративної мережі. При цьому по результатам 2017 року, рівень захищеності мережевого периметру залишився на рівні 2016 року.

При внутрішньому тестуванні пентестеру надається можливість підключити своє обладнання до комп'ютерної мережі, що буде тестуватись. В цьому випадку не потрібно знаходити шляхи потрапляння в внутрішню мережу та обходити засоби захисту. Внутрішній тест дозволяє оцінити які можливості будуть мати зловмисники в разі знаходженні шляхів потрапляння в внутрішню мережу, та можливості зловмисників зі складу працівників організації. За даними компанії Infowatch, 58,3% всіх випадків витоку інформації з комп'ютерних мереж організацій по всьому світу сталося з вини персоналу.[11] В свою чергу, за даними компанії Positive Technologies, в 2016-2017 роках в 100% випадків при внутрішньому тестуванні корпоративних мереж вдавалось отримувати повний контроль над мережею. При чому для отримання повного доступу, висока кваліфікація зловмисника не потребувалась. Основними недоліками в безпеці комп'ютерної мережі були відсутність оновлення операційних систем, використання користувачами словарних паролів, недоліки протоколів які дозволяли перенаправляти трафік та отримувати інформацію про конфігурацію мережі. [5]

Таблиця 1 – Класифікація методів тестування на проникнення

№	Ознака тестування	Види тестування
1.	За розташуванням програмно-апаратних засобів та пентестера відносно периметру організації-замовника	Зовнішнє
		Внутрішнє
2.	За обізнаністю пентестера про цільову систему	Білий ящик
		Чорний ящик
		Сірий ящик
3.	За обізнаністю технічних працівників організації-замовника про проведення тестування	Відкрите
		Приховане
4.	За характером заходів, що проводяться	Пасивне
		Агресивне
		Обережне
		Прораховане
5.	За повнотою виконання тестування	Повне
		Обмежене
		Фокусоване
6.	За видом інструментів, що використовуються	З застосуванням програмно-апаратних засобів
		З застосуванням методів соціальної інженерії та проникнення на контрольовану територію

За рівнем обізнаності пентестера виділяють 3 основних методи тестування: білий ящик (whitebox), чорний ящик (blackbox), сірий ящик (graybox). Дані

методи загальновідомі та широко використовуються. В відповідній літературі та наукових статтях наводиться досить короткий опис методів проведення

тестування, як такого. Враховуючи даний факт, автором пропонується наступний узагальнений опис методів тестування на проникнення, для оцінки стану захищеності комп'ютерних систем.

При оцінці методом білого ящика замовник надає пентестеру повну інформацію про цільову систему, засоби захисту, необхідну технічну документацію. Можливе навіть надання адміністративного доступу до відповідних сервісів та систем. Тестування проводиться у взаємодії зі спеціалістами служби інформаційної безпеки підприємства. Основне завдання тестування зводиться до виявлення вразливостей та оцінки ризиків проникнення в систему. Даний спосіб дозволяє отримувати найбільш повну картину вразливостей об'єкта тестування, та виявляти найбільшу кількість векторів атаки. Варто зазначити що при такому підході, тестування проходить досить швидко і більш якісно, але в той же самий час пентестер знаходиться в більш вигідному становищі ніж справжній зловмисник в реальній ситуації.

З метою унеможливлення порушення нормального функціонування системи, даний метод рекомендується застосовувати для тестування комп'ютерних мереж, що забезпечують діяльність критичної інфраструктури або систем де припинення роботи призведе до непередбачуваних наслідків, фінансових збитків, притягнення до адміністративної (кримінальної) відповідальності.

При оцінці методом чорного ящика можна спостерігати зворотню ситуацію. В даному випадку замовник не надає пентестеру ніякої конкретної інформації про об'єкт тестування, або надає необхідний мінімум (назва компанії, сайт,). Це один з найбільш приближених до реальності метод тестування. Про проведення цього тесту знають, як правило, керівники відповідних служб безпеки. Завданням пентестера становиться проникнення в систему максимально непомітно без залишення слідів такого вторгнення.

Результати тестування методом чорного ящика будуть дуже залежати від кваліфікації пентестера, і можуть не відображати справжньої ситуації з інформаційною безпекою через те, що деякі сервіси можуть бути не проаналізовані під час тестування.

Найбільш оптимальним за швидкістю і якістю є метод тестування сірий ящик. В даному випадку пентестеру надають деяку інформацію про систему. Пентестеру не потрібно витрачати час для пошуку інформації для проведення тестування (наприклад ір-адреси серверів, web-сайти підприємства, адреси електронної пошти, тощо). При даному виді тестування пентестер може виступати в ролі інсайдера (менеджера, робітника підприємства), якому доступний мінімальний перелік інформації про об'єкт тестування. Використовуючи дану інформацію (наприклад аккаунт в системі) тестувальники намагаються розширити свої права в системі, отримати доступ до інформації, що захищається.

За рівнем обізнаності працівників організації-замовника про проведення процедури тестування, виділяють: приховане та відкрите тестування.

В разі, якщо замовник хоче перевірити не тільки первинні системи безпеки, але й системи попередження вторгнення (Intrusion Detection System - IDS), організаційні чи кадрові структури (наприклад процедури інформування керівництва про нештатні події) – рекомендується застосувати приховане тестування (без повідомлення відповідних технічних працівників установи). Про приховане сканування повідомляються керівники підрозділів безпеки та/або керівник підрозділу, що здійснює адміністрування комп'ютерних систем. Такий метод крім основної мети дозволяє оцінити дії і професіональні навички працівників організації, недоліки у процедурах взаємодії між підрозділами та перевірити якість реалізації політики безпеки організації. [12]

Проте в тих випадках, коли приховане тестування не призводить до будь-яких дій зі сторони технічних працівників, або коли тестування проводиться методом білого ящика – варто включити в команду технічних працівників організації замовника. В цьому випадку тестування буде відкритим. Особливо важливо проводити відкрите тестування для критичних систем. В разі непередбачених ситуацій це дозволить технічним працівникам відреагувати на події та попередити небажані наслідки або матеріальні збитки. Крім того відкрите тестування дозволяє технічним спеціалістам ознайомитись з методами і засобами проведення тестування, пройти таким чином навчання і наочно ознайомитись з можливим алгоритмом дій зловмисників. [11]

За характером заходів що проводяться, методи тестування можна поділити на:

– пасивне тестування – при такому тестуванні цільова система сканується з метою виявлення відомих вразливостей. В разі їх знаходження вони не експлуатуються, а лише фіксуються;

– агресивне тестування – при такому тестуванні пентестер використовує всі можливі вразливості, такі як переповнення буфера навіть на тих системах, призначення яких невідомо, або виведення з ладу систем безпеки за допомогою атаки «відмова в обслуговуванні» (DoS-attack). В цьому випадку тестувальник повинен усвідомлювати, що в доповнення до цільової системи, сусідні системи або мережеві компоненти можуть також постраждати внаслідок тестування.[5, 13]

– обережне тестування – в цьому випадку виявлені вразливості будуть використані лише тоді, коли цільова система не постраждає від їх експлуатації. Прикладом може бути використання стандартних паролів або спроби отримання доступу до каталогів веб-серверу;

– прораховане тестування – пентестер також намагається використати знайдені вразливості, які можуть призвести до системних збоїв. Наприклад – автоматичний підбір паролів і переповнення буферів у точно визначених цільових системах. Але перш ніж використати ці вразливості пентестер прораховує можливі наслідки, і в залежності від цього приймає рішення щодо своїх подальших дій.

За повнотою виконання тестування, методи можна поділити на наступні види:

– повне тестування – даний тип тестування варто проводити для систем, які тестуються вперше. Це дозволить забезпечити виявлення недоліків в усіх комп'ютерних системах організації. При цьому час затрачений на тестування залежить від кількості таких систем та їх одноманітністю. Якщо конфігурації систем суттєво відрізняються одна від одної, кожна система повинна бути окремо обстежена. Проте варто розуміти що системи, які адмініструються іншими організаціями, або зовнішні системи можуть бути необстежені;

– обмежене тестування – при цьому тестування замовник чітко визначає які саме системи або служби повинні бути протестовані. Наприклад всі системи в демілітаризованій зоні, або системи які виконують певні задачі;

– фокусоване тестування – застосовується для тестування однієї підмережі, системи або служби. Даний вид тестування є доречним після модифікації або розширення комп'ютерної системи. Такий тест звичайно надає інформацію про протестовану систему, але не дає інформації про захищеність всієї інфраструктури організації.[12]

Тестування в залежності від інструментів, що використовуються, можна поділити на наступні види:

- з застосуванням програмно-апаратних засобів;
- з застосуванням методів соціальної інженерії та проникнення на контрольовану територію.

В класичному випадку тестування на проникнення здійснюється через комп'ютерну мережу. Для його проведення використовуються, як окремі програмні засоби так і набори програм, які постачаються разом зі спеціалізованими операційними системами.

Люди часто являють собою найслабшою ланкою в системі безпеки організації. Як правило це пов'язано з низьким рівнем обізнаності з інформаційної безпеки, довірливістю, формальним підходом до виконання службових обов'язків, тощо. Задачею пентестера є заставити користувача цільової системи (наприклад бухгалтера) запустити програму надіслану в поштовому повідомленні, перейти за посиланням, або повідомити пароль по телефону. Використання методів соціальної інженерії дозволяють отримувати бажані для пентестера результати з меншими затратами сил і засобів ніж класичними методами. Обов'язком пентестера в цьому випадку є детально описати як успішні, так і не успішні атаки. Це дозволить в майбутньому адаптувати програми навчання для працівників і таким чином підвищити їх рівень обізнаності в сфері інформаційної безпеки.

Сучасні засоби безпеки дозволяють забезпечити досить високий рівень захищеності системи, і іноді пентестерам не вдається обійти дані засоби, або більш доцільно отримати доступ до активів іншими шляхами. Часто простіше і швидше отримати

доступ до активів, (або обійти засоби захисту) шляхом отримання фізичного доступу до елементів системи, що тестується. Така фізична атака означає, що пентестер отримує доступ до незахищеної паролем робочої станції після потрапляння тими чи іншими шляхами до будівель, приміщень та/або серверних кімнат.

Спеціалісти з інформаційної безпеки радять використовувати даний метод в тому випадку, коли в організації є відповідним чином сформована політика безпеки, розроблені відповідні процедури, інструкції, тощо.

В цьому випадку застосування методів соціальної інженерії дозволяє оцінити ступінь ефективності вжитих заходів безпеки [9].

Висновок

В умовах сьогодення, забезпечення безпеки комп'ютерних систем України є складовою частиною безпеки держави в цілому. Особливо важливим є захист інформаційних систем об'єктів критичної інфраструктури, фінансових установ, державних реєстрів тощо. Існуюча нормативна база України в сфері захисту інформації не передбачає проведення тестувань на проникнення, які дозволять визначити реальну захищеність комп'ютерних мереж. Виключенням є лише банківська сфера. У зв'язку з цим, перспективним напрямом є розробка деякої узагальненої методології, яка дозволить проводити перевірку захищеності комп'ютерних мереж в мінімально можливих термінах і отриманням якісної і об'єктивної оцінки захищеності.

В статті було проаналізовано найбільш розповсюджені міжнародні методології проведення тестування на проникнення.

За результатом аналізу можна констатувати, що на даний момент не існує комплексної методології проведення даного виду тестування. Кожна з розглянутих в даній статті методологій фокусується на певних питаннях, і як наслідок, при проведенні комплексного тестування на проникнення неможливо повністю опиратись лише на одну методологію. У зв'язку з цим необхідно використовувати декілька методологій одночасно, а це в свою чергу уповільнює процес оцінювання.

Також отримані результати можуть не відображати реальний стан речей в сфері кібербезпеки. За результатом проведеного аналізу існуючих методологій та публікацій з цього питання, запропонована класифікація методів тестування, надано короткий опис методів тестування, запропоновано класифікацію методів тестування.

Приведена класифікація узагальнює та структурує види пентестів, що в свою чергу дозволяє визначити оптимальні шляхи проведення робіт та погодити їх з замовником.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Певнев В.Я. Методы обеспечения целостности информации в инфокоммуникационных системах / В.Я. Певнев // Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – 2015. - № 51. – С. 74-77.

2. Cisco 2018. Годовой отчет по безопасности. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.cisco.com/c/dam/global/ru_ru/assets/offers/assets/cisco_2018_acr_ru.pdf (дата звернення: 15.08.2018)
3. PCI DSS. Requirements and Security Assessment Procedures. Version 3.2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.pcisecuritystandards.org/document_library (дата звернення: 20.08.2018)
4. Положення про організацію заходів із забезпечення інформаційної безпеки в банківській системі України, затвердженого Постановою Правління Національного банку України від 28.09.2017 №95. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до положення: <https://bank.gov.ua/document/download?docId=56426049> (дата звернення: 15.08.2018)
5. The Open Source Security Testing Methodology Manual (OSSTMM). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.isecom.org/mirror/OSSTMM.3.pdf> (дата звернення: 20.08.2018)
6. O WASP Testing Guide v4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Testing_Project (дата звернення: 20.08.2018)
7. The Penetration Testing Execution Standard (PTES). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.pentest-standard.org/index.php/Main_Page (дата звернення: 20.08.2018)
8. Information Systems Security Assessment Framework (ISSAF). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.oisssg.org/files/issaf0.2.1.pdf> (дата звернення: 20.08.2018)
9. Анастасия Гришина, Андрей Куликов – Анализируем защищенность IT-систем. Positive Research 2018. Сборник исследований по практической безопасности. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/Positive-Research-2018-rus.pdf> (дата звернення: 20.08.2018)
10. Глобальное исследование утечек конфиденциальной информации в 2017 году. Аналитический центр InfoWatch. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.infowatch.ru/sites/default/files/report/analytics/russ/InfoWatch_Global_Report_2017_year.pdf (дата звернення: 20.08.2018)
11. Technical Guide to Information Security Testing and Assessment. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. Special Publication 800-115. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-115.pdf> (дата звернення: 23.08.2018)
12. Я.Я. Стефінко, А.З. Піскозуб. Використання відкритих операційних систем для тестування на проникнення в навчальних цілях/Я.Я. Стефінко, А.З. Піскозуб //Вісник Національного університету “Львівська політехніка” Комп’ютерні системи та мережі. – 2014. - № 806. – С. 258-263.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. Г. Семенов,

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків

Received (Надійшла) 19.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.08.2018

Обзор методов проведения тестирования на проникновение для оценки защищенности компьютерных систем

В. В. Кальченко

Предметом статьи является рассмотрение наиболее распространенных методов проведения тестирования на проникновение в компьютерные системы. **Результаты.** Проанализированы международные стандарты и руководства по информационной безопасности, рассмотрены методологии проведения тестирования на проникновение, проанализированы нормативные акты разных стран в которых закреплены требования по проведению данного вида тестирования, приведен перечень наиболее распространенных международных методологий проведения пентестинга, определены основные преимущества и недостатки таких методов. **Вывод.** Предложена классификация методов тестирования на проникновение для оценки защищенности компьютерных систем.

Ключевые слова: тестирование на проникновение, пентестинг, компьютерная сеть, защита информации.

Review of penetration testing methods for assessing the protection of computer systems

V. Kalchenko

The most effective way to evaluate the security of the system is to conduct a penetration test (pentest). A penetration test is a simulation of an attack on a system, network, equipment, service, in order to demonstrate how vulnerable this system is to a real attack. During the test it is estimated how the system responds to the attack, regardless of whether it is possible or not to violate the protection of the system and what information can be taken out of the system. **Subject.** The paper focused on the study of the methods of penetration testing, analyzes the international standards of information security, examines the main methods of penetration testing computer systems. **Results.** It is necessary to check constantly the current state of the security of the computer systems in order to respond in a timely manner to new challenges for information security of state bodies, infrastructure objects on critical importance, commercial enterprises, institutions and organizations. The research substantiates the necessity of conducting this kind of work and gives the advantages of its application. The main approaches to testing are described in detail: WhiteBox, BlackBox, Graybox. The methods of testing systems are described and classified depending on the requirements of the customer, the objectives of testing, time limits and importance of the object under research. Since operating systems, programs, data protocols are constantly changing, penetration testing will not completely solve the problem of data protection, but it allows you to look at computer systems from the intruder’s point of view. And this allows to understand the weaknesses of the system and to take timely measures to prevent or significantly reduce possible losses. The choice of penetration testing methods should be performed after the customer has been identified the testing objectives, the definition of the systems to be tested, the definition of critical objects, the timing of the work, etc. Different combinations of testing methods and creative approach will allow to conduct testing the most qualitatively and in the shortest time, to make a report and to provide the customer with recommendations for improving the security of the system. **Conclusions.** A classification and algorithm for choosing penetration testing methods for evaluating the security of computer systems is proposed.

Keywords: penetration testing, pentest, computer network, information security.

О. В. Коваленко

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДТЕСТОВОЇ КОМПІЛЯЦІЇ ТА РОЗПОДІЛУ ДОСТУПУ

В даній роботі розроблено інформаційну технологію передтестової компіляції та розподілу доступу в якості практичного застосування в області комп'ютерної інженерії та розробки програмних додатків. В рамках розроблюваного методу розподілу доступу при оптимізації з урахуванням передкомпіляційного профілю програми проводиться необхідний збір даних, що формуються в множині профілів користувачів. Для підвищення точності урахування профілів користувача, специфіки його діяльності та характеристик комп'ютерної системи пропонується розбиття процесу компіляції на дві фази: фаза синтезу програмного забезпечення з урахуванням можливостей сучасних компіляторів; фаза адаптації та розподілу доступу до програмного забезпечення з урахуванням профілів програми і користувача. Такий поділ передтестової компіляції на дві фази дозволить вирішити наступні задачі: розподіл доступу користувачів з урахуванням можливостей персоналізації відповідних профілів; врахування внутрішніх характеристик комп'ютерної системи користувачів (архітектури, планувальника команд, та ін.); врахування можливостей розподілу доступу при збірці та підтримці програмного забезпечення. Для вирішення задач динамічної машинно-незалежної оптимізації доцільно скористатися відомою технологією компіляції LLVM. У запропонованій інформаційній технології передтестової компіляції та розподілу доступу в першій фазі виконується процедура машинно-незалежної компіляції з використанням LLVM. Результат першої фази зберігається у файл LLVM і додатково генеруються дані про архітектуру програмного засобу та алгоритм можливої інсталяції. Виконання другої фази можливо з використанням програмних засобів віртуального моделювання (віртуальних машин), а також безпосередньо на комп'ютерних системах користувачів з урахуванням особливості їх профілів і характеристик обчислювальних засобів. Таким чином, розроблено метод передтестової компіляції та розподілу доступу, що відрізняється від відомих врахуванням профілів користувача при синтезі додатку, а також використанням ресурсів «марних сховищ» в процесі отримання інсталяційних версій. Це дозволить підвищити рівень безпеки розроблюваних додатків.

Ключові слова: передтестова компіляція, розподіл доступу, LLVM.

Вступ

Проведені дослідження показали, що в процесі управління розробкою ПЗ, проектування, реалізації, верифікації, а також тестування безпеки ПЗ існує ряд загальних і спеціальних рекомендацій, розроблених і випробуваних на практиці експертами [1, 2]. Серед них можна виділити наступні: управління якістю, інжиніринг вимог безпеки, моделювання загроз, аналіз атак, аналіз вразливостей в наявному коді, перевірка вхідних даних, забезпечення безпеки компілятором, статичний аналіз, проникаюче тестування, аудит коду, розробка посібника і контрольних списків розробників, незалежний огляд безпеки та ін.

Аналіз представлених рекомендацій показав, що в більшості своїй вони зачіпають відомі розробникам ситуації безпеки. У той же час вони не враховують можливостей безпосередньої тестової роботи кодерів-розробників ПЗ в рамках методів «смоук»-тестування і передтестової роботи в рамках компіляції програмного коду.

У той же час, як показують дослідження [1-4], саме в рамках передтестової роботи існують додаткові можливості підвищення безпеки ПЗ за рахунок врахування профілю програм і користувачів, а також оптимізації системи розподілу доступу до досліджуваних даних.

Аналіз досліджень та постановка завдання. В рамках розроблюваного методу розподілу доступу при оптимізації з урахуванням передкомпіляційного профілю програми проводиться необхідний збір даних, що формуються в множині профілів користувачів.

Для підвищення точності урахування профілів користувача, специфіки його діяльності та характеристик комп'ютерної системи пропонується розбиття процесу компіляції на дві фази:

- фаза синтезу ПЗ з урахуванням можливостей сучасних компіляторів;
- фаза адаптації та розподілу доступу до ПЗ з урахуванням профілів програми та користувача.

Такий поділ передтестової компіляції на дві фази дозволить вирішити наступні задачі:

1. Розподіл доступу користувачів з урахуванням можливостей персоналізації відповідних профілів. При цьому враховуються можливості першої фази компіляції – можливості динамічної машинно-незалежної оптимізації на даних конкретного ПЗ і користувача.

2. Врахування внутрішніх характеристик комп'ютерної системи користувачів (архітектури, планувальника команд, та ін.).

3. Врахування можливостей розподілу доступу при збірці та підтримці ПЗ.

Для вирішення задач динамічної машинно-незалежної оптимізації доцільно скористатися відомою технологією компіляції LLVM. З літератури [5] відомо, що в рамках цієї технології представлені статичний компілятор, компонувальник, віртуальна машина, JIT-компілятор. Функціонування системи забезпечується єдиною внутрішньою структурою, яка може бути проілюстрована в текстовому форматі, в формі структур даних в оперативній пам'яті, а також в двійковому вигляді як біт-код. Цей біт-код може бути збережений в проміжних об'єктних файлах для

подальшої оптимізації, в тому числі динамічної. При цьому можливо використовувати всі надані LLVM можливості по обробці внутрішнього представлення (включаючи різні аналізи, трансформації і т.п.). Тому інфраструктура LLVM надає зручну базу для досліджень по динамічній оптимізації програм [5].

Метою роботи є розробка інформаційної технології передтестової компіляції та розподілу доступу в якості практичного застосування в області комп'ютерної інженерії та розробки програмних додатків.

Результати досліджень

У розроблюваному методі передтестової компіляції та розподілу доступу в першій фазі виконується процедура машинної-незалежної компіляції з використанням LLVM. Результат першої фази зберігається в файл LLVM і додатково генеруються дані про архітектуру програмного засобу та алгоритм можливої інсталяції.

Виконання другої фази можливо з використанням програмних засобів віртуального моделювання (віртуальних машин), а також безпосередньо на комп'ютерних системах користувачів з урахуванням особливості їх профілів і характеристик обчислювальних засобів.

Слід зауважити, що в другій фазі методу передтестової компіляції та розподілу доступу можливо декілька варіантів реалізації:

1) Автоматична компіляція з урахуванням налаштованої (представленої) архітектури КС.

2) Оптимізація та інсталяція ПЗ з урахуванням профілю поведінки користувача.

3) Оптимізація та інсталяція з урахуванням профілю поведінки користувача на етапі збірки, підтримки (вимушеного простою).

Структурна схема розроблюваного методу представлена на рис. 1.

Слід зауважити, що представлені на рис. 1. етапи і додаткові програмні інструменти передбачені з урахуванням використання технології LLVM.

В ході першої фази розроблюваного методу передтестової компіляції та розподілу доступу пропонується використання технології гроху-компіляції з викликом спеціалізованої утиліти `make.sh`, а також передачі управління і всіх використовуваних, при формуванні профілю поведінки користувача і розподілу доступу, параметрів. При цьому додатково прописуються команди компілятора LLVM-GCC.

Для підтримки незалежності процесу збірки ПЗ від скриптових додатків, передбачені процедури збереження вихідних результатів. Кінцевим результатом першої фази є інсталяційний пакет зі спеціальними політиками скриптів компіляції та збірки.

Як було зазначено вище, у другій фазі можливі декілька варіантів реалізації на основі статичної та динамічної компіляції (ЖТ-компілятор) та інсталяції. В обох випадках ці процедури виконуються з урахуванням профілю поведінки користувача або особливостей комп'ютерної системи. У роботі пропонується наступна схема синтезу профілю поведінки користувача (рис. 2):

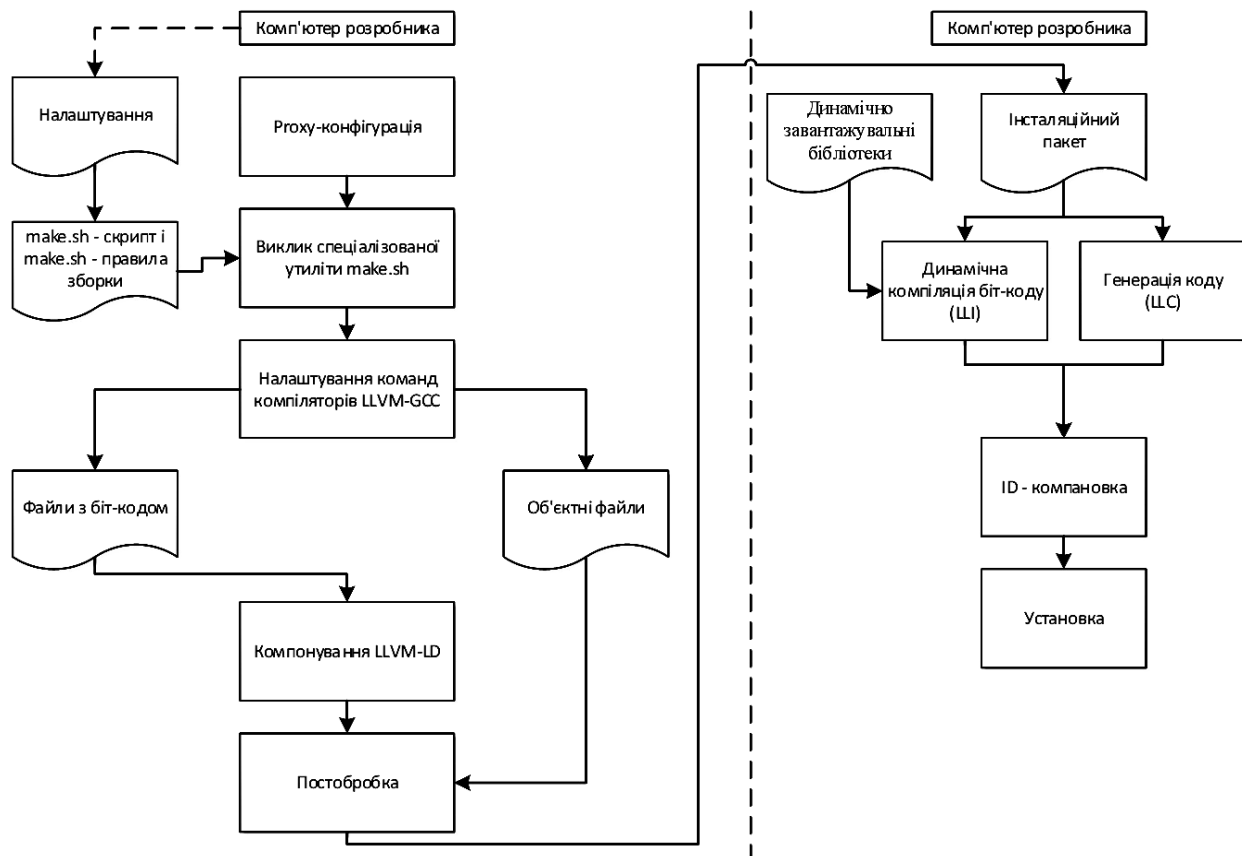


Рис. 1. Структурна схема методу передтестової компіляції та розподілу доступу

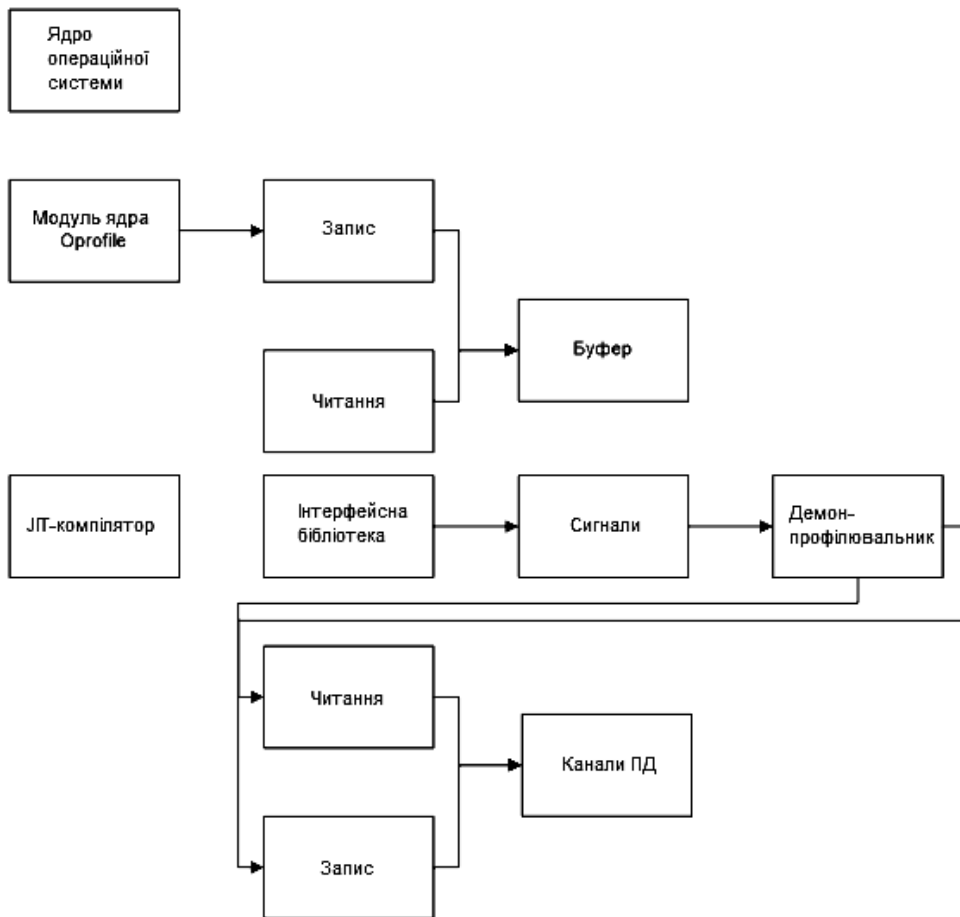


Рис. 2. Схема синтезу профілю поведінки користувача

1) ЛП-компілятор отримує із інсталяційного файлу біт-код, компілює його і запускає, а також ініціює процес обміну статистичними даними. Модуль ядра операційної системи виконує збір статистики про особливості комп'ютерної системи і скидає дані статистики в буфер пам'яті.

2) «Демон» профілю користувача має можливість доступу до даних і буфера, розпізнає і записує їх в спеціалізовані канали передачі.

Оскільки код програми, згенерованої в першій фазі, непомітний системі і виконується машинно-незалежним компілятором, він може бути поміщений в незалежні простори комп'ютерної системи. «Демон» вибирає файл з прапором «незалежні дані», записує цю інформацію в канал ПД і продовжує роботу до отримання відповідної команди про завершення роботи.

Для коректного використання зібраної інформації про конфігурацію та поведінку користувача під час компіляції необхідне підлаштування отриманого динамічного профілю до точного профілю по базовим блокам і ребрам графа потоку управління програми.

Оскільки дані профілю отримані шляхом синтезу окремих даних, то в них неминуче є похибки, що виникають через період їх отримання, а також затримок на передачу даних компілятору. Отже, такі дані не можуть бути безпосередньо використані оптимізаційними фазами LLVM таким же чином, як і дані статичного профілю – наприклад, побудований

профіль по ребрам графа потоку управління не буде задовольняти рівнянням потоку.

Для вирішення цієї задачі можна використовувати алгоритм, описаний в роботах [6] фахівців Google для компілятора GCC, в яких автори пропонують підходи модифікації профілю користувача з урахуванням обмежень задачі про максимальний потік мінімальної вартості.

Основні блоки алгоритму представлені на рис. 3.

Алгоритм приймає на вхід структурований по базовим блокам профіль користувача, а також інформацію статичного аналізу циклів: вона буде необхідна для попередньої оцінки ваг ребер графа потоку управління функції. Ос-

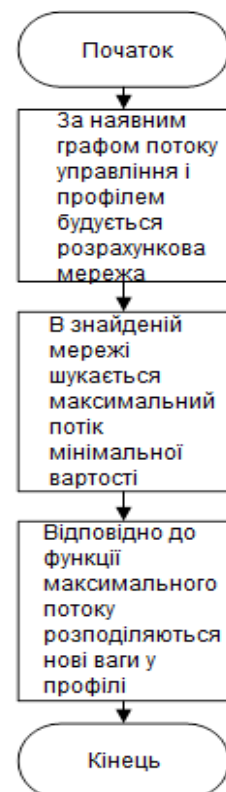


Рис. 3. Основні блоки алгоритму переоцінки профілю поведінки користувача

кільки профіль користувача синтезований для інструкцій, сумарна кількість блоків даних для профілю на базовому блоці оцінимо як середнє по частоті інструкцій.

Одним з варіантів рішення поставленої задачі є використання алгоритму Голдберга-Рао [7], що є модифікацією алгоритму Форда-Фалкерсона [7].

Цей, досить сучасний (1997 р.) алгоритм, вперше поліпшив оцінку $O(nm)$, що вважалася непереборною. Його результат: $O(\min\{n^2/3, n^{1/2}m\} \log(n^2/m) \log U)$ [7].

Алгоритм є слабо-поліноміальним, але, з огляду на теорему подібності Габова [8], в якій для порівняння слабо і сильно-поліноміальних алгоритмів використовується $\log U = O(\log n)$, серед фахівців він знайшов позитивну оцінку.

У кожній своїй ітерації, алгоритм Голдберга-Рао шукає тупиковий потік, використовуючи неодиначну функцію для визначення довжини допустимих дуг. Після побудови максимального потоку будується залишкова мережа, в якій за алгоритмом, представленим в роботах [8] видаляються цикли негативної вартості.

По мережі максимального потоку мінімальної вартості відновлюється вихідний граф потоку управління: по ребрам, побудованим в результаті перетворення вершин, ми відновлюємо профіль вершин. Ребра, відповідні вихідному графу не видаляються методом, тому що їм була призначена нескінченна максимальна пропускна здатність, і значить, теж можуть бути відновлені.

Слід зауважити, що побудовані лічильники можна використовувати в будь-яких оптимізаціях, що підтримують профіль, як результати збірки звичайного профілю способом інструментування. Проте, безпосереднє застосування профілю до наявного біт-коду призведе до помилок невідповідності профілю – це обумовлено тим, що перед запуском кодогенерації LLVM додатково виконує кілька проходів, що змінюють машинно-незалежне представлення, і зібраний профіль вже не відповідає збереженому біт-коду.

Таким чином, для практичного застосування профілю поведінки користувача, зібраного шляхом синтезу блоків даних, необхідно виконувати правила і алгоритми, описані вище, а також процедури оптимізації, що виконуються над машинно-незалежним представленням.

Метод передтестової компіляції та розподілу доступу дозволяє виконувати процедури оптимізації на машині користувача як динамічно, через створення відповідних JIT-компіляторів, так і під час простою програми, з урахуванням зібраного профілю, що відображає поведінку користувача, і характеристик його машини.

Однак, в сучасних умовах використання мобільних засобів, найчастіше оптимізація програм на пристрої є скрутною (не вистачає необхідної кількості ресурсів). Вирішити це протиріччя можна компілюючи на сервері додатків, при цьому на пристрій покласти лише завдання збору та передачі профілю на сервер.

Для організації такого сервера потрібні вдосконалені методики (методи) безпечної передачі додатків. В роботі завдання передачі і обробки додатків пропонується вирішити за допомогою методу безпечної маршрутизації метаданих в хмарній антивірусній системі, описаного в роботі [9].

У цій роботі передачу даних пропонується організувати безпечним шляхом в «хмарне сховище» додатків, що забезпечує як переносимість програм в рамках одного сімейства процесорних архітектур ARM, так і високу ступінь безпеки додатків, що зберігаються.

Після передачі і розподілу додатка в «хмарне сховище» для забезпечення безпеки пакет може бути перевірений інструментами середовища Svace на наявність критичних помилок і вразливостей (використовуючи біт-код LLVM, а також інформацію про зв'язки програми), а також проведено тест безпеки методами, використаними в середовищі Tгех.

Після перевірки додатку на безпеку, за запитом завантажити додаток конкретним користувачьким пристроєм в сховище, здійснюється другий етап схеми двоетапної компіляції і генерується інсталяційний пакет з об'єктним кодом для конкретного пристрою.

Таким чином, розроблено метод передтестової компіляції та розподілу доступу, що відрізняється від відомих врахуванням профілів користувача при синтезі додатку, а також використанням ресурсів «хмарних сховищ» в процесі отримання інсталяційних версій.

Це дозволить підвищити рівень безпеки розроблених додатків.

Висновки

В якості практичного застосування в області комп'ютерної інженерії та розробки програмних додатків в роботі розроблено метод передтестової компіляції та розподілу доступу. Відмінною особливістю методу є врахування профілів користувача при синтезі додатку, а також використанням ресурсів «хмарних сховищ» в процесі отримання інсталяційних версій. Це дозволить підвищити рівень безпеки розроблених додатків.

Подальші дослідження направлені на визначення ряду практичних рекомендацій по використанню методів та засобів управління безпекою додатків.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kniberg Henrik Scrum and XP from the Trenches – 2nd Edition. InfoQ 2015. 94 с.
2. Канер Сем Тестирование программного обеспечения. Фундаментальные концепции менеджмента бизнес-приложений. К.: ДиаСофт, 2001. 544 с.
3. Семенов С. Г., Халифе К., Захарченко М. М. Усовершенствованный способ масштабирования гибкой методологии разработки программного обеспечения. Сучасні інформаційні системи = Advanced Information Systems. 2017. № 1(1). С. 79-84.

4. Gary Stoneburner, Alice Goguen, and Alexis Feringa Risk Management Guide for Information Technology Systems Recommendations of the National Institute of Standards and Technology // Computer Security Division Information Technology Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg. 2002. 55 с.
5. С.С. Гайсарян, Ш.Ф. Курмангалеев, К.Ю. Долгорукова, В.В. Савченко, С.С. Саргсян Применение метода двухфазной компиляции на основе LLVM для распространения приложений с использованием облачного хранилища URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metoda-dvuhfaznoy-kompilyatsii-na-osnove-llvm-dlya-rasprostraneniya-prilozheniy-s-ispolzovaniem-oblachnogo-hranilishcha>
6. LLVM: компилятор своими руками. Введение. URL: <https://habrahabr.ru/post/277717/>
7. Алгоритм Голдберга-Рао. URL: http://algotist.manual.ru/math/graphs/maxflows/Goldberg_Rao.php
8. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2003. 479 с.
9. Смірнова С.А. Метод антивірусної захисту даних з використанням об'єктних обчислювальних технологій: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.13.21. Київ, 2017. 174 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Смірнов,

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький

Received (Надійшла) 25.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.08.2018

Разработка информационной технологии предтестовой компиляции и распределения доступа

А. В. Коваленко

В работе разработана информационная технология предтестовой компиляции и распределения доступа в качестве практического применения в области компьютерной инженерии и разработки программных приложений. В рамках разрабатываемого метода распределения доступа при оптимизации с учетом предкомпиляционного профиля программы проводится необходим сбор данных, формируемые во множестве профилей пользователей. Для повышения точности учета профилей пользователя, специфики его деятельности и характеристик компьютера предлагается разбивка процесса компиляции на две фазы: фаза синтеза программного обеспечения с учетом возможностей современных компиляторов; фаза адаптации и распределения доступа к программному обеспечению с учетом профилей программы и пользователя. Такое разделение предтестовой компиляции на две фазы позволит решить следующие задачи: распределение доступа пользователей с учетом возможностей персонализации соответствующих профилей; учета внутренних характеристик компьютера пользователей (архитектуры, планировщика команд и др.); учета возможностей распределения доступа при сборке и поддержке программного обеспечения. Для решения задач динамической машинно-независимой оптимизации целесообразно воспользоваться известной технологией компиляции LLVM. В предлагаемой информационной технологии предтестовой компиляции и распределения доступа в первой фазе выполняется процедура машинно-независимой компиляции с использованием LLVM. Результат первой фазы сохраняется в файл LLVM и дополнительно генерируются данные об архитектуре программного средства и алгоритм возможной установки. Выполнение второй фазы возможно с использованием программных средств виртуального моделирования (виртуальных машин), а также непосредственно на компьютерных системах пользователей с учетом особенности их профилей и характеристик вычислительных средств. Таким образом, разработан метод предтестовой компиляции и распределения доступа отличается от известных учетом профилей пользователя при синтезе приложения, а также использованием ресурсов «облачных хранилищ» в процессе получения установочных версий. Это позволит повысить уровень безопасности разрабатываемых приложений.

Ключевые слова: предтестовая компиляция, распределение доступа, LLVM

Development of information technology for pretest compilation and distribution of access

O. Kovalenko

In this work the information technology of pretest compilation and distribution of access as a practical application in the field of computer engineering and development of software applications is developed. In the framework of the developed method of distribution of access, during the optimization taking into account the precompiling profile of the program, the necessary data collection formed in a set of user profiles is performed. To improve the accuracy of consideration of the user profiles, specific character of their activity and characteristics of the computer system, it is proposed to split the compilation process into two phases: the phase of software synthesis that takes into account the capabilities of modern compilers; the phase of adaptation and distribution of the software access that takes into account the profiles of the program and the user. Such a division of pretest compilation into two phases will allow to solve the following tasks: to distribute user access taking into account the possibilities of personalization of the corresponding profiles; to take into account the internal characteristics of the user's computer system (its architecture, task planner, etc.); to take into account the possibilities of distribution of access when assembling and maintaining the software. To solve the problems of dynamic machine-independent optimization it is advisable to use the known technology of compilation of LLVM. In the first phase of the proposed information technology of pretest compilation and distribution of access the process of machine-independent compilation using the LLVM is performed. The result of the first phase is stored in the LLVM file and additional data about the software architecture and the possible installation algorithm is generated. The execution of the second phase is possible with the use of virtual simulation software (virtual machines), as well as directly on users' computer systems taking into account the features of their profiles and characteristics of computing means. Thus, a pretest compilation and distribution method is developed that differs from the known by taking into account user profiles in the synthesis of the application, as well as by the use of cloud storage resources while obtaining installation versions. This will increase the security of the applications being developed.

Keywords: pretest compilation, distribution of access, LLVM

Є. В. Мелешко

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

ПРОБЛЕМИ СУЧАСНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕТОДИ ЇХ РІШЕННЯ

Предметом вивчення у статті є процес побудови рекомендаційних систем. **Метою** є дослідження проблем сучасних рекомендаційних систем та пошук методів їх рішення. **Завдання:** дослідити проблеми сучасних рекомендаційних систем, здійснити порівняльний аналіз існуючих методів побудови рекомендаційних систем з погляду наявності/відсутності у них розглянутих проблем, дослідити існуючі методи вирішення розглянутих проблем. Отримані такі **результати:** Розглянуто основні проблеми сучасних рекомендаційних систем: холодний старт для користувачів, холодний старт для об'єктів, постійний холодний старт для користувачів, постійний холодний старт для об'єктів, бульбашка фільтрів. Здійснено порівняльний аналіз відомих методів побудови рекомендаційних систем з точки зору наявності/відсутності у них розглянутих проблем. Визначено напрямки подальших досліджень для розробки методів вирішення існуючих проблем рекомендаційних систем. **Висновки.** Основними проблемами рекомендаційних систем є проблеми холодного старту для користувачів та для об'єктів, постійного холодного старту для користувачів та для об'єктів, а також проблема бульбашки фільтрів. На сьогоднішній день проблема холодного старту практично вирішена за допомогою використання контекстної інформації та створення гібридних рекомендаційних систем. В той же час актуальною стала проблема постійного холодного старту, повного рішення якої на даний час не існує. Перспективним напрямом рішення проблеми постійного холодного старту є використання алгоритмів штучного інтелекту для адаптації до можливих змін у ознаках об'єктів і вподобаннях користувачів. Для вирішення проблеми бульбашки фільтрів слід застосовувати додаткові вимоги до формування списку рекомендацій. Перспективним напрямком вирішення проблеми бульбашки фільтрів, як показало дослідження, є забезпечення формування списку рекомендацій з такими властивостями його елементів як неочікуваність, різноманітність та новизна. В той же час це дуже суб'єктивні показники, для яких ще не існує загальноприйнятих метрик для їх вимірювання та надійних методів забезпечення їх виконання.

Ключові слова: рекомендаційні системи, колаборативна фільтрація, контентна фільтрація, холодний старт, постійний холодний старт, бульбашка фільтрів.

Вступ

Рекомендаційна система (РС) – це система, що використовується для прогнозування індивідуальних вподобань користувачів веб-сайту на основі зібраної про них інформації для створення їм рекомендацій з метою збільшення загального інтересу до об'єктів на веб-сайті (товарів, фільмів, новин, тощо) [1, 2].

В останні десятиліття область використання рекомендаційних систем істотно розширилася. Це пов'язано, перш за все, з розвитком електронної комерції та збільшенням числа Інтернет-магазинів і товарів у них, а також зі збільшенням числа контент-орієнтованих сайтів та появою нового типу сайтів – рекомендаційних мереж. Крім того безперервне збільшення обсягу даних у мережі Інтернет гостро ставить питання оптимізації пошуку даних за різними критеріями та оптимізації ранжування даних у пошуковій видачі для користувача.

Сучасні рекомендаційні системи мають ряд стандартних проблем та недоліків, дослідження яких та розробка методів їх подолання є актуальною науково-практичною задачею.

За методами побудови РС можна класифікувати на [1]: засновані на контентній фільтрації, засновані на колаборативній фільтрації та гібридні методи.

Контентна фільтрація заснована на виділенні ознак у об'єктів системи та кластеризації об'єктів на основі їх ознак. Після того, як на основі дій користувача, встановлено об'єкти, які він обирає, за до-

помогою контентної фільтрації йому пропонуються схожі об'єкти з відповідних кластерів. Головними проблемами контентної фільтрації є складність виділення ознак об'єктів та проблема холодного старту для користувачів [1, 2, 3].

Колаборативна фільтрація формує рекомендації для певного користувача на основі оцінок, які він та інші користувачі виставляли об'єктам. Колаборативна фільтрація заснована на ідеї, що ті користувачі, які однаково оцінювали будь-які предмети в минулому, схильні давати схожі оцінки інших предметів і в майбутньому. Даний метод більш простий в реалізації, ніж попередній, але для нього є актуальними проблеми холодного старту для користувачів та холодного старту для об'єктів [2, 3, 4].

Гібридні РС використовуються для підвищення точності рекомендацій. Їх можна розділити на дві групи методів, що використовують паралельні (напр., гібридизація на основі зваженої суми) та послідовні (напр., каскадна гібридизація) стратегії [5].

До найпоширеніших проблем рекомендаційних систем можна віднести проблему холодного старту та бульбашки фільтрів [2].

Проблема холодного старту виникає при додаванні нового об'єкту чи користувача до системи. До появи відповідних новому об'єкту чи користувачу оцінок відсутня інформація для формування рекомендацій.

Проблема бульбашки фільтрів виникає у рекомендаційних та пошукових системах, коли алгоритм видачі інформації веб-сайту вибірково підбирає дані, враховуючи яку інформацію користувач хотів би

бачити, базуючись на інформації про його вподобання і, в результаті, користувачі відділяються від інформації, яка їх не цікавить або їм не подобається, фактично ізолюючи їх у власних «бульбашках».

Метою даної роботи є дослідження проблем сучасних рекомендаційних систем та пошук методів їх рішення.

Основна частина

Одна з головних проблем РС – проблема холодного старту (Cold-start Problem, CSP). Вона виникає тоді, коли в системі з'являються нові елементи – або нові користувачі (User Cold-Start), історія вподобань яких порожня, або нові об'єкти (Item Cold-Start), у яких ще немає оцінок та/або набору ознак [2].

У багатьох реальних системах CSP може набувати характеру циклічної проблеми для вже відомих користувачів або об'єктів. Наприклад, якщо частина користувачів змінює свої інтереси. Дана проблема отримала назву проблеми постійного холодного старту (Continuous Cold-start Problem, CoCoS) [6].

Як і CSP, проблема CoCoS може виникати з користувачами (User Continuous Cold-start Problem) та з об'єктами (Item Continuous Cold-start Problem).

User Continuous Cold-start Problem виникає для користувачів, що змінюють свої вподобання, або рідко з'являються у системі та рідко оцінюють нові об'єкти.

Item Continuous Cold-start Problem виникає при наявності об'єктів, властивості яких можуть змінитися з часом.

Для вирішення проблеми Cold-start Problem, як правило, застосовують наступні підходи:

1) гібридизація РС з поєднанням контентної та колаборативної фільтрації [5].

2) використання контексту, в якому створюються та надаються рекомендації (демографічні дані, час та дата, тощо) [7].

Однак всі ці способи не підходять в разі проблеми Continuous Cold-start Problem, оскільки припускають, що після того, як користувач став «відомим», він залишається таким необмежену кількість часу, а об'єкти рекомендацій не можуть змінювати свої властивості. Для рішення даної проблеми треба не тільки прогнозувати вподобання користувачів, а й відслідковувати та прогнозувати зміну їх вподобань, а також враховувати можливість зміни властивостей об'єктів рекомендацій. Дану проблему на сьогоднішній день намагаються вирішувати методами машинного навчання, що підвищують адаптивність системи до постійних змін.

Не менш важливою проблемою РС є проблема бульбашки фільтрів. Класичні РС пропонують користувачам об'єкти, виходячи лише з їх попередніх вподобань. Отже, користувач потрапляє у інформаційне середовище, в якому спостерігає лише обмежену кількість однотипних об'єктів. Наслідки, викликані бульбашкою фільтрів:

1. Користувач не одержує альтернативну інформацію, яка може бути йому корисною (напр., види об'єктів, про які він зовсім не знає, але які ефективніше вирішать задачі його пошуку).

2. У користувача формується викривлена точка зору на інформаційне середовище, так як він не бачить картини в цілому (напр., при рекомендації новин).

3. Користувач може втратити інтерес до списку рекомендацій, так як йому весь час пропонують однотипні об'єкти (напр., втратить інтерес до прослуховування онлайн радіо з однотипним набором пісень).

Так як усі РС як основну метрику якості своєї роботи використовують точність прогнозування вподобань користувачів, а формальна постановка задачі прогнозу оцінок виглядає наступним чином [8]:

$$d(R, V) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $R = (r_1, r_2, \dots, r_n)$ – вектор, що містить список прогнозованих оцінок користувача, впорядкований по спаданню за величиною оцінок, $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ – вектор, що містить справжні оцінки користувача, невідомі системі на етапі формування списку рекомендацій, то для всіх РС проблема бульбашки фільтрів є актуальною, так як якісна рекомендаційна система повинна створювати рекомендації максимально схожі на попередні вподобання користувача.

Для вирішення проблеми бульбашки фільтрів, як правило, застосовують виконання додаткових вимог до формування списку рекомендацій, наприклад, забезпечення властивостей [9, 10, 11]:

1. Різноманітність (Diversity) – міра схожості елементів списку. Елементи у списку рекомендацій не повинні бути майже однаковими, вони повинні містити різні типи об'єктів (наприклад, фільми різних жанрів, а не тільки одного жанру, чи однієї трилогії). Для визначення схожості елементів можна застосовувати різні коефіцієнти подоби, за допомогою яких попарно порівнювати елементи списку, після визначення рівня схожості між елементами можна буде оцінити різноманітність списку рекомендацій. Якщо об'єкт, що описується m ознаками, представити точкою у k -мірному просторі, то подібність об'єктів один з одним буде визначатися як відстань в даному метричному просторі. Найбільш поширені метрики подоби, що використовуються в такому випадку: евклідова відстань (2), зважена евклідова відстань (3), відстань Хемінга (Манхеттенська відстань) (4), відстань Мінковського (5), відстань Махаланобіса (6):

$$d(x_1, x_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{1i} - x_{2i})^2}, \quad (2)$$

$$d(x_1, x_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^m w_i (x_{1i} - x_{2i})^2}, \quad (3)$$

$$d(x_1, x_2) = \sum_{i=1}^m |x_{1i} - x_{2i}|, \quad (4)$$

$$d(x_1, x_2) = \left(\sum_{i=1}^m |x_{1i} - x_{2i}|^p \right)^{1/p}, \quad (5)$$

$$d(x_1, x_2) = \sqrt{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)^T \Sigma^{-1} (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}, \quad (6)$$

де $d(x_1, x_2)$ – відстань між об'єктами x_1 та x_2 ; x_{1i} , x_{2i} – значення i -ї ознаки відповідно у 1-го та 2-го об'єкту; w_i – вага, що привласнюється i -ій змінній; Σ^{-1} – матриця зворотна коваріаційній матриці, розрахованій по всій вибірці; \bar{X}_1 , \bar{X}_2 – вектори значень ознак у 1-го та 2-го об'єкту.

Коефіцієнти подоби між парами об'єктів можна звести до матриці подоби, аналіз якої дасть змогу оцінити різноманітність списку рекомендацій.

Оцінювати схожість об'єктів за допомогою мір відстані зручно при використанні числових ознак. Але часто зустрічаються ознаки, що вимірюються в інших шкалах (напр., в ранговій або номінальній). В цьому випадку всі ознаки, які використовуються для класифікації, представляються у вигляді двійкового коду. Тобто кожен об'єкт описується вектором $\bar{X}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$, де $i = \overline{1, n}$, кожна з компонент якого приймає значення 0 або 1. Для визначення коефіцієнтів подоби в такому випадку найбільш часто застосовують наступні коефіцієнти: коефіцієнт Рао (7), коефіцієнт Хаммана (8), коефіцієнт Роджерса та Танімото (9), коефіцієнт Джекарда (10), коефіцієнт Дейка (11), коефіцієнт композиційної подоби (12):

$$S_{ij} = \frac{n_{ij}^{(1,1)}}{m}, \quad (0 \leq S_{ij} \leq 1), \quad (7)$$

$$S_{ij} = \frac{p_{ij} - q_{ij}}{m}, \quad (p_{ij} = q_{ij} \rightarrow S_{ij} = 0), \quad (8)$$

$$S_{ij} = \frac{n_{ij}^{(1,1)}}{n_i^{(1)} + n_j^{(1)} + n_{ij}^{(1,1)}}, \quad (0 \leq S_{ij} \leq 1), \quad (9)$$

$$S_{ij} = \frac{n_{ij}^{(1,1)}}{n_{ij}^{(1,1)} + q_{ij}}, \quad (0 \leq S_{ij} \leq 1), \quad (10)$$

$$S_{ij} = \frac{2n_{ij}^{(1,1)}}{2n_{ij}^{(1,1)} + q_{ij}}, \quad (0 \leq S_{ij} \leq 1), \quad (11)$$

$$S_{ij} = \frac{p_{ij}}{2m - p_{ij}} = \frac{p_{ij}}{m - q_{ij}}, \quad (0 \leq S_{ij} \leq 1), \quad (12)$$

$p_{ij} = n_{ij}^{(1,1)} + n_{ij}^{(0,0)}$ – загальна кількість співпадаючих ознак; $q_{ij} = n_{ij}^{(0,1)} + n_{ij}^{(1,0)}$ – загальна кількість неспівпадаючих ознак; $n_{ij}^{(1,1)}$ – число співпадаючих одиничних ознак у обох пар об'єктів (пар (1,1)); $n_{ij}^{(0,0)}$ – число співпадаючих нульових ознак у обох пар об'єктів (пар (0,0)); $n_{ij}^{(1,0)}$ – кількість співпадаючих одиничних ознак у i -го та нульових ознак у j -го об'єктів (пар (1,0)); $n_{ij}^{(0,1)}$ – кількість співпадаючих нульових ознак у i -го та одиничних ознак у j -го об'

ектів (пар (0,1)); $n_i^{(1)}$, $n_j^{(1)}$ – число одиничних ознак у i -го та одиничних ознак у j -го об'єктів відповідно; m – загальна кількість ознак, за якими здійснюється порівняння.

2. Неочікуваність (Serendipity) – неочікуваність, сюрприз, несхожість на історію користувача. Не існує консенсусу у визначенні неочікуваності, однак більшість авторів вказує, що елемент, який має властивість неочікуваність, повинен бути важливим, новим та непрогнозованим для користувача [12]. Важливість для користувача виражається в його реакції на даний елемент після рекомендацій, новизна виражається в тому, наскільки користувач знайомий з даним елементом. Елемент може бути незнайомим для користувача, якщо: 1) користувач ніколи не чув про даний елемент, 2) користувач чув про даний елемент, але ніколи не використовував, 3) користувач використовував даний елемент, але забув про це. Елемент може бути непрогнозованим для користувача, якщо: 1) користувач не очікує, що цей елемент буде для нього актуальним, 2) користувач не очікує, що цей елемент буде рекомендованим йому, 3) користувач не знайшов би цього елементу самостійно, 4) цей елемент значно відрізняється від елементів, які як правило, обирає користувач, 5) користувач не очікує даного елементу у списку рекомендацій, оскільки він переглядав інші види елементів.

3. Новизна (Novelty) – новизна для користувача, поширеність продукту, частка його рейтингів. Якщо користувачу рекомендувати лише популярні об'єкти, скоріше за все він їх і так знає та обере без рекомендаційної системи, такі рекомендації не будуть містити для нього нової інформації. Це характеристика елемента у списку рекомендацій протилежна його популярності, і в найпростішому випадку може визначатися за формулою [13]:

$$\text{novelty}(i) = -\log_2 p(i), \quad (13)$$

де $p(i)$ – ймовірність того, що i потрапить у список рекомендацій (буде обрано).

При забезпеченні виконання розглянутих додаткових вимог до формування списку рекомендацій, буде зменшуватися точність прогнозування РС, але можна буде подолати проблему бульбашки фільтрів.

Було проведено дослідження основних груп методів побудови рекомендаційних систем з точки зору наявності/відсутності у них розглянутих проблем. Результати дослідження наведені у таблиці 1.

Як видно з таблиці, основні проблеми сучасних рекомендаційних систем, це проблема User Continuous Cold-Start, проблема Item Continuous Cold-Start та проблема бульбашки фільтрів. Їх лише частково вдається вирішити – проблему User Continuous Cold-Start та проблему Item Continuous Cold-Start намагаються вирішити, використовуючи різні алгоритми машинного навчання; проблему бульбашки фільтрів намагаються вирішити, використовуючи методи, що дозволяють формувати список рекомендацій з виконанням додаткових вимог до його елементів (новизна, різноманітність, неочікуваність).

Таблиця 1 – Результати порівняльного аналізу відомих методів побудови рекомендаційних систем

	Складність реалізації	Проблема User Cold-Start	Проблема Item Cold-Start	Проблема User Continuous Cold-Start	Проблема Item Continuous Cold-Start	Проблема бульбашки фільтрів
Колаборативна фільтрація	–	+	+	+	+	+
Контентна фільтрація	–/+	+	–	+	+	+
Гібридні методи	+	+	–	+	+	+
Гібридні методи з використанням контексту	+	–/+	–	+	+	+
Гібридні методи з виконанням вимог Diversity, Serendipity, Novelty до списку рекомендацій	++	+	–	+	+	–/+
Адаптивні гібридні методи з використанням алгоритмів штучного інтелекту	++	+	–	+/-	+/-	+

Отже, для подолання проблем сучасних РС необхідно використовувати гібридизацію різних методів їх побудови, враховувати контекстну інформацію, забезпечувати виконання додаткових вимог до формування списку рекомендацій, що, як правило, зменшують точність прогнозування вподобань, але збільшують якість рекомендацій, а також застосовувати методи машинного навчання.

Висновки

Перспективним напрямком в систематизації, фільтрації, пошуку та наданні даних є рекомендаційні системи, основні засоби яких повинні реалізовувати необхідні послуги надання користувачу релевантних рекомендацій в певному місці, в певний час та через вірний канал комунікації.

Одною з основних проблем сучасних РС є так звана проблема бульбашки фільтрів. Перспективним

напрямком її вирішення, як показало дослідження, є забезпечення формування списку рекомендацій з такими властивостями як неочікуваність, різноманітність та новизна.

В той же час це дуже суб'єктивні показники, для яких ще не існує загальноприйнятих метрик для їх вимірювання та надійних методів забезпечення їх виконання.

Важливою проблемою РС залишається проблема холодного старту.

На сьогоднішній день вона практично вирішена за допомогою використання контексту та гібридизації. В той же час актуальною стала проблема постійного холодного старту, повного рішення якої на даний час не існує. Перспективним напрямком її рішення є використання алгоритмів штучного інтелекту для адаптації до можливих змін у ознаках об'єктів і вподобаннях користувачів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Jones M. Recommender systems, Part 1. Introduction to approaches and algorithms. Learn about the concepts that underlie web recommendation engines / M. Jones – 2013. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.ibm.com/developerworks/opensource/library/os-recommender1/index.html?s_tact=105agx99&s_cmp=cr
2. Мелешко С.В. Дослідження методів побудови рекомендаційних систем в мережі Інтернет / С.В. Мелешко, Г.С. Семенов, В.Д. Хох. // Збірник наукових праць "Системи управління, навігації та зв'язку". Випуск 1(47). – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка. – 2018. – С. 131–136.
3. Сегаран Т. Программируем коллективный разум. – Пер. с англ. – СПб: Символ-Плюс, 2013. – 368 с.
4. Xiaoquan Su and Taghi M. Khoshgoftaar A Survey of Collaborative Filtering Techniques A Survey of Collaborative Filtering Techniques // Hindawi Publishing Corporation, Advances in Artificial Intelligence archive, USA : журнал. — 2009. – P. 1 - 19.
5. Burke R. Hybrid Web Recommender Systems / Burke R. // The Adaptive Web. Lecture Notes in Computer Science, vol 4321. Springer, Berlin, Heidelberg. – 2007. – С. 377–408.
6. Bernardi L., Kamps J., Kiseleva J., Mueller M.J.I. The Continuous Cold Start Problem in e-Commerce Recommender Systems. – 2015. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/280773072_The_Continuous_Cold_Start_Problem_in_e-Commerce_Recommender_Systems
7. Меньшикова Н.В. Обзор рекомендательных систем и возможностей учета контекста при формировании индивидуальных рекомендаций / Н. В. Меньшикова, И.В. Портнов, И.Е. Николаев. // ACADEMY. – 2016. – №6. – с. 20–22.
8. Амеликин С.А. Оценка эффективности рекомендательных систем // Труды 14-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL-2012, Переславль-Залесский, 15-18 октября 2012 г. – С. 288-291.

9. Recommender Systems Handbook / Editors Francesco Ricci, Lior Rokach, Bracha Shapira, Paul B. Kantor. – 1st edition. – New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 2010. – 842 с.
10. Castells P., Vargas S., Wang J. Novelty and Diversity Metrics for Recommender Systems: Choice, Discovery and Relevance. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ir.ii.uam.es/rim3/publications/ddr11.pdf>.
11. Kotkov D., Konstan J.A., Zhao Q., Veijalainen J. Investigating Serendipity in Recommender Systems Based on Real User Feedback. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www-users.cs.umn.edu/~zhaoh331/papers/denis2018sac.pdf>.
12. Kaminskas M., Bridge D. Measuring Surprise in Recommender Systems. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.insight-centre.org/sites/default/files/publications/recsys2014.pdf>.
13. Castells P., Vargas S., Wang J. Novelty and Diversity Metrics for Recommender Systems: Choice, Discovery and Relevance / P. Castells, S. Vargas, J. Wang. – 2011. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.semanticscholar.org/paper/Novelty-and-Diversity-Metrics-for-Recommender-and-Castells-Vargas/4ec6bd672aaaa075b42a751099eb9317857e6e0c>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. Г. Семенов,

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків

Received (Надійшла) 05.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.08.2018

Проблемы современных рекомендательных систем и методы их решения

Е. В. Мелешко

Предметом изучения в статье является процесс построения рекомендательных систем. **Целью** является исследование проблем современных рекомендательных систем и поиск методов их решения. **Задача:** исследовать проблемы современных рекомендательных систем, осуществить сравнительный анализ существующих методов построения рекомендательных систем с точки зрения наличия/отсутствия у них рассматриваемых проблем, исследовать существующие методы решения рассматриваемых проблем. Получены следующие **результаты:** Рассмотрены основные проблемы современных рекомендательных систем: холодный старт для пользователей, холодный старт для объектов, постоянный холодный старт для пользователей, постоянный холодный старт для объектов, пузырь фильтров. Осуществлен сравнительный анализ известных методов построения рекомендательных систем с точки зрения наличия/отсутствия у них рассматриваемых проблем. Определены направления дальнейших исследований для разработки методов решения существующих проблем рекомендательных систем. **Выводы.** Основными проблемами рекомендательных систем являются проблемы холодного старта для пользователей и для объектов, постоянного холодного старта для пользователей и для объектов, а также проблема пузыря фильтров. На сегодняшний день проблема холодного старта практически решена с помощью использования контекстной информации и создания гибридных рекомендательных систем. В то же время актуальной стала проблема постоянного холодного старта, полного решения которой в настоящее время не существует. Перспективным направлением решения проблемы постоянного холодного старта является использование алгоритмов искусственного интеллекта для адаптации к возможным изменениям в признаках объектов и предпочтениях пользователей. Для решения проблемы пузыря фильтров следует применять дополнительные требования к формированию списка рекомендаций. Перспективным направлением решения проблемы пузыря фильтров, как показало исследование, является обеспечение формирования списка рекомендаций с такими свойствами его элементов как неожиданность, разнообразие и новизна. В то же время это очень субъективные показатели, для которых еще не существует общепринятых метрик для их измерения и надежных методов обеспечения их выполнения.

Ключевые слова: рекомендательные системы, коллаборативная фильтрация, контентная фильтрация, холодный старт, постоянный холодный старт, пузырь фильтров.

Problems of modern recommendation systems and methods of their solution

Yu. Meleshko

The **subject matter** of the article is the processes of building recommendation systems. The **goal** is to investigate the problems of modern recommendation systems and to find methods for their solution. The **tasks** to be solved are: to investigate the problems of modern recommendation systems, to carry out the comparative analysis of known methods of constructing recommendation systems in terms of the availability/absence of these problems, to investigate the existing methods for solving these problems. The following **results** were obtained: the main problems of modern recommendation systems are considered: user cold-start, item cold-start, user continuous cold-start, item continuous cold-start, filter bubble. The comparative analysis of known methods of constructing recommendation systems in terms of the availability/absence of these problems is carried out. The directions of further research for the development of methods for solving existing problems of a recommendation systems have been determined. **Conclusions.** The main problems of a recommendation systems are: user cold-start, item cold-start, user continuous cold-start, item continuous cold-start, filter bubble. To date, the cold-start problem has been practically solved by using contextual information and building hybrid recommendation systems. At the same time, cold-start problem became actual and for today is not completely solved. A promising direction for solving the problem of continuous cold-start is the use of artificial intelligence algorithms to adapt for possible changes in the characteristics of objects and user preferences. To solve the filter bubble problem, additional requirements should be applied to the formation of a list of recommendations. A promising direction for solving the filter bubble problem, as the study has shown, is to provide a list of recommendations with such properties of its elements as diversity, serendipity, novelty. At the same time, these are very subjective indicators for which there are no generally accepted metrics for measuring them and reliable methods for ensuring their implementation.

Keywords: recommendation systems, collaborative filtering, content filtering, cold-start, continuous cold-start, filter bubble.

В. Ю. Мерлак¹, І. С. Зиков², Г. І. Молчанов²

¹ Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна,

² Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

СИТУАЦІЙНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ВІДЖЕТІВ

Предмет статі – проектування веб-застосунків, котрі забезпечують застосування технологій критичного комп'ютингу, зокрема, можливостям безперебійної роботи, високої доступності та резервного копіювання. **Метою даною статі** є проведення аналізу можливості використання ситуаційно-орієнтованого підходу при проектуванні віджетів. **Результати роботи.** Виконано дослідження застосування віджетів у сучасних технологіях. Обрано основні характеристики якості з точки зору впливу на архітектуру системи. Виділено основні архітектури, які використовуються для взаємодії з користувачем, визначені критерії порівняння і результати були приведені в таблиці, виходячи з якої видно, що віджет задовольняє характеристики якості з точки зору впливу на архітектуру системи. **Висновки.** Проблема оптимізації доступу до даних за часом особливо істотна для ієрархічних реляційних структур даних, однак при такій організації даних існує багато математичних методів, що дозволяють прискорити доступ до даних в конкретних випадках. Одним із найбільш прийнятних підходів є використання при проектуванні віджетів ситуаційно-орієнтованого апарату, що забезпечить виконання вимог критичного комп'ютингу. Ключовими перевагами такого підходу є такі: можливість взаємодії з даними в контексті ситуації, розвиток якої описується за допомогою динамічної моделі кінцевих станів (вихідної моделі); можливість наочного представлення процесу; автоматизація проектування веб-застосунків за рахунок збільшення рівня абстракції при побудові моделі програми та виконання тривіальних функцій інтерпретатором моделі.

Ключові слова: віджет, веб-застосунок, критичний комп'ютинг, ситуаційно-орієнтований підхід.

Вступ

Для початку треба визначити, що таке "віджет" і який сенс вкладено у статті в це визначення. Технологія «віджетів» досить-таки нова технологія та її сутність досить проста, але має величезну важливість і популярність при розвитку сучасних стартапів та проєктів. За допомогою цієї технології можливо вбудувати функціонал своєї системи на будь-який сайт за допомогою буквальної одного рядка коду. Віджет - це невеликий незалежний програмний модуль, який працює в деякому середовищі (наприклад, на сайті, в браузері, у мобільному телефоні) і виконує, як правило, одну певну функцію [1]. Їх можна розділити на групи по середовищам, в яких вони працюють. Прийнято виділяти два види: веб-віджети і віджети для робочого столу.

Віджети для робочого столу - це невеликі інструменти (програми), що виконують якусь одну функцію і вимагають для своєї роботи спеціальної середовищі - віджет-движка [2]. Приклад можна побачити на рис. 1.

Графічний спосіб подачі інформації для користувача є більш переважним. Саме для цього зручно використовувати інтерактивні елементи сайту, які мотивують користувача до здійснення дії - веб-віджети (рис. 2) – змінні компоненти користувацького інтерфейсу веб-сторінки, що дозволяють користувачеві взаємодіяти з сайтом.

Аналіз літератури. Методам розробки веб-застосунків на сьогодні присвячено багато теоретичних розробок, зокрема, наведені у джерелах [1-5].

Але врахуванню застосування технологій критичного комп'ютингу у даних роботах привчено мало уваги, зокрема, можливостям безперебійної роботи, високої доступності та резервного копіювання. У багатьох випадках даним умовам відповідають віджети.

Тому метою даною статі є проведення аналізу можливості використання ситуаційно-орієнтованого підходу при проектуванні віджетів.



Рис. 1. Приклад віджету для робочого столу

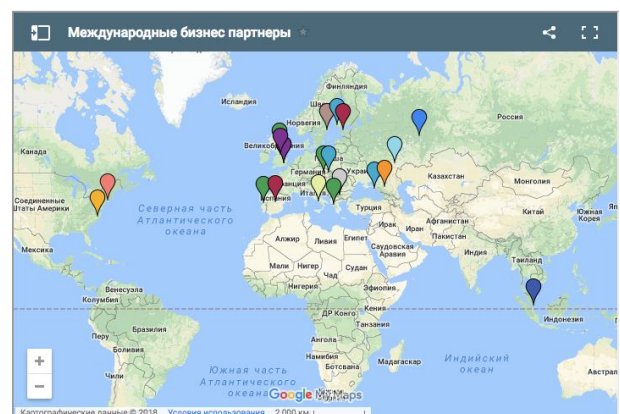


Рис. 2. Приклад веб-віджету.

1. Порівняння архітектур взаємодії віджету з користувачем

Компанія Google використовує віджети для розробки свого програмного забезпечення для веб-застосунків і мобільних пристроїв [3]. У продуктах компанії віджети забезпечують виконання таких дій: структура для інших віджетів (карти і розділи), інформація для користувача (текст і зображення), доступність для дій (кнопки, поля введення тексту або прапорці).

На підставі статті [4] було обрано такі характеристики якості з точки зору впливу на архітектуру системи:

- вимоги до повторного використання реалізації або компонентів програми або системи (Reusability). Найчастіше ці вимоги будуть виникати там, де загальні компоненти використовуються декількома модулями розробляється вами системи;

- вимоги до розширюваності (Extensibility) застосунків або системи в зв'язку з появою нових функціональних вимог, тісно пов'язане з таким архітектурним атрибутом якості, як переносимість коду;

- вимоги до переносимості (Portability) застосунки або системи на інші платформи;

- вимоги до взаємодії між компонентами рішення, між зовнішніми компонентами, використання стандартних протоколів і технологій взаємодії (Interoperability); до таких вимог можна віднести можливість використання декількох стандартних протоколів для обміну даними між однією з підсистем розроблюваної системи і зовнішньою системою-постачальником даних;

- вимоги до підтримки системи або застосунки (Supportability); серед цих параметрів можуть бути

названі такі як, наприклад, дешевизна і швидкість розробки, прозорість поведінки застосунки, простота аналізу помилок і проблем в роботі;

- вимоги до модульності програми або системи (Modularity). Зазвичай такі вимоги вказують, яким чином система повинна бути розділена на модулі, або перераховують список обов'язкових модулів, які повинні входити до складу системи;

- вимоги до можливості тестування (Testability) застосунки або системи визначають обсяг вимог до автоматичного і ручного тестування, наявність необхідного інструментарію;

- вимоги до можливості і простоті локалізації (Localizability) застосунків або системи визначають можливість і специфічні архітектурні вимоги, що накладаються процесом локалізації.

Розглянемо підходи до створення веб-застосунків. Прийнято виділяти шаблонний і ручний підходи до створення веб-сторінок. Шаблонний метод - поведінковий шаблон проектування, що визначає основу алгоритму і дозволяє спадкоємцям перевизначити деякі кроки алгоритму, не змінюючи його структуру в цілому [5].

І ручний, тобто верстка веб-сторінок - створення структури html-коду, яка розміщує елементи веб-сторінки (зображення, текст і т. д.) у вікні браузера, згідно з розробленим макету, таким чином, щоб елементи дизайну виглядали аналогічно макету.

Проаналізувавши інформацію, були виділені основні архітектури, які використовуються для взаємодії з користувачем і визначені критерії порівняння. Результати порівняння наведені в табл. 1.

На основі табл. 1, приведені нижче, видно, що віджет задовольняє характеристики якості з точки зору впливу на архітектуру системи.

Таблиця 1 – Порівняння архітектур побудови призначених для користувача інтерфейсів для веб-застосунків

Критерій	Архітектура	Отримання сторінок з боку сервера	Односторінкові застосунки	Віджети
Місце формування інтерфейсу		Сервер	Клієнт (браузер)	Клієнт (браузер)
Реакція сервера у відповідь на отримання запиту про зміну даних		Генерація та відправка сторінки	Відправка JSON	Відправка JSON
Пошукова оптимізація (SEO)		+	-	-
Швидкодія		-	+	+
Адаптивність дизайну		-	+	+
Економія трафіку		-	+	+
Можливість підтримки взаємодії з користувачем при втраті з'єднання з мережею Internet		-	+	+
Можливість вбудовування стороннього сайту		-	-	+
Використовуваний інструментарій		ASP.NET (C#), Thymeleaf (Java), JSP (Java), JSF (Java)	ReactJS, Angular, Vue.js, Ember.js, Backbone.js	

Однак в джерелі [6] помічено, що доводиться витрачати більше часу на створення тестів для інтерфейсу, так як користувач може змінювати стан через послідовності взаємодій, і багато помилок можуть не відобразитися до тих пір, поки не відбудеться певна взаємодія. Тому цей пункт теж потрібно враховувати.

У даній роботі увагу більше направлено на ієрархічні веб-віджети. Концепція ієрархічних віджетів полягає в тому, що в станах динамічної моделі передбачаються віджет-елементи, відповідні фрагментами

зображення на екрані користувача і задають спосіб і параметри формування результуючого HTML-коду, а також посилання на батьківські віджети, які об'єднують віджет-елементи в ієрархію. У процесі інтерпретації динамічної моделі в залежності від її поточного стану автоматично формується результуючий контент ієрархії віджет-елементів, який по завершенні виводиться у вихідний інформаційний потік [7]. Завдання ієрархічних віджетів при взаємодії з користувачем: сформувати HTML-код, що задає структуру і зміст зображення на екрані, який пересилається в

браузер користувача разом з CSS-кодом, що задає параметри зовнішнього вигляду зображення, і JavaScript кодом, що задає активність на стороні клієнта; прийняти дані, введені користувачем, перевірити їх коректність, перетворити, зберегти в серверній базі даних, змінити поточний стан для переходу до нового циклу взаємодії з користувачем.

Особливо актуальне використання віджетів для систем критичного застосування, в яких час обробки транзакції має бути дуже мало, тому що дані системи повинні функціонувати в режимі, близькому до режиму реального часу. Зокрема, ця вимога актуальна для віджетів, які використовуються в системах підтримки прийняття рішень при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

А клієнтський підхід до візуалізації призначеного для користувача інтерфейсу на увазі, що всі необхідні дані, такі як бізнес-логіка і шаблони, завантажуються повністю. Він робить клієнтський інтерфейс досить швидким і чуйним на дії користувача [8]. У [9] було проведено порівняння HSM-моделей без використання і з використанням віджета.

В даний час при програмній реалізації віджетів використовуються стандартні засоби розробки, які не враховують специфіку систем.

Зокрема, при розробці віджетів не проводиться оптимізація за часом доступу до даних, а, з огляду на специфіку сховищ даних і Запитальний транзакцій, час доступу можна скоротити в 2-3 рази.

Однак, при цьому істотно збільшуються фінансові та часові витрати на розробку віджетів.

3. Ситуаційно-орієнтований (модельно-орієнтований) підхід

У [6, 7] запропонований ситуаційно-орієнтований підхід до проектування веб-застосунків, зокрема віджетів. З точки зору розробника застосунку суть даного підходу полягає в абстрагуванні від програмування функцій і вузлів до розробки динамічної моделі програми, відповідно до якої інтерпретатор динамічної моделі буде здійснювати переходи між ситуаціями. Модель можна спрощено представити у вигляді кінцевого графа, де вузли - це стану, а переходи - це можливі дії користувача.

На рис. 3 представлена мнемосхема процесу побудови роботи веб-програми на основі ситуаційно-орієнтованого підходу з точки зору розробника. Розробник, як було сказано вище, проектує ситуаційну модель бізнес-процесу. Визначаються стану і умови переходів між станами.

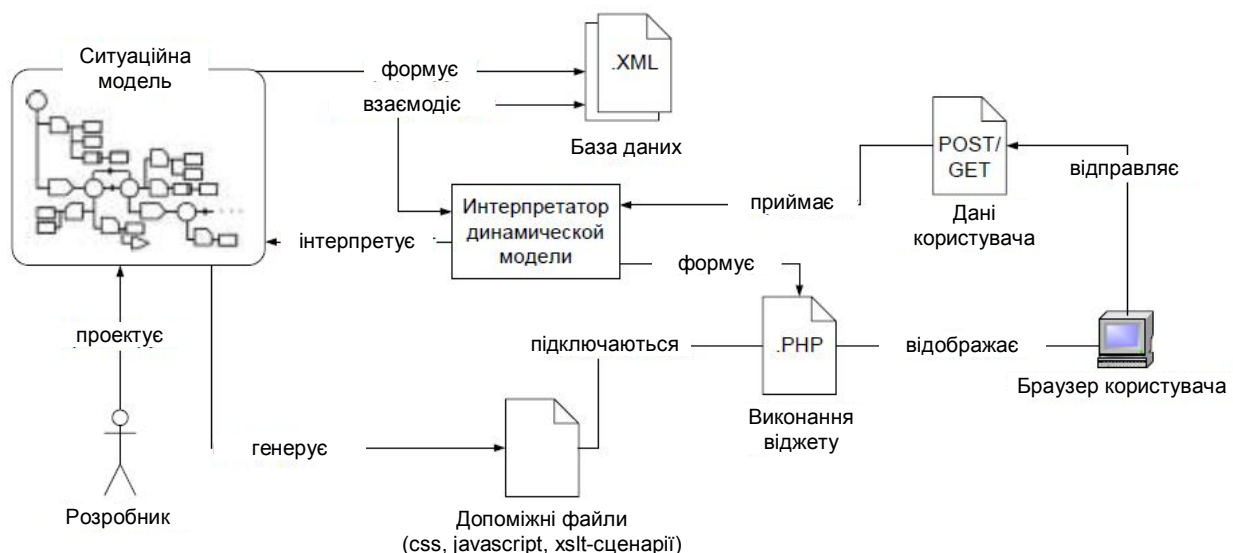


Рис. 1. Розробка віджету в ситуаційно-орієнтованому підході

Така концептуальна модель формується розробником і при ручному програмуванні. На цьому етапі, як правило, продумується основна логіка програми, структура бази даних. Потім концептуальна модель реалізується в процесі програмування. Для автоматизації цього процесу переходу від концептуальної моделі віджету до його програмної реалізації і для зниження трудомісткості треба вбудувати динамічну модель в явному вигляді в серверний сценарій. Таким чином, генеруються допоміжні файли які підключаються до виконуваної сторінки. Крім того, структура динамічної моделі відповідає структурі формується інтерфейсу користувача. Внаслідок цього модель є ієрархічною. Наочність моделі - це одна з переваг підходу. При створенні динамічної моделі формується база даних програми, за-

снована на колекції XML-документів. Інтерпретатор динамічної моделі обробляє динамічну модель, визначаючи поточний стан, і, взаємодіючи з БД, обробляє інформацію, формуючи веб-сторінку для браузера користувача. Останній в свою чергу відображає dsl;tn користувачеві і відправляє інформацію про його діях інтерпретатора, який, знову ж таки, обробляючи динамічну модель, визначає подальшу поведінку програми. Для визначення поточного стану, в якому знаходиться користувач, пропонується ввести особливий функціонал інтерпретатора - «пам'ять поточного стану». Застосування ситуаційно-орієнтованого підходу для реалізації управління віджетом повинно бути обумовлено наявністю в моделі бази даних процесів, які носять ситуативний характер. У цих умовах виникає необхідність створення і веден-

ня даних, що характеризують відповідні етапи розвитку ситуації виконання проекту.

ВИСНОВКИ

Одним із найбільш прийнятних підходів є використання при проектуванні віджетів ситуаційно-орієнтованого апарату, що забезпечить виконання вимог критичного комп'ютерингу. Ключовими перевагами такого підходу є такі: можливість взаємодії з даними в контексті ситуації, розвиток якої опису-

ється за допомогою динамічної моделі кінцевих станів (вихідної моделі); можливість наочного представлення процесу; автоматизація проектування веб-застосунки за рахунок збільшення рівня абстракції при побудові моделі програми та виконання тривіальних функцій інтерпретатором моделі. Подальші дослідження в даному напрямку будуть спрямовані на аналіз математичних методів оптимального пошуку і розробку методу, що прискорює пошук даних для систем критичного застосування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Создание веб виджета для сторонних сайтов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://resource-gsv.ru/programming/create-web-widget.html> – 28.08.2018 р.
2. Что такое виджеты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://widgetok.ru/2009/01/what-is-widgets/> – 28.08.2018 р.
3. Google Developers [Электронный ресурс] Widgets – Режим доступа: <https://developers.google.com/gmail/addons/concepts/widgets/> – 28.08.2018 р.
4. Хабр [Электронный ресурс] Нефункциональные требования к программному обеспечению. Часть 1 – Режим доступа: <https://habr.com/post/231961/> – 28.08.2018 р.
5. Википедия [Электронный ресурс] Шаблонный метод (шаблон проектирования) – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Шаблонный_метод_\(шаблон_проектирования\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Шаблонный_метод_(шаблон_проектирования)) – 28.08.2018 р.
6. Blogger [Электронный ресурс] Server-side HTML vs. JS Widgets vs. Single-Page Web Apps – Режим доступа: <http://blog.pamelafox.org/2013/05/frontend-architectures-server-side-html.html> – 28.08.2018 р.
7. Канашин, В. В. Иерархические виджеты: алгоритмы контроля данных пользователя в веб-приложениях на основе ситуационно-ориентированных баз данных / В. В. Канашин, В. В. Миронов // Вестник УГАТУ. – Уфа, 2014. – № 1. – С. 204-213.
8. Webix [Электронный ресурс] Client Side vs Server Side UI Rendering. Advantages and Disadvantages – Режим доступа: <https://blog.webix.com/client-side-vs-server-side-ui-rendering/> – 28.08.2018 р.
9. Канашин, В. В. Иерархические виджеты: опыт применения в веб-приложении на основе ситуационно-ориентированной базы данных [Текст] / В. В. Канашин, В. В. Миронов // Вестник УГАТУ. – Уфа, 2014. – № 2. – С. 185-196.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І. В. Рубан,
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків
Received (Надійшла) 14.06.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.08.2018

Ситуационно-ориентированный подход при проектировании виджетов

В. Ю. Мерлак, И. С. Зыков, Г. И. Молчанов

Предмет статьи - проектирование веб-приложений, которые обеспечивают применение технологий критического компьютерингу, в частности, возможностям бесперебойной работы, высокой доступности и резервного копирования. **Целью данной статьи** является проведение анализа возможности использования ситуационно-ориентированного подхода при проектировании виджетов. **Результаты работы.** Выполнены исследования применения виджетов в современных технологиях. Избран основные характеристики качества с точки зрения влияния на архитектуру системы. Выделены основные архитектуры, используемых для взаимодействия с пользователем, определенные критерии сравнения и результаты были приведены в таблице, исходя из которой видно, что виджет удовлетворяет характеристики качества с точки зрения влияния на архитектуру системы. **Выводы.** Одним из самых приемлемых подходов является использование при проектировании виджетов ситуационно-ориентированного аппарата, что обеспечит выполнение требований критического компьютеринга. Ключевыми преимуществами такого подхода являются: возможность взаимодействия с данными в контексте ситуации, развитие которой описывается с помощью динамической модели конечных состояний (исходной модели); возможность наглядного представления процесса; автоматизация проектирования веб-приложения за счет увеличения уровня абстракции при построении модели программы и выполнения тривиальных функций интерпретатором модели.

Ключевые слова: виджет, веб-приложение, критический компьютеринг, ситуационно-ориентированный подход.

Situatio-oriented approach for designing vines

V. Merlak, I. Zykov, H. Molchanov

The subject of the article is the design of web applications that utilize critical computer technologies, such as uninterrupted work, high availability and backup. **The purpose of this article** is to analyze the possibility of using the situational-oriented approach when designing widgets. **Results of work.** The research of application of widgets in modern technologies is executed. Selected the main characteristics of quality in terms of impact on the architecture of the system. The main architectures used to interact with the user are identified, the benchmarking criteria are defined, and the results are shown in the table, based on which it is clear that the widget meets the characteristics of quality in terms of the impact on the architecture of the system. **Conclusions.** One of the most appropriate approaches is to use when designing widgets for situational-oriented devices, which will ensure that the requirements of critical computing will be fulfilled. The key benefits of this approach are: the ability to interact with the data in the context of a situation, the development of which is described by means of a dynamic model of finite states (the original model); the opportunity to visualize the process; automating the design of a web application by increasing the level of abstraction when constructing a program model and performing trivial functions as a model interpreter.

Keywords: widget, web application, critical computer, situational-oriented approach.

А. О. Москаленко¹, Г. В. Сокол², Н. В. Рвачова³, Ю. В. Глуховець¹, В. В. Варич¹, Т. В. Буряк²

¹ Полтавський інститут бізнесу ПВНЗ «Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бугая», Полтава, Україна

² Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

³ ТОВ НВП «Радікс», Кропивницький, Україна

ІНФОРМАЦІЙНО-ДОВІДКОВА СИСТЕМА СЕРВІСНОГО ЦЕНТРУ З РЕМОНТУ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ЗАСОБАМИ C++/Qt

Предметом дослідження є процес розробки інформаційно-довідкових систем. **Мета** - підвищення рівня підготовки та оптимізація процесу роботи працівників сервісних центрів з ремонту обчислювальної техніки, шляхом впровадження запропонованої інформаційно-довідкової системи з допоміжними матеріалами для роботи. **Результати досліджень.** В роботі розглянуті питання використання інформаційно-довідкової системи з метою підвищення рівня підготовки та оптимізація процесу роботи працівників сервісних центрів з ремонту обчислювальної техніки. Запропоновано структуру, інтерфейс користувача та розроблено програмне забезпечення інформаційно-довідкової системи сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки засобами C++/Qt. **Висновки та область застосування результатів досліджень.** розроблено інформаційно-довідкову систему сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки засобами C++/Qt. Впровадження даної системи дозволить підвищити рівень підготовки та оптимізувати процес роботи працівників сервісних центрів з ремонту обчислювальної техніки. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку та реалізацію в системі технологічних карт з ремонту та обслуговування засобів обчислювальної техніки.

Ключові слова: інформаційно-довідкова система; сервісний центр з ремонту обчислювальної техніки; підвищення рівня підготовки працівників; C++/Qt.

Вступ

Питання створення якісних інформаційно-довідкових систем, з метою допомоги користувачу в процесі придбання та накопичення знань і навичок у вузьких предметних областях, є досить актуальним у наш час. Спектр застосування таких систем досить широкий, що обумовлює високий споживчий попит та сприяє подальшому їх розвитку і появі нових видів інформаційно-довідкових систем.

Інформаційно-довідкові системи це інформаційні системи, що базуються на гіпертекстових документах і мультимедійних засобах. Інформаційно-довідкові системи забезпечують користувачів довідковою інформацією. Їх відносять до автоматизованих систем, які працюють в інтерактивному режимі [1].

Комп'ютер, у поєднанні з інформаційно-довідковою системою, дозволить не лише проводити складні розрахунки, а й стане активним помічником у процесі придбання та накопичення нових знань [2].

Інформаційно-довідкові системи широко застосовуються у різних сферах забезпечення навчального процесу та повсякденного життя. У зв'язку з розвитком науково-технічного прогресу все більшого значення у навчальних та робочих процесах набувають аудіо, відео та інші медіа засоби.

Інформаційно-довідкові системи що були створені за допомогою C++ Qt [3-5]. створюють умови для успішного навчання та проведення вільного часу за допомогою інтеграції в них мультимедійних засобів, що, в свою чергу, набуває все більшої популярності. Це пов'язано з тим, що у швидкоплинному світі, стає все важче розуміти описове представлення даних, а введення інтерактивних функцій дає

зможу легко взаємодіяти з різною інформацією за допомогою електронних засобів та суттєво полегшує її сприйняття.

Отже, **метою даного дослідження** є підвищення рівня підготовки та оптимізація процесу роботи працівників сервісних центрів з ремонту обчислювальної техніки, шляхом впровадження запропонованої інформаційно-довідкової системи з допоміжними матеріалами для роботи.

Проектування інтерфейсу користувача

Після початку роботи програми користувач має можливість вибрати режим роботи, відкрити певний необхідний йому розділ інформаційно-довідкової системи, переглянути відомості про розробника або здійснити вихід з програми.

Інформаційно-довідкова система сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки містить в собі кнопки для можливості навігації серед меню, теоретичного матеріалу, діагностики, сервісного обслуговування, ремонту, питань для самоперевірки та літературних джерел. Параметри, які вибираються користувачем, передаються функціональному блоку контейнерної групи відображення системи Qt, яка отримуючи значення, розгортає один з влаштованих в нього функціональних блоків відображення.

Кожен контейнер відображення, що використовується для показу матеріалів на екрані, містить в собі унікальний ідентифікатор, який дозволяє пов'язати його значення з матеріалами, що передаються до цього контейнеру відображення. Кожна кнопка контейнерної групи розділу, має можливість передавати значення іншому пов'язаному з ними контейнеру, для контролю завантаженого матеріалу в інформаційно-довідкову систему.

Так кнопка «Теоретичний матеріал» вказує основній контейнерній групі, що при наведенні курсору миші, необхідно відобразити графічний матеріал на екрані, який має змістовний опис даного розділу. По натисненню ж кнопки миші, виконається функція, що повинна завантажити теоретичні матеріали до контейнерної групи відображення на екрані.

Аналогічним чином структура контейнерної групи для інших кнопок, викликаючи певні функції, обробляє необхідні дії, що треба виконати, та, залежно від прийнятого значення, або розгортає та відображає графічний матеріал про змістовний опис даного розділу, або викликає функцію завантаження матеріалів до основної контейнерної групи відображення. Якщо були завантажені матеріали в контейнерну групу відображення, але було натиснуто кнопку іншого розділу, інформація з першої завантаженої частини вивантажується з пам'яті, а інший розділ завантажує свою відповідну інформацію. У випадку, якщо була натиснута кнопка меню, то остання інформація залишається в пам'яті, але приховується, тим самим з'являється головне меню, але за необхідності можна швидко звернутися до останньої опрацьованої інформації.

Важливим моментом у формуванні графічної частини інформаційно-довідкової системи є залежність структури графічних елементів від розширення та формату монітору користувача. Передбачено можливість запуску програми на різних форматах моніторів, залежно від яких, формується структура інтерфейсу та розміщуються графічні елементи. Завдяки тому, що програма розроблена за допомогою

середовища розробки Qt Creator, в ній було використано можливості бібліотеки Qt щодо динамічного управління розмірами інтерфейсу програми, яке налаштовує розширення програми відповідно до розширення монітору та автоматично вирівнює всі функціональні елементи програми відповідно до нового розширення. Це дає змогу запускати програму на будь-яких типах моніторів, навіть з нестандартним розширенням.

На основі зібраної інформації про структуру інформаційно-довідкової системи, було створено загальну структуру програми, виділено окремі функціональні блоки і визначено, як саме ці блоки зв'язуються між собою. Під окремим функціональним блоком розуміють функцію чи групу функцій зв'язаних за призначенням, або областю застосування.

Дана програма має всі параметри необхідні для того, щоб інтерактивно взаємодіяти з користувачем, виконуючи необхідні для цього дії. Після її запуску користувачем на комп'ютері, вона представляє собою функціонуючу модель формування та розміщення програмних елементів, що виконують необхідні функції та покращують взаємодію з даним програмним продуктом, це в свою чергу підвищує рівень зацікавленості користувача та вносить певні елементи інтерактивної анімації.

Програма починає роботу з основного класу main.cpp, що включає в себе клас QApplication, створює об'єкт MainWindow, передає йому значення відображення графічної частини програми, розгортає її у повноекранний режим (рис. 1). Дану схему представлено на ескізі екранних форм (рис. 2).

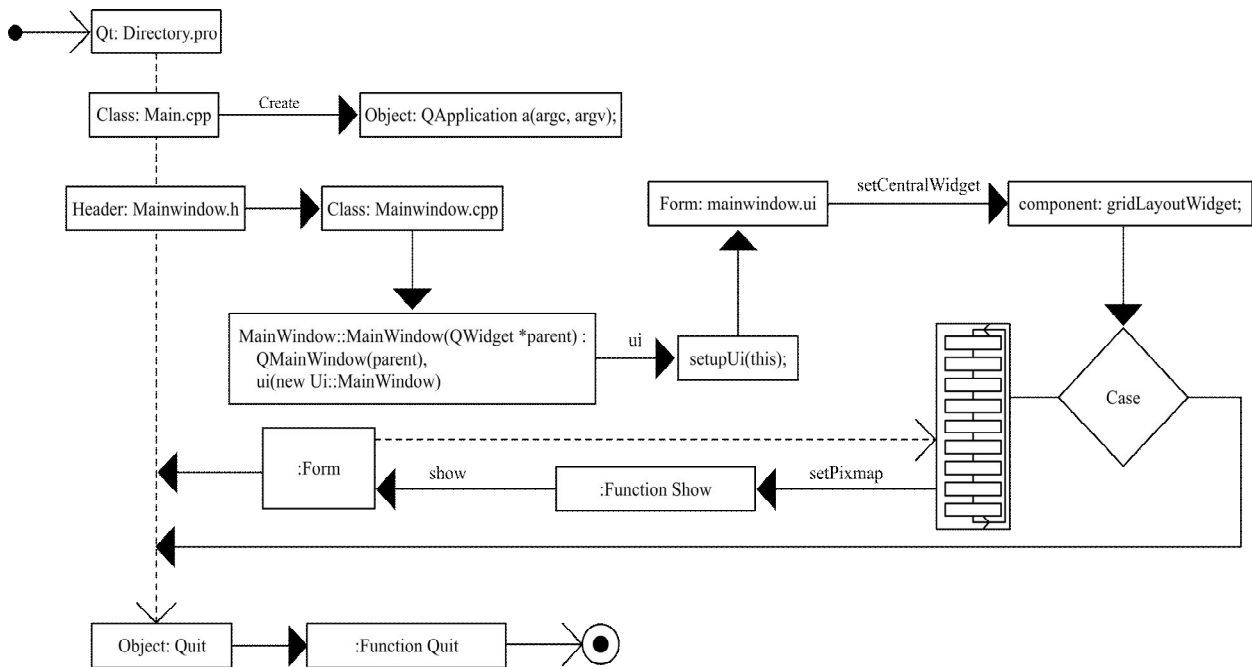


Рис. 1. Структура розробленої інформаційно-довідкової системи

Є можливість перейти одразу до роботи з інформаційно-довідковою системою, натиснувши на відповідну кнопку в програмі, переглянути додаткову інформацію, або ж вийти з програми натиснувши на кнопку «Вихід». Після того, як користувач натисне

кнопку для відкриття певного розділу інформаційно-довідкової системи, йому для відображення на екрані стає доступний контейнер, в якому з'являється розділ та запускається необхідний матеріал для опрацювання.

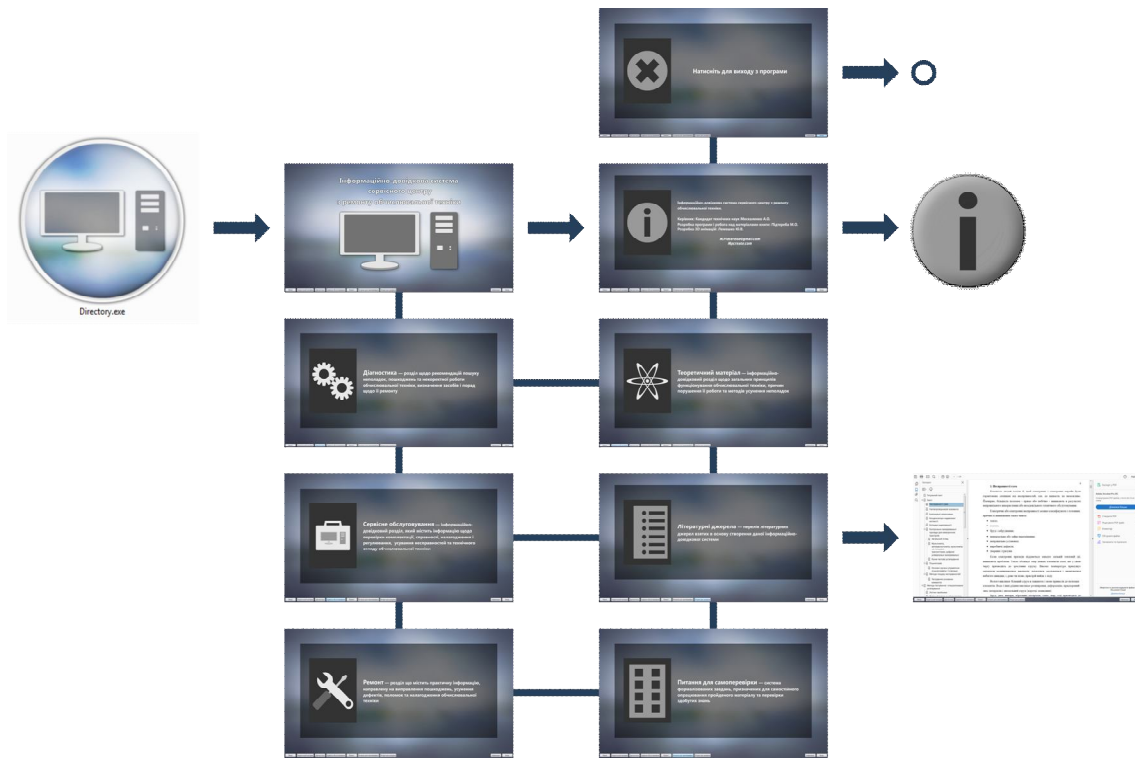


Рис. 2. Ескіз екранних форм інформаційно-довідкової системи

В якості інструменту для створення дизайну інформаційно-довідкової системи сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки використано програмне забезпечення Adobe Photoshop [6].

Інформаційно-довідкова система сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки

Інформаційно-довідкова система сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки розроблена на мові програмування C++ в середовищі розробки Qt Creator.

Дана програма – сучасна інформаційно-довідкова система, що призначена для зручного та

швидкого пошуку, отримання та керування інформацією. Розглянемо переваги розробленої системи.

Інформаційно-довідкова система сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки має зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс (рис. 3). Це досягнуто завдяки розробці у відповідності до загальних правил про сприйняття інтерфейсу людиною. Головне меню містить шість розділів представлення інформаційних матеріалів, кнопку переходу в меню, інформацію про розробника та кнопку виходу з програми. Кнопки розташовані в зручному для користувача місці, в основі екрану, мають візуально естетично підібраний шрифт для зручного сприйняття та опис розділу що з'являється при наведенні курсору миші на кнопку.

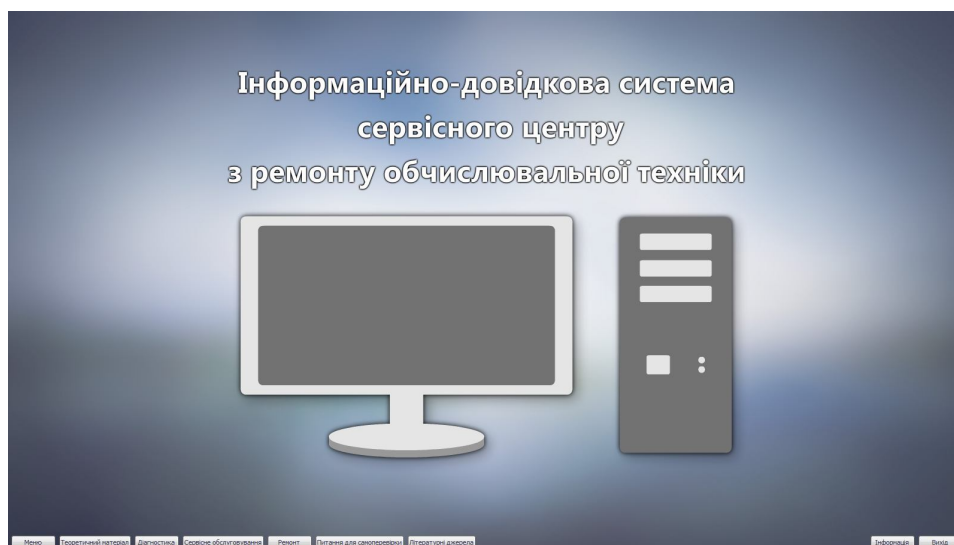


Рис. 3. Головний екран інформаційно-довідкової системи

Для зручності використання, в даному програмному продукті передбачено автоматичне налаштування програми під розширення монітору (рис. 4).

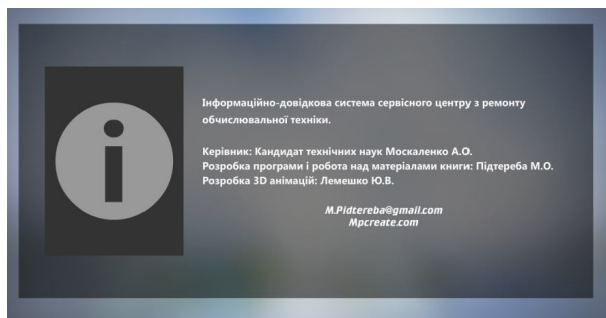


Рис. 4. Результати адаптації вмісту вікна програми до розширення монітору

Завдяки тому, що програма розроблена за допомогою середовища розробки Qt Creator, в ній було використано можливості бібліотеки Qt щодо динамічного управління розмірами вікна програми, що налаштує розширення вікон програми відповідно

до розширення монітору та автоматично вирівнює всі функціональні елементи програми відповідно до нового розширення монітору. Це надає змогу запускати програму на комп'ютерах з будь-якими типами моніторів, навіть з нестандартним розширенням.

В запропонованій інформаційно-довідковій системі передбачені всі необхідні інструменти для здійснення зручного маніпулювання інформаційним вмістом (рис. 5). Програма не загроможжена сторонніми бібліотеками. Для коректної роботи необхідна наявність лише Adobe Reader. Це значно прискорює роботу програми, і не засмічує комп'ютер зайвими драйверами та бібліотеками.

Для досягнення максимальної гнучкості, інформаційно-довідкова система була створена таким чином, щоб мати можливість редагувати її ресурси: як інформаційні матеріали самої системи (текстове наповнення, рисунки, таблиці та ілюстрації), так і тривимірні моделі, що прикріплюються до інформаційних матеріалів за допомогою посилань в документі. За необхідності, можна прибирати наявні тривимірні моделі або додавати нові.

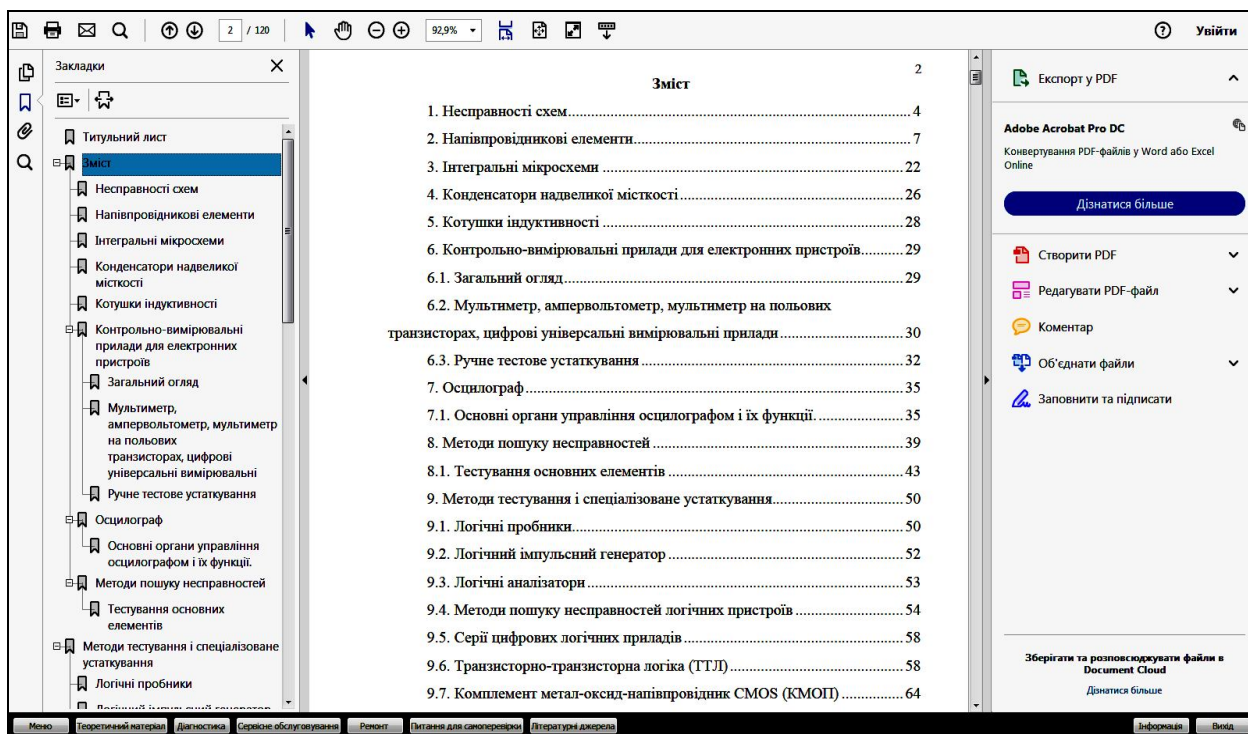


Рис. 5. Інструменти управління системою

Інформаційно-довідкова система сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки окрім теоретичного матеріалу, ілюстрацій, рисунків та таблиць має тривимірні моделі фізичних явищ та приладів, які спрощують розуміння матеріалу, так як дозволяють спостерігати фізичні явища та роботу приладів у тривимірному просторі, вільно маніпулюючи ними за допомогою курсору миші.

Передбачений також розділ для самоперевірки, в якому зібраний перелік питань по темах, що представлені в попередніх розділах, за бажанням кожен користувач може перевірити свої знання по пройде-ному матеріалу.

Процес запуску та управління програмою

Інформаційно-довідкова система сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки знаходиться в теці з назвою «Informational directory», та містить в собі файл запуску «Directory.exe» та допоміжні файли, що необхідні для роботи програми (рис. 6).

Для запуску програми є декілька основних шляхів: натиснути лівою кнопкою миші на файл Directory.exe та натиснути клавішу «Enter»; натиснути два рази лівою кнопкою миші на іконці програми Directory.exe; викликати контекстне меню натиснув-

ши правою кнопкою миші на іконку програми та вибрати у випадяючому меню пункт «Відкрити».

Після цього відбудеться запуск програми та на екрані з'явиться процес завантаження, а після нього головне меню програми.

Інформаційно-довідкова система сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки створена за допомогою мови програмування C++ в середовищі

розробки Qt Creator. За допомогою функцій завантаження .pdf вмісту матеріалів, було створено каталог, в якому здійснюються функції CASE вибору (рис. 7).

Кожен такий документ знаходиться у відповідному каталозі «Info».

Всі файли обов'язково повинні знаходитись саме в цій теці, для того щоб відбувся їх коректний виклик через функції програми.



Рис. 6. Кореневий каталог інформаційно-довідкової системи

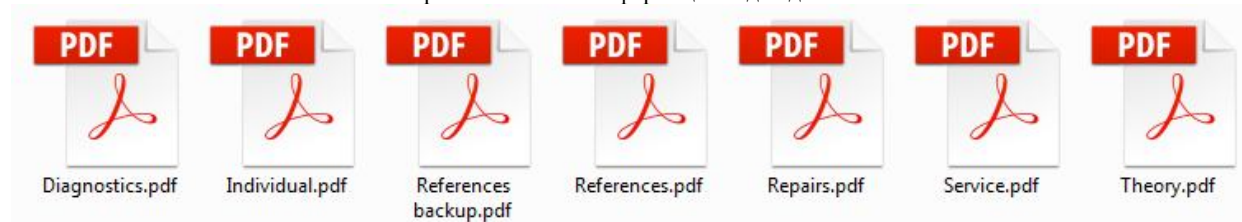


Рис. 7. Кореневий каталог папки «Info»

Інформаційно-довідкова система також містить тривимірні моделі фізичних явищ та приладів, які спрощують сприйняття матеріалів.

Моделі представлені у тривимірному просторі та дозволяють вільно маніпулювати ними за допомогою курсору миші. Всі матеріали знаходяться в папці «Animations». Після виклику відповідної функції з інформаційно-довідкової системи, дані матеріали будуть готові для використання та відкриті в додатковому вікні.

Процес зміни наповнення інформаційно-довідкової системи повинен супроводжуватись знаннями про файлову будову, що пов'язана зі створенням програми.

Запускаючи головний файл Directory.exe, програма завантажується та дає змогу користувачу вибрати один з документів для роботи.

Користувач повинен вибрати один з розділів інформаційно-довідкової системи, після чого програма звертається до папки «Info», та здійснює вибірку файлів, викликаючи той файл, що вибрав користувач в інформаційно-довідковій системі та поміщає його в контейнерній групі відображення.

Для видозміни наповнення структури робочого каталогу, потрібно перезаписати необхідні файли. Видозмінювати каталожне дерево звертання до файлів та назви файлів не можна, тому як вони прописані в програмному коді. Проте можна змінювати саме наповнення, вільно модифікуючи його внутрішню інформацію.

Сумісність з операційними системами

Створення інформаційно-довідкової системи сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки відбувалось в середовищі Qt Creator за допомогою мови програмування C++, що дозволяє створювати програми для операційних систем під iOS, Android, desktop програми для Windows, Linux та macOS. Бібліотека Qt дозволяє розробляти кросплатформні додатки. Одного разу написаний код можна скопіювати під більшість операційних систем.

Крім того програми написані за допомогою бібліотеки Qt використовують характерний (рідний, native) для програмного оточення або навіть власний стилізований інтерфейс. Цього було досягнуто завдяки відкритому вільному програмному коду, зручному і логічному API та широким можливостям його застосування. Таким чином відкомпілювавши дану інформаційно-довідкову систему на операційних системах сімейства Windows, при запуску, програма буде мати інтерфейс характерних для операційних систем сімейства Windows. В разі ж якщо відкомпілювати програму під Linux, то програма буде мати Linux-подібний інтерфейс.

Висновки

Таким чином, розроблено інформаційно-довідкову систему сервісного центру з ремонту обчислювальної техніки засобами C++/Qt. Впрова-

дження даної системи дозволить підвищити рівень підготовки та оптимізувати процес роботи працівників сервісних центрів з ремонту обчислювальної техніки.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку та реалізацію в системі технологічних карт з ремонту та обслуговування засобів обчислювальної техніки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні матеріали з інформатики – Класифікація інформаційних систем. – Режим доступу: <https://www.ua5.org/isystem/374-klasifikacija-nformacijnikh-sistem.html> – 15.03.2017.
2. Реферати українською мовою – Інформаційно-довідкова система. Пристрій персонального комп'ютера. – Режим доступу: http://ua-referat.com/інформаційно-довідкова_система_Пристрій_персонального_компютера – 15.03.2017.
3. Прата С. Язык программирования C++. Лекции и упражнения. 6-е изд. / С.Прата. – ООО "И.Д. Вильямс", 2012. – 1248 с.
4. Макс Ш. QT 5.3 Профессиональное программирование на C++ / Ш. Макс. – М.: СПб.: БХВ-Петербург, 2015 - 928 с.
5. Вступ до програмування мовою C++. Організація обчислень: навч. посіб. / Ю. А. Белов, Т. О. Карнаух, Ю. В. Коваль, А. Б. Ставровський. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2012. – 175 с. с.: іл. ISBN (укр.).
6. Использование ADOBE® PHOTOSHOP® CS5 – Режим доступу: http://help.adobe.com/ru_RU/photoshop/cs/using/photoshop_cs5_help.pdf – 12.05.2016.

REFERENCES

1. Metodichni materialy z informatyky – Klyasifikacija informacijnykh system. – Rezhym dostupu: <https://www.ua5.org/isystem/374-klasifikacija-nformacijnikh-sistem.html> – 15.03.2017.
2. Referaty ukrajinsjkoju movoju – Informacijno-dovidkova systema. Prystrij personalnogho komp`jutera. – Rezhym dostupu: http://ua-referat.com/informacijno-dovidkova_systema_Prystrij_personalnogho_komp`jutera – 15.03.2017.
3. Prata S. Yazyk programmirovaniya C++. Lektсии i upravneniya. 6-e izd. / S.Prata. – ООО "I.D. Vilyame", 2012. – 1248 s.
4. Maks Sh. QT 5.3 Professionalnoe programmirovaniye na C++ / Sh. Maks. – M.: SPb.: BHV-Peterburg, 2015 - 928 s.
5. Vstup do programuvannja movoju S++. Orghanizacija obchyslenj: navch. posib. / Ju. A. Bjelov, T. O. Karnaukh, Ju. V. Kovalj, A. B. Stavrovskij. – K.: Vydavnycho-poligrafičnij centr "Kyjivskij universytet", 2012. – 175 s.
6. Ispolzovanie ADOBE® PHOTOSHOP® CS5 – Rezhim dostupu: http://help.adobe.com/ru_RU/photoshop/cs/using/photoshop_cs5_help.pdf – 12.05.2016.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І. В. Рубан,
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Received (Надійшла) 21.05.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.08.2018

Информационно-справочная система сервисного центра по ремонту вычислительной техники средствами C++/Qt

А. А. Москаленко, Г. В. Сокол, Н. В. Рвачова, Ю. В. Глуховец, В. В. Варич, Т. В. Буряк

Предметом исследования является процесс разработки информационно-справочных систем. Цель - повышение уровня подготовки и оптимизация процесса работы сотрудников сервисных центров по ремонту вычислительной техники, путем внедрения предложенной информационно-справочной системы с вспомогательными материалами для работы. **Результаты исследований.** В работе рассмотрены вопросы использования информационно-справочной системы с целью повышения уровня подготовки и оптимизация процесса работы сотрудников сервисных центров по ремонту вычислительной техники. Предложена структура, интерфейс пользователя и разработанное программное обеспечение информационно-справочной системы сервисного центра по ремонту вычислительной техники средствами C++/Qt. **Выводы и область применения результатов исследований.** Разработана информационно-справочную система сервисного центра по ремонту вычислительной техники средствами C++/Qt. Внедрение данной системы позволит повысить уровень подготовки и оптимизировать процесс работы сотрудников сервисных центров по ремонту вычислительной техники. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку и реализацию в системе технологических карт по ремонту и обслуживанию средств вычислительной техники.

Ключевые слова: информационно-справочная система; сервисный центр по ремонту вычислительной техники; повышение уровня подготовки работников; C++/Qt.

The information and reference system of computer repair service center with C++/Qt using

A. Moskalenko, G. Sokol, N. Rvachova, Y. Hlukhovets, B. Varych, T. Buriak

The **research subject** is the developing process of information and reference systems. The purpose of research is to improve the training level and work process optimization for employees of computer repair service center by implementing the information and reference system with supporting materials. **Research results.** The questions of information and reference system using with the purpose of improving the training level and work process optimization for employees of computer repair service center were considered in the paper. The structure, user interface and developed software by means of C++ / Qt of information and reference system of the computer repair service center are proposed. **Conclusions and scope of research results.** The information and reference system of computer repair service center is developed with C++/Qt using. The training level and work process optimization for employees of computer repair service center will improve if the system is implemented. The direction of future research is development and implementation in the flowsheets system for the repair and maintenance of computer equipment.

Keywords: information and reference system; computer repair service center; improving the training level of employees; C++/Qt.

А. В. Нгуен, Я. Е. Сидоров

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

РЕКУРРЕНТНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

Предметом изучения статьи являются нейронные сети, а именно рекуррентные нейронные сети, отличающиеся способностью запоминания данных, а также программные библиотеки для их реализации. **Целью работы** является анализ нейронной сети Хопфилда, сетей Элмана и Джордана, эхо-сети, рекурсивной сети и рекуррентной сети с долгой краткосрочной памятью для непосредственного определения оптимальной архитектуры сети. А также анализ следующих программных библиотек: CNTK, Theano, Gluon, TensorFlow. **Задачи:** провести сравнение по направленности применения и возможностям работы с большими текстовыми данными вышеперечисленных рекуррентных нейронных сетей, определить какая из рассматриваемых программных библиотек является оптимальной и быстродействующей для разработки рекуррентной нейронной сети. **Методом** проведения исследования является нагрузочное тестирование программных комплексов в одинаковых аппаратных условиях, с использованием одинакового набора данных. По итогу работы получены **результаты:** платформой для интеграции технологий выбрано приложение для обработки текстовых данных большого объема и их резюмирования, а именно проект интерактивной среды написания литературы, созданный с использованием .NET, который позволяет автоматически резюмировать текст по определенным критериям. Для анализа производительности программных библиотек был рассмотрен тест на основе обучения и использования рекуррентных сетей с LSTM-модулями на тестовом наборе данных, с использованием всех исследуемых библиотек. **Выводы:** В качестве наиболее оптимального архитектурного подхода стоит считать использование LSTM-модулей, которые решают проблему затухающего градиента. Благодаря этому сети, основанные на этом подходе, показывают наилучшие результаты при работе с долгосрочными зависимостями в данных, что является крайне важным фактором при обработке текстовых данных. По результатам тестов производительности можно сказать, что наиболее оптимизированными для работы с рекуррентными архитектурами являются программные библиотеки CNTK и Gluon. При обучении они демонстрируют скорость, превосходящую производительность TensorFlow и Theano на 10-60%.

Ключевые слов: нейронные сети, рекуррентные сети, программные библиотеки, большие текстовые данные.

Введение

Постановка задачи. На сегодняшний день множество процессов, которые раньше выполняли люди – выполняют различные механизмы, начиная от простых бытовых электрических приборов, заканчивая сложной заводской аппаратурой. Машинное обучение развивается настолько стремительно, что тяжело отследить все направленности, в которых оно актуально уже сегодня. Огромной частью этого направления являются нейронные сети, они настолько распространены, что многие воспринимают машинное обучение и нейронные сети как одно и то же понятие. Это обусловлено эффективностью и доступностью нейронных сетей, а также их возможностями.

Применение для создания новых документов или получения отсортированных данных согласно категориям на основе поданной информации – является огромным преимуществом использования нейронных сетей, поскольку не только упрощает этот процесс, но и уменьшает время, затраченное на поиск. Решение данных задач становится приоритетным для обработки больших текстовых данных.

Целью работы является анализ нейронной сети Хопфилда, сетей Элмана и Джордана, эхо-сети, рекурсивной сети и рекуррентной сети с долгой краткосрочной памятью для непосредственного определения оптимальной архитектуры сети для обработки больших текстовых данных.

1. Рекуррентные нейронные сети

Первая базовая архитектура РНС была разработана еще в 1980-х годах. Она называется полностью

рекуррентная сеть. Ее структура заключается в узлах, каждый из которых разделяется на входной, скрытый и выходной. В свою очередь каждый узел сети соединен с каждым другим узлом. Она легла в основу некоторых других реализаций рекуррентных нейронных сетей.

Разнообразие РНС позволяет подобрать необходимую сеть для определенных задач. Некоторые разновидности данной архитектуры узкоспециализированные под конкретные требования и были разработаны специально для них. Для выбора необходимо произвести анализ существующих архитектур, их плюсы и недостатки, возможные сложности реализации, а также сферы, в которых они применяются.

1.1. Нейронная сеть Хопфилда. Нейронная сеть, которая состоит из единственного слоя нейронов. Число нейронов определяется числом входов и выходов. Каждый выход каждого нейрона соединен с входами остальных нейронов по принципу «со всех на все», по этой причине данную нейронную сеть можно назвать полностью связанной. Отличительной чертой сети является то, что у нее есть состояния равновесия. Сети Хопфилда работают не до получения ответа, пройдя определенное количество тактов, а до достижения состояния равновесия. Состояние равновесия характерно тем, что следующее состояние сети полностью аналогично предыдущему. Другими словами, можно сказать, что сеть Хопфилда – устойчивая, т.е. может сходиться к единственной фиксированной точке. Подобные точки называются аттракторами, множество этих точек – это память нейронной сети. Для аттрактора существует «область притяжения» – это множество векторов, которые к нему притягиваются. Векторы, кото-

рые попадают в область притяжения становятся связанными с ним. Благодаря чему сеть может действовать как ассоциативная память.

1.2. Сети Элмана и Джордана. По своей структуре сети Элмана и Джордана очень похожи. Сети Джордана характерно иметь дополнительные контекстные нейроны в выходном слое. Эти нейроны на выход принимают информацию от себя и из выходных нейронов, они предназначены для того, чтобы сохранять текущее состояние сети. Также одним из важных требований к сети является то, что контекстных и выходных нейронов должно быть одинаковое количество. В свою очередь, в сети Элмана контекстные нейроны берут вход не от выходных нейронов, а от скрытого слоя нейронов, соответственно число скрытых и контекстных слоев должно быть одинаковым. Это делает ее более гибкой по сравнению с сетью Джордана, поскольку скрытый нейрон намного проще убрать или добавить, чем нейрон выхода. Также сеть Элмана служит основой другой нейронной сети, которая служит для сжатия и шифрования данных. Главной особенностью таких сетей является то, что они хорошо справляются с запоминанием последовательностей, поэтому применяются в системах управления движущимися объектами.

1.3. Эхо-сети. Нейронные эхо сети отличаются своей структурой, поскольку связи между нейронами в них случайны, тогда как в других сетях они организованы аккуратно. Сеть содержит входной слой, скрытый слой, охваченный обратными связями, который также называется «динамическим резервуаром», и выходной слой. Входной слой нейронов служит для инициализации системы, а выходной слой выступает в качестве наблюдателя за порядком активации нейронов относительно времени. В процессе обучения происходит изменение связи между наблюдателем и скрытыми слоями. Также во время обучения обновляются состояния нейронов, и в течение периода времени необходимо следить за выходными данными. Из-за хаотичного расположения связей между нейронами подходы для обучения данного вида сетей ограничены. Использоваться такая сеть может для задач прогнозирования диагностики электроэнергетических систем благодаря своей простоте и скорости обучения.

1.4. Нейронные сети с долгой краткосрочной памятью. Нейронные сети с долгой краткосрочной памятью (LSTM) представляют собой нейронные сети, которые содержат вместо обычных нейронов в скрытых слоях целые вычислительные блоки. Сами блоки содержат критические значения, которые помогают определить следующие параметры: когда необходимо запомнить данные, в какой момент необходимо обратиться к наблюдениям из прошлых итераций и какое значение необходимо отбросить или же забыть, как неудачное. Блоки LSTM сети, которые содержат различные LSTM модули, могут выполнять параллельные вычисления и характерны для «глубоких» многослойных нейронных сетей.

LSTM сеть является универсальной. С соответствующей матрицей весов, которая рассматривается как программа, и при достаточном числе элемен-

тов сети она может выполнять любые вычисления, на которые способен обычный компьютер. Также она обладает относительной невосприимчивостью к длительным временным разрывам, что является существенным преимуществом перед обычными РНС. При обучении и тренировке не происходит размывание и исчезновение данных относительно времени. Данная нейронная сеть является хорошо приспособленной к задачам классификации, даже если важные события растянуты по времени с неопределенной продолжительностью и разрывами. Более того, LSTM-сети достигли наилучшего результата в распознавании рукописного текста. Прекрасные результаты LSTM-сеть показала и в следующих задачах: анализ временных рядов, распознавание человеческой активности, грамматическое обучение, ритмическое обучение, генерация музыкальных произведений, робототехника.

1.5. Рекурсивная сеть. Рекурсивные нейронные сети работают с данными переменной длины. Подобные сети могут состоять из нескольких модулей, выходной сигнал одного модуля подается на вход другого модуля того же типа. Результаты нескольких модулей объединяются в один – ассоциирующий модуль. Вследствие такой архитектуры данные сети также называют сетями древовидной структуры. Лучше всего они справляются с задачами распознавания естественного языка, например, для определения тональности предложения. В процессе работы фразы и предложения моделируются через векторное представление слов.

2. Библиотеки для реализации нейронных сетей

На сегодняшний день существует ряд готовых решений, созданных большими корпорациями и академическими группами. Эти решения существенно упрощают процесс разработки и обучения искусственного интеллекта, предоставляя различный уровень абстракций. Можно выделить низкоуровневые фреймворки, которые реализуют математическую логику, позволяя пользователю самому реализовывать логические единицы нейронной сети. Также существуют фреймворки более высокого уровня, которые предоставляют готовые абстракции для большего удобства и скорости разработки системы.

2.1. TensorFlow – программная библиотека для глубокого обучения, разработанная Google для решения задач построения и тренировки нейронных сетей. На данный момент является одной из самых широко применяемых библиотек как для научных исследований, так и для коммерческих проектов. Является продолжением закрытого проекта DistBelief, который создавался Google для внутреннего использования. Данная библиотека реализована на Python, также имеются официальные реализации для C++, Haskell, Java и Go. Однако для других популярных языков программирования имеются неофициальные обертки, разработанные пользователями. TensorFlow основана на графах операций, которые оперируют с тензорными вычислениями. Таким образом библиотека представляет собой низкоуровневый инструментальный без привязки к конкрет-

ным объектам нейронной сети. Производительность данной библиотеки заключается в использовании символического подхода к вычислениям.

2.2. *Theano* – библиотека, которая используется для разработки систем машинного обучения как сама по себе, так и в качестве вычислительного бекэнда для более высокоуровневых библиотек, например, *Lasagne*, *Keras* или *Blocks*. *Theano* разрабатывается с 2007 года, главным образом, группой MILA из Университета Монреаля и названа в честь древнегреческой женщины-философа и математика Феано. Основными принципами являются: интеграция с *numru*, прозрачное использование различных вычислительных устройств (обычно GPU), динамическая генерация оптимизированного C-кода. *Theano*, как и *TensorFlow*, использует символический подход к вычислениям.

2.3. *Gluon* – программная библиотека для реализации нейронных сетей, разработанная совместно компаниями *Microsoft* и *Amazon*. Ее характерными особенностями являются быстрое прототипирование, оптимизация для работы в облачных службах, распараллеливание вычислений и упор на оптимизацию LSTM-модулей и рекуррентных-сетей. Также *Gluon* поддерживает работу с разреженными и квантованными данными, что является большим преимуществом при работе с естественным языком. *Gluon* ориентирован для работы с облачными системами и обладает для этого широким API. В свою очередь это позволяет поддерживать сложные методы, например, динамические графы и гибкие структуры, без необходимости разбираться в конкретных деталях и оптимизировать все вручную.

2.4. *Cognitive Toolkit* (CNTK) – бесплатная программная библиотека с открытым исходным кодом, разработанная для глубокого машинного обучения компанией *Microsoft*. На сегодняшний день является одной из самых популярных библиотек для построения нейронных сетей и главным конкурентом вышеописанного *TensorFlow*. Из основных особенностей и отличий можно выделить:

- скорость. CNTK в целом работает быстрее, чем *TensorFlow*, а в рекуррентных сетях дает вплоть до пяти- и десятикратного выигрыша в производительности;
- структура API. CNTK имеет гибкий и мощный API для C++ и предлагает как низкоуровневые, так и простые в использовании высокоуровневые Python API на основе парадигмы функционального программирования;
- масштабируемость. CNTK легко масштабируется и в случае вычислительно требовательных задач может выполняться хоть на тысячах графических процессоров;
- скоринг. В CNTK есть производительный Eval API для C++, .NET, Java и Python, для упрощения интеграции нейронных сетей в свои приложения;
- расширяемость. CNTK легко расширяется благодаря возможности использования Python для определения собственных слоев и процедур обучения.
- встроенные модули считывания. В CNTK есть нетребовательные к памяти встроенные средства чтения данных.

3. Реализация обработки данных

Целевой платформой для интеграции рассмотренных в данной статье технологий может быть приложение для обработки текстовых данных большого объема и их резюмирования. Таковым является проект интерактивной среды написания литературы, созданный с использованием .NET, который позволяет автоматически резюмировать текст по определенным критериям. Ключевую роль в выполнении подобной задачи играет быстродействие и низкое потребление ресурсов компьютера или планшета, что подразумевает под собой оптимизацию на уровне программной библиотеки машинного обучения. В качестве наиболее оптимального архитектурного подхода стоит считать использование LSTM-модулей, которые решают проблему затухающего градиента. Благодаря этому сети, основанные на этом подходе, показывают наилучшие результаты при работе с долгосрочными зависимостями в данных, что является крайне важным фактором при обработке текстовых данных. Для анализа производительности программных библиотек был рассмотрен тест на основе обучения и использования рекуррентных сетей с LSTM-модулями на тестовом наборе данных, с использованием всех вышеупомянутых библиотек (рис. 1). Тестирование производительности производилось на аппаратной платформе *Amazon EC2* с вычислительным CUDA-процессором *Nvidia Tesla K80*.

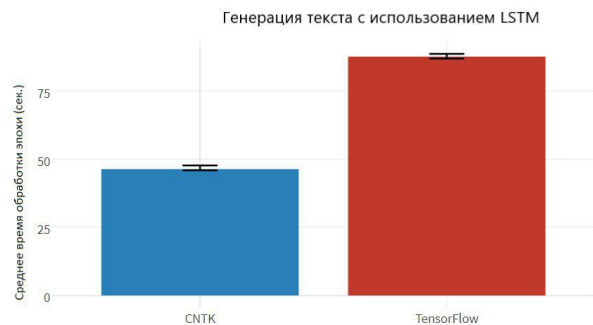


Рис. 1. Анализ производительности на основе LSTM

По результатам тестов производительности можно сделать вывод, что наиболее оптимизированными для работы с рекуррентными архитектурами являются программные библиотеки *CNTK* и *Gluon*. При обучении они демонстрируют скорость, превосходящую производительность *TensorFlow* и *Theano* на 10-60%, что можно увидеть из графиков на рис. 1 и 2.

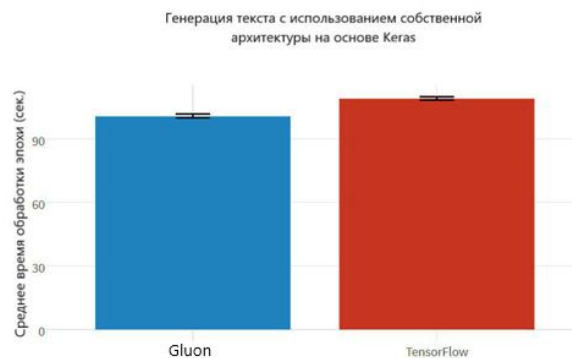


Рис. 2. Анализ производительности на основе собственной архитектуры

В. Я. Певнев, А. В. Фролов, В. В. Фролов

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С ДИНАМИЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований усовершенствованных конгруэнтных генераторов и генераторов на основе регистров сдвига с изменяемыми параметрами. Модификация генераторов заключалась в суммировании выходных последовательностей с двух генераторов. Приведены результаты тестирования выработанных псевдослучайных последовательностей генераторами с изменяющимися порождающими полиномами различной длины и начальными состояниями для генераторов на основе регистров сдвига и параметра m для конгруэнтного генератора. В результате было отмечено улучшение статистических свойств сгенерированных псевдослучайных последовательностей и значительное повышение устойчивости к существующим методам криптоанализа.

Ключевые слова: генератор, регистр сдвига, конгруэнтный генератор, криптостойкость, выходная последовательность, криптоанализ.

Введение

Развитие инфокоммуникационных технологий в конце XX - начале XXI столетия привело к бурному росту интереса к вопросам обеспечения безопасности. В информационных технологиях выделяется специальность кибербезопасность (КБ). Кибербезопасность является неотъемлемой частью информационной безопасности в компьютерных системах [1,2]. Основные вопросы, которые решает КБ это обеспечение конфиденциальности, доступности и целостности информации, циркулирующей в системе. Решению этих вопросов посвящены работы многих авторов. Как у всякой развивающейся науки существует достаточно противоречивые взгляды на пути обеспечения данных свойств систем КБ. Наиболее важным, с точки зрения авторов, является проблема доступности. Ее практически полностью отдали на откуп специалистам по надежности, функциональной безопасности, организации и управлению работой компьютерных систем и сетей. Хотя при отсутствии доступа к каким-либо устройствам говорить об обеспечении целостности или конфиденциальности вообще не приходится. Задача обеспечения целостности возникает на каждом временном цикле существования информации. В некоторых случаях методы обеспечения целостности совпадают на различных этапах, в некоторых – они инклюзивные [3].

Наиболее быстро и всесторонне развивается та часть КБ, которая связана с обеспечением конфиденциальности. Это обусловлено тем, что после снятия грифов секретности с криптографических протоколов, в эту область пришло большое количество специалистов с силовых структур, занимавшихся вопросами шифрования, молодежь, которой это было просто интересно. Появилось большое количество разнообразных шифров, среди которых можно выделить AES, Калину, Кузнечик [4-6]. Большинство этих криптографических систем относится к блочным симметричным шифрам. Однако в реальной жизни очень часто приходится использовать поточное шифрование. Эту функцию могут выполнять и большинство симметричных алгоритмов. Вместе с тем задача получения случайной последовательности стоит доста-

точно остро. Такие последовательности широко используются в моделировании, при разработке разного вида игр. Наилучшими генераторами случайных чисел являются физические датчики, в которых источником случайности являются тепловой шум, дробовой шум, фотоэлектрический эффект и другие физические явления [7,8]. Однако такие последовательности невозможно повторить. Выходом из такого положения является создание псевдослучайных последовательностей (ПСП).

Наиболее распространённые на данный генераторы ПСП являются конгруэнтные генераторы и генераторы на основе регистров сдвига. В основе конгруэнтных генераторов стоят числовые последовательности, в которых каждый член зависит от одного или нескольких предыдущих. В основе генераторов на основе регистров сдвига лежит порождающий полином. Данные генераторы не являются достаточно криптостойкими, так как достаточно легко взламываются, но имеют большое преимущество в простоте и скорости работы. Одним из вариантов увеличения криптостойкости генерируемых ПСП является использование двух генераторов, в которых результирующая ПСП является суммой двух ПСП. При таком подходе значительно увеличивается период ПСП. В работах [9,10] было предложено использование генераторов ПСП с изменяемыми параметрами, что привело к созданию систем устойчивым к современным методам криптоанализа.

Целью работы является сравнительный анализ статистические свойства ПСП, вырабатываемых конгруэнтными генераторами и генераторами на основе регистров сдвига, в которых используются динамично изменяемые параметры.

Основная часть

Представленная работа состоит из описания и результатов проведения исследования двух типов генераторов ПСП – конгруэнтного и генератора на основе регистрах сдвига. Главные особенности представленных генераторов - это использование динамично изменяемых параметров. В зависимости от типа исследуемого генератора это могут быть параметры a и c для конгруэнтного генератора и порож-

дающие полиномы для генератора на основе регистрах сдвига. Кроме использования динамичных параметров для повышения криптостойкости выходной последовательности была разработана модификация алгоритма генерации ПСП, состоящая в использовании операции XOR над сгенерированными последовательностями определенной длины, полученными от двух регистров, имеющих различную разрядность. Используемые регистры меняют свои параметры не реже чем через каждые $2^*N - 1$ битов, где N произведение разрядности двух регистров.

Описание, проведение и результаты эксперимента с конгруэнтными генераторами. Для проведения экспериментальных исследований была взята улучшенная версия классического конгруэнтного генератора, т.к. она имеет лучшие статистические свойства [9]. Алгоритм заключается в следующем:

- берется два классических конгруэнтных генератора;
- генерируются по одной последовательности от каждого генератора;
- производится операция побитового сложения (XOR) между двумя сгенерированными последовательностями.

Для тестирования свойств модификации алгоритма, было проведено сравнительный анализ между 10-ю сгенерированными последовательностями с использованием статических параметров (a, c, m) генератора и 10-ю сгенерированными последовательностями с использованием динамичных параметров (a, c, m). Для статического генератора было использовано пять групп параметров a и c, которые приведены в таблице 1 и параметр m равен $2^{20}-1$ для каждой группы. Для

динамичного генератора были использованы идентичные группы параметров a и c (табл. 1), которые случайным образом выбирались и подставлялись в генератор при каждой новой генерации. Для рандомизации параметра m, было взято значение $2^{20}-1$ и 9 простых чисел наиболее близких по спаданию к $2^{20}-1$: 1048423, 1048433, 1048447, 1048507, 1048517, 1048549, 1048559, 1048571, 1048573. Простые числа имеют хорошие статистические свойства, а их приближенность к максимальному модулю ($2^{20}-1$) обусловлено тем, что они имеют наименьшую разницу в количестве единиц в бинарной форме и не приведет к росту количества нулей в общей статистике. Они также случайным образом выбирались из списка и использовались при новых итерациях.

Таблица 1 – Перечень используемых параметров a, c

Группа	1	2	3	4	5
a	84589	36261	17221	2416	4096
c	45989	66037	107839	374441	150889

Перечень проведенных тестов:

- количество нулей и количество единиц;
- количество повторений групп символов;
- предельное (максимальное) количество повторений нулей и единиц.

Приведенные тесты хорошо известны и широко применяются при оценке случайности различных последовательностей [11]. При проведении тестирования генерировались ПСП размером в 10000 элементов. Результаты тестирования ПСП с различными параметрами генераторов (ПГ) представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты тестирования ПСП с различными параметрами конгруэнтных генераторов

Кол-во нулей	Кол-во единиц	Кол-во повторений групп символов						Предельное кол-во повторений	
		00	11	000	111	0000	1111	Единиц	Нулей
ПГ1: a=84589, c=45989. ПГ2: a=36261, c=66037									
4973	5027	1648	1670	689	731	314	333	11	11
ПГ1: a=84589, c=45989. ПГ2: a=17221, c=107839									
4959	5041	1655	1699	679	715	316	345	12	12
ПГ1: a=84589, c=45989. ПГ2: a=2416, c=374441									
4991	5009	1661	1654	703	741	332	324	14	11
ПГ1: a=84589, c=45989. ПГ2: a=4096, c=150889									
4933	5067	1618	1696	713	754	335	351	15	14
ПГ1: a=36261, c=66037. ПГ2: a=17221, c=107839									
5016	4984	1686	1642	706	705	336	326	12	14
ПГ1: a=36261, c=66037. ПГ2: a=2416, c=374441									
4910	5090	1616	1720	675	736	326	345	11	11
ПГ1: a=36261, c=66037. ПГ2: a=4096, c=150889									
5042	4958	1724	1662	727	712	354	318	12	10
ПГ1: a=17221, c=107839. ПГ2: a=2416, c=374441									
4992	5008	1640	1681	729	711	348	353	24	12
ПГ1: a=17221, c=107839. ПГ2: a=4096, c=150889									
4952	5048	1639	1691	707	740	309	351	24	14
ПГ1: a=2416, c=374441. ПГ2: a=4096, c=150889									
4838	5162	1581	1752	697	822	313	395	14	15
Сумма для первого, второго теста и среднее (максимальное) значение для третьего теста									
49606	50394	16468	16878	7025	7478	3283	4552	15(24)	12(15)
Результаты тестирования ПСП с динамическими параметрами.									
49954	50046	16675	16730	7145	7226	3330	3371	16	16

Согласно полученным данным средние значения отклонения от половинного значения для статических параметров составило 0,00394 и для динамических параметров 0,00046. Оба эти результаты удовлетворяют критерию, утвержденному NIST, который составляет 0,01 [11].

При рассмотрении количества повторений групп символов следует отметить, что результаты появления пар символов незначительно отличаются, при этом составляя менее одного процента. Появления по три и четыре символа имеет значительное отличие при использовании генераторов с фиксированными параметрами, в то время, как у генераторов с динамическими параметрами расхождения были меньшими. Предельное количество повторений нулей и единиц для генераторов с фиксированными параметрами менялось от 11 до 24 для единиц, и от 10 до 15 для нулей. При этом среднее значение данного теста составило 15 и 12 символов соответственно. У генераторов с динамическими параметрами для единиц и нулей это значение составило 16 знаков. Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование динамично изменяемых параметров позволяет получить более случайные последовательности, способные противостоять известным методам криптоанализа.

Описание, проведение и результаты эксперимента с генераторами на основе регистров сдвига. Для решения поставленной задачи был разработан ряд экспериментов, конечной целью которых было проведение:

- анализа влияния начальных состояний регистра на статистические свойства результирующей последовательности;
- анализа влияния используемого полинома на статистические свойства генератора;
- анализа среднего отклонения символов в результирующей последовательности.

Исследование проводилось на последовательности в 3100 битов, на которой выполнялись 3 статистических теста: частотный, на группы битов и на максимальное количество подряд идущих одинаковых битов. Тестирование проводилось на группах из 30 и 100 последовательностях.

Всего было произведено 24 эксперимента на различных комбинациях полиномов, по 12 на приводимых полиномах и 12 неприводимых. Кроме этого, было произведено 10 экспериментов при различных начальных состояниях регистров, половина из которых - на случайных состояниях, остальные - на специально подобранных. Вычисление среднего отклонения осуществлялось на результатах, полученных при исследовании неприводимых полиномов. Для проверки неприводимых полиномов были выбраны все неприводимые полиномы разрядностью 17 и 31 (17, 3, 0), (17, 5, 0), (17, 6, 0), (31, 3, 0), (31, 6, 0), (31, 7, 0), (31, 13, 0). Данные полиномы были взяты из [12]. В качестве составных полиномов были подобраны максимально различные случаи, также часть полиномов было сгенерировано случайным образом, используя сторонний генератор.

Для проверки начальных состояний было взято 5 случайных шестнадцатеричных чисел. Специальные числа были вычислены так, чтобы они отображали наиболее редкие и сложные для генератора случаи.

Для эксперимента по определению среднего отклонения количества единиц в последовательностях от половинного значения (1550), для удобства анализа, была выбрана группа из 100 последовательностей.

Для проверки начальных состояний было взято 5 случайных шестнадцатеричных чисел: 5F2348EC, 8EA5E59A, C6E79B0F, 2C5AA385, 6924226A. Подобранные числа были вычислены так, чтобы они отображали наиболее редкие и сложные для генератора случаи: AAAAAAAAAA, 11111111, FFFFFFFF, 88888888, A1A1A1A1. Для обоих регистров использовались одинаковые начальные состояния. Результаты эксперимента в процентах представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Таблица состояний

	1	2	3	4	5
Случайные	50,02	50,11	49,89	49,89	49,82
Подобранные	49,89	49,89	49,89	50,08	49,89

В результате проведения проверки различных начальных состояний регистров, было определено, что влияние на статистические свойства регистров, на последовательности 3100 битов, начальные состояния практически не оказывают. Могут попадаться такие состояния, когда статистика резко ухудшается, однако их не много и с увеличением длины последовательности их влияние минимизируется.

В ходе тестирования приводимых полиномов использовались случайно подобранные полиномы, так как проверить все не представляется возможным, исследованы наиболее различные друг от друга полиномы.

В табл. 4 представлены обработанные результаты проведенного эксперимента - средние значения отклонения от половинного значения в процентах при генерации ПСП, используя 12 приводимых и 12 неприводимых полиномов.

Как видно из табл.4, первых два результата для приводимых полиномов являются аномальными и не отражают закономерность. Причина такой ситуации заключается в том, что количество отводов регистра было минимально (только крайние разряды заполнены единицами) и максимальное количество (все разряды заполнены единицами).

Операция XOR минимизирует влияние статистических свойств составных полиномов. Также следует отметить, что далеко не все составные полиномы генерируют гамму с плохими статистическими свойствами. На статистику больше влияет количество отводов регистра и где они расположены, чем неприводимость полинома. Однако все неприводимые полиномы дают практически полностью случайную последовательность.

Для измерения среднего отклонения был проведен анализ 100 последовательностей на полино-

мах 17,5,0 и 31,3,0 при различных значениях на начальных состояниях. Результаты эксперимента представлены в табл. 5, где знак минус означает, что количество нулей превышает количество единиц.

Таблица 4 – Средние значения отклонения от половинного значения

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Приводимые	47,21	0	50,15	49,85	49,76	50,02	50,37	49,69	49,89	49,73	50,02	49,92
Неприводимые	49,76	50,15	50,21	49,98	50,15	49,95	49,98	49,98	50,18	49,98	49,82	50,08

Таблица 5 – Исходные значения отклонения

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	-56	-26	-10	-92	50	-30	44	36	-22	-14	-18	20	140	-10	-78	-68	124	28	-60	-56
N	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	-54	-4	30	-32	-50	-46	-2	-48	14	-66	-88	26	22	-72	92	-64	-56	-22	34	32
N	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	-64	100	28	8	36	4	-26	-22	-50	24	-92	-28	56	-6	78	-44	68	10	-30	-8
N	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	100	8	-86	88	36	22	80	48	-40	10	28	104	-84	108	-44	-20	10	82	-118	-72
N	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
	42	4	-44	-44	156	44	-44	-14	58	0	72	0	12	-2	-14	86	-8	12	-66	-2

В табл.6 указано, в каких пределах (в процентах) находится отклонение, и соответствующее этим пределам количество реализаций. Если подсчитать среднее отклонение в процентах, то оно составляет менее 0,032%.

Таблица 6 – Пределы отклонения

k=0	0<k<1	1<k<2	2<k<3	3<k<4	4<k<5	k>5
2	41	28	21	5	2	1

ПСП, полученная с помощью генератора на регистрах сдвига с динамичными параметрами, была подвергнута криптоанализу. Для этого по полученной ПСП были проведены попытки получить структуру регистра. В результате был сделан вывод о невозможности восстановить структуру регистра, подтвердивший теоретические предсказания [10].

Преимущества данной модификации заключаются в следующем:

- вследствие использования операции сложения по модулю 2, длина получаемой последовательности становится равна: $2^{n*m} - 1$, где n, m – разрядности используемых регистров [10]. Изменение параметров регистров позволяет получить длины получаемой последовательности примерно $2^{k1*n*k2*m} - 1$; где $k1, k2$ – размер массива изменяемых параметров соответствующих регистров, n, m – средняя разрядность этих регистров;

- ввиду изменения параметров регистров, становится практически невозможным криптоанализ генератора;

- использование предложенных регистров делает практически невозможным восстановление ПСП без знания соответствующих ключей.

Выводы

В представленной работе было предложено результаты исследований улучшенных генераторов ПСП. За счет использования динамичных параметров было достигнуто улучшение статистических свойств генератора по сравнению с соответствующими генераторами с постоянными параметрами. При сравнении статистических характеристик на полученных ПСП на конгруэнтных генераторах и генераторах на регистрах сдвига было установлено, что второй тип генераторов имеет несколько лучшие характеристики сгенерированных ПСП. Следует отметить, что оба типа генераторов удовлетворяют требованиям NIST, превышая их более чем на два порядка. Оба типа генераторов, использующие динамично изменяемые параметры обладают значительной устойчивостью к известным криптоатакам, что позволяет их применение в современных криптосистемах. С точки зрения быстродействия генераторы, использующие регистры сдвига в аппаратном исполнении обладают лучшими параметрами, но более сложны в реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Певнев В.Я. Эффективность информационной безопасности замкнутых систем / В. Я. Певнев // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2009. - № 5. - С. 82-85.
2. Певнев В.Я. Математическая модель информационной безопасности / В. Я. Певнев, М. В. Цуранов // Системи обробки інформації. - 2010. - №3. - С. 62-64.

3. Певнев В.Я. Методы обеспечения целостности информации в инфокоммуникационных системах / В.Я. Певнев // Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – 2015. - № 51. – С. 74-77
4. Federal Information Processing Standards Publication 197 November 26, 2001 Specification for the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES)
5. ДСТУ 7624:2014. Інформаційні технології. Криптографічний захист інформації. Алгоритм симетричного блокового перетворення. [Текст]. – Введ. 01–07–2015. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015.
6. ГОСТ Р 34.12-2015 Информационная технология. Криптографическая защита информации. Блочные шифры.- Введ. 01-01-2016.- М.: Стандартифо, 2016
7. Li, Pu; Wang, Yun-Cai; Zhang, Jian-Zhong (2010-09-13). "All-optical fast random number generator". *Optics Express*. 18 (19): 20360–20369. doi:10.1364/OE.18.020360. ISSN 1094-4087.
8. Подорожний И. В. Обзор аппаратных генераторов случайных чисел // Молодой ученый. — 2016. — №1. — С. 190-194. — URL <https://moluch.ru/archive/105/24688/> (дата обращения: 28.05.2018).
9. Фролов, А.В. Анализ модификации конгруэнтного генератора псевдослучайных чисел / А.В. Фролов, В.Я. Певнев // Материалы I МНТК Проблемы научно-технического и правового обеспечения кибербезопасности в современном мире. – Х., 2016 – С. 33.
10. Фролов, В.В. Исследование генератора псевдослучайных чисел на регистрах сдвига с обратной связью / В.В. Фролов, В.Я. Певнев // Материалы I МНТК Проблемы научно-технического и правового обеспечения кибербезопасности в современном мире. - Х., 2016 – С. 32-33.
11. Soto, J. Statistical Testing of Random Number Generators/ J. Soto – National Institute of Standards & Technology, 2009. – pp. 3.
12. Шнайер, Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. / Б. Шнайер — Второе издание Триумф, 2013. — 816 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. Г. Семенов,
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків
Received (Надійшла) 19.06.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.08.2018

Результати досліджень генераторів псевдовипадкових послідовностей з динамічними параметрами

В. Я. Певнев, О. В. Фролов, В. В. Фролов

В роботі представлені результати експериментальних досліджень удосконалених модифікованих конгруєнтних генераторів і генераторів на основі регістрів зсуву із змінними параметрами. Модифікація генераторів полягала в використанні вихідних послідовностей з двох генераторів з різними параметрами шляхом їх бінарного додавання. Наведено результати тестування вироблених псевдовипадкових послідовностей генераторами на основі регістрів зсуву, за рахунок зміни вихідного стану та використання поліномів, які породжують, різної довжини, і параметра m для конгруєнтного генератора. В результаті було відзначено поліпшення статистичних властивостей генерованих псевдовипадкових послідовностей і значне підвищення стійкості до існуючих методів криптоаналізу.

Ключові слова: генератор, регістр зсуву, конгруєнтний генератор, криптостійкість, вихідна послідовність, криптоаналіз.

Results of research of generators of pseudo-random sequences with dynamic parameters

V. Pevnev, A. Frolov, V. Frolov

This work consists of a description and the results of the study of two types of PRS generators - congruent and generator based on shift registers. The main features of the presented generators are the use of dynamically changing parameters. These can be parameters a and c for a congruent generator and generating polynomials for a generator based on shift registers. In addition to using dynamic parameters to increase the cryptostability of the output sequence, a modification of the algorithm for generating of PRS has been developed, consisting in using the XOR operation between the generated sequences of a certain length obtained from two registers having different bits. To test the properties of a congruent generator, a comparative analysis has been performed between 10 generated sequences using the generator's static parameters (a , c , m) and 10 generated sequences using dynamic parameters (a , c , m). For the static generator, five groups of parameters a , c and parameter m with value 220-1 for each group have been used. For the dynamic generator, identical groups of parameters a and c have been used, which were randomly selected and insert into the generator for each new iteration. It should be noted that the results of the appearance of pairs of symbols are slightly different, with less than one percent. Appearances of three and four groups of characters have a significant difference when using generators with fixed parameters, while for generators with dynamic parameters the discrepancies were smaller. As a result of the conducted researches conclusions are drawn that the use of dynamically changing parameters allows to obtain more random sequences capable of resisting the known methods of cryptanalysis. In the study of generators based on shift registers, a series of experiments have been developed whose ultimate goal was to analyze the effect of the initial states of the register on the statistical properties of the resulting sequence, analysis of the influence of the polynomial that was used on the statistical properties of the generator and analysis of the average deviation of symbols in the resulting sequence. Based on the results of the experiments, conclusions are drawn that using the new generator configuration significantly increases period of PRS, making it impossible to restore the generator structure. When comparing the statistical characteristics of the obtained PRS on the congruent generators and the generators on shift registers it has been found that the second type of generator has slightly better characteristics of the generated PRS. It should be stressed that both types of generators satisfy NIST requirements, exceeding them by more than two orders of magnitude. Both types of generators using dynamically changing parameters have considerable resistance to known crypto attacks, which allows their use in modern cryptosystems.

Keywords: generator, shift register, congruent generator, cryptostability, output sequence, cryptanalysis.

А. Н. Рысованый

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина

МЕТОД ГЕНЕРИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ

Предметом исследования в данной статье является процесс получения нелинейной псевдослучайной последовательности на основе использования матрицы связей в конечном поле $GF(3)$. **Цель** – разработать метод получения нелинейной псевдослучайной последовательности в конечном поле $GF(3)$, основанный на использовании матрицы связей в качестве основного элемента генерации. **Задача**: на основе анализа известных подходов к генерированию последовательностей разработать метод, который по сравнению с двоичным регистром сдвига позволяет увеличить длину последовательности. Используемыми **подходами** являются: получение математической закономерности генерирования нового состояния на основе полученного ранее и получение схемы генератора, который реализовывает эти закономерности. Получены следующие **результаты**: метод получения псевдослучайной последовательности в конечном поле $GF(3)$, основанный на использовании матрицы связей в качестве основного элемента генерации. Приведен математический аппарат описания функционирования регистра сдвига с нелинейными обратными связями и его функциональная схема. В работе показан пример формирования первого состояния регистра. Кроме того, приведен пример закономерности кольцевого расположения столбцов матриц связи. В результате чего предложена схема генерирования последовательности без применения обратных связей, как у классического регистра сдвига. Это позволяет генерировать последовательности для любого выбранного полинома, который удовлетворяет условию получения максимального периода генерации. **Выводы**. Предложен метод, представленный в виде полученного выражения, позволяет определить все столбцы матрицы состояний N без выполнения расчетов и быть применимым для определения ПСП с использованием примитивного неприведенного характеристического полинома. В предложенном методе отсутствуют обратные связи, как у классического регистра сдвига, и, поэтому, могут генерироваться ПСП для любого выбранного полинома, который удовлетворяет условию получения максимального периода генерации.

Ключевые слова: псевдослучайная последовательность, регистр сдвига.

Введение

В системах диагностирования цифровых объектов одно из значительных мест отводится генераторам псевдослучайных последовательностей (ПСП), от качества которых зависит глубина тестов. Например, при диагностировании шинных формирователей, контроллеров шин, микросхем памяти становится неэффективным псевдослучайный тест с линейного регистра сдвига с обратными связями, так как эти схемы имеют три состояния (0, 1 и R – высокий импеданс).

Кроме того, для диагностирования линий передачи данных, по которым передаются двуполярные сигналы ($V+$, $V-$, $V0$) предпочтительнее использовать устройства, предназначенные именно для решения таких задач. В этих случаях третьи состояния не диагностируются. Регистры сдвига с нелинейными обратными связями являются основой таких устройств. В работе [1, с. 61] сказано, что: "... в настоящее время мы располагаем весьма скудной информацией о построении нелинейных кодеров". Перекликается с этим высказыванием и работа [2, с. 3]: "... разрыв между практикой и математической теорией недвоичного помехоустойчивого кодирования не сокращается или сокращается недостаточно быстрыми темпами". Кроме того, не снимается задача увеличения длины генерируемой последовательности при ограничении на применяемую максимальную степень полинома [3].

Получение псевдослучайной последовательности в конечном поле $GF(3)$, основанный на использовании матрицы связей в качестве основного элемента генерации и является **целью статьи**.

Основные проблемы и решения

Основная проблема при диагностировании сложных цифровых устройств заключается в отсутствии средств, которые способны диагностировать третье выходное состояние различных микросхем. Такими устройствами диагностирования могли бы служить сигнатурные анализаторы (СА), основой которых являются регистры сдвига с нелинейными обратными связями, построенными по правилу выбранного полинома.

Но в этом случае связи между регистрами и между сумматорами по модулю три должны быть выполнены с учетом выбранного полинома из конечного поля тройки. Такие регистры принято называть нелинейными, т.е. такие, в цепях обратной связи которых происходят нелинейные преобразования.

Но если для генераторов ПСП с нелинейными связями считается приемлемым применение регистра сдвига, то для многоканального СА [4] по временному критерию такое применение уже считается неприемлемым. Однако для того, чтобы результаты были одинаковыми при одинаковых начальных условиях, и первые, и вторые должны использовать одну и ту же теорию – теорию линейных последовательных машин [5-7]. В работе рассматривается разработка математического аппарата функционирования регистров сдвига с нелинейными обратными связями в конечном поле $GF(3)$ и метода получения ПСП на основе использования матрицы связей, применимого в дальнейшем для описания функционирования многоканальных структур, которые в основном являются нелинейными. Для генерирования ПСП в поле $GF(3)$ применяется регистр сдвига с

нелинейными обратными связями, которые принято определять в виде полинома:

$$P(x) = a_n x^n \oplus a_{n-1} x^{n-1} \oplus \dots \oplus a_0 x^0$$

где a_n, a_{n-1}, \dots, a_0 – коэффициенты при аргументах в полиноме; $a_i |_{i=1-n-1} \in \{0, 1, 2\}$; $a_0, a_n \in \{1, 2\}$.

Правила сложения и умножения в конечном поле $GF(3) = \{0, 1, 2\}$ имеют такой вид (рис. 1):

\oplus_3	0	1	2	\otimes_3	0	1	2
0	0	1	2	0	0	0	0
1	1	2	0	1	0	1	2
2	2	0	1	2	0	2	1

Рис. 1. Правила сложения и умножения в конечном поле $GF(3)$

Матрица связей [3] регистра сдвига определяет связи между разрядами регистра сдвига и изменяется в зависимости от выбранного образующего полинома $P(x)$. В общем случае матрица S связей регистра сдвига имеет вид:

$$S = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_{r-1} & a_r \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Например, для $P(x) = x^5 \oplus_3 x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 1$

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

При подаче на вход регистра с образующим полиномом $P(x) = x^5 \oplus_3 x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 1$ логической 1 и последующих сдвигах в регистрах сдвига получится матрица состояний H :

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & \dots & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots & 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & \dots & 1 & 0 & 2 & 1 \end{pmatrix}.$$

Функциональная схема такого классического нелинейного генератора ПСП приведена на рис. 2.

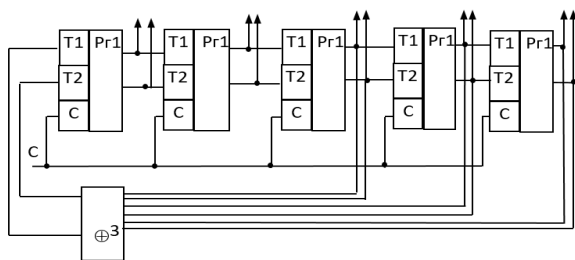


Рис. 2. Функциональная схема НСА с $P(x) = x^5 \oplus_3 x^4 \oplus_3 x^3 \oplus_3 1$

Свободный член a_0 образующего характеристического полинома $P(x) = a_r x^r \oplus_3 a_{r-1} x^{r-1} \oplus_3 \dots \oplus_3 a_1 x \oplus_3 a_0$ описывает первое состояние h_1 матрицы состояний H [3] и всегда равняется: $h_1 = \|a_0 0 \dots 0\|$. Например, для $P_1(x) = x^4 \oplus_3 2x^3 \oplus_3 1$ первое состояние $h_1 = \|1000\|$, а для $P_2(x) = x^4 \oplus_3 2x^3 \oplus_3 2$ первое состояние $h_1 = \|2000\|$, в матрице состояний H каждый столбец матрицы связей S всегда представляет один из столбцов матрицы H регистра ПСП.

Практическое применение почти во всех случаях имеют полиномы с максимальным периодом генерации. В этом случае раскрываются все свойства такого генератора. Однако в случае, когда требуется получить последовательность с конкретной усеченной последовательностью могут применяться и полиномы с не максимальным периодом. Для каждого полинома только с максимальным периодом генерации [7] есть своя закономерность кольцевого расположения столбцов матриц связи.

Каждый $S^i = h^k$, т.е. $S^1 = \|h_2 h_{119} h_{120} h_{121} h_{122}\|$.

$$S^2 = S^1 \times S^1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Такая запись соответствует $S^2 = \|h_2 h_{120} h_{121} h_{122} h_{123}\|$ и т.д. Можно практически проверить, что для $P(X) = 200011$ результирующая формула определения степеней матрицы связей имеет вид:

$$S^i = h_{i+118} h_{i+119} h_{i+120} h_{i+121} h_{i+122}.$$

Для $P(X) \in \text{deg}P(X) = 5$ с $T = 3^{\text{deg}P(X)} - 1$ насчитывается 44 полинома с такими коэффициентами:

- 200011; 210021; 221001; 201122; 211012; 221222; 200121;
- 210111; 221101; 201202; 211202; 222022; 201121; 211011;
- 221221; 202022; 212222; 222122; 201201; 211201; 222021;
- 202102; 220012; 222212; 202021; 212221; 222121; 202112;
- 222022; 202101; 220011; 222211; 210002; 220222; 202111;
- 222021; 200012; 210022; 221002; 210001; 220221; 200122;
- 210112; 221102;

Для каждого из приведенных полиномов существует своя закономерность размещения столбцов проверочной матрицы H в матрице связей S^i , которые можно использовать для генерирования нелинейной псевдослучайной последовательности. Особый интерес представляет исследование полиномов, у которых свободный член полинома равняется 2 и коэффициенты при аргументах, кроме самого старшего так же равняются 2. В противном случае столбцы матрицы связей получаются путем соответствующего сдвига последнего столбца в нелинейном регистре сдвига с обратными связями. Полученные обобщенные формулы позволяют найти все другие столбцы на основе известного одного путем его сдвига.

Способ, который предлагается [8], может быть реализован, например, с помощью устройства, который включает: блок управления выдачей ПСП; группу из n блоков регистров хранения матриц связей разных степеней и группу r -разрядных выходных состояний. Блок регистров предназначен для

хранения матриц связей. В них занесены матрицы связей соответствующих степеней, каждый столбец которой является одним из состояний матрицы H . Блок управления последовательно, за избранным для каждого полинома алгоритмом подает сигналы считывания. В результате чего r -разрядные состояния передаются на выход схемы. Каждый блок выдает свои состояния, которые не должны быть повторены, чтобы не нарушить последовательность генерирования ПСП. Блок управления обеспечивает выдачу соответствующих к избранному алгоритму данных. Причем, начинать выдавать r -разрядные данные можно из какого угодно состояния.

Выводы

Предложен метод, представленный в виде полученного выражения, позволяет определить все столбцы матрицы состояний H без выполнения расчетов и быть применимым для определения ПСП с использованием примитивного неприведенного характеристического полинома. В предложенном методе отсутствуют обратные связи, как у классического регистра сдвига, и, поэтому, могут генерироваться ПСП для любого выбранного полинома, который удовлетворяет условию получения максимального периода генерации.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 576 с.
2. Муттер В.М. Основы помехоустойчивой телепередачи информации. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
3. Рысований А.Н., Гоготов В.В. Выбор полиномов для нелинейных регистров сдвига с обратными связями по критерию формирования последовательности максимальной длины // СУНЗ. – Киев ЦНДИ, 2007. – Вып.1. – С. 77 – 79.
4. Ярмолик В.Н. Контроль и диагностика цифровых узлов ЭВМ. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 240 с.: ил.
5. Литиков И.П. Кольцевое тестирование цифровых устройств. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 160 с.: ил.
6. Горяшко А.П. Синтез диагностируемых схем вычислительных устройств. – М.: Наука, 1987. – 288 с.
7. Ватолин Д., Ракушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ. – 2002. – 384 с.
8. Сорока Л.С., Рысований А.Н., Мороз Б.И. Способ получения псевдослучайной последовательности на основе использования матрицы связей в конечном поле $GF(3)$ // Патент Украины № u201109344. 2012. Бюл. № 5.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О. В. Козелков,
Державний університет телекомунікацій, Київ
Received (Надійшла) 28.04.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.07.2018

Метод генерування нелінійної псевдовипадкової послідовності без використання зворотних зв'язків

О.М. Рисований

Предметом дослідження в даній статті є процес отримання псевдовипадкової послідовності на основі використання матриці зв'язків в кінцевому полі $GF(3)$. **Мета** – розробити метод отримання псевдовипадкової послідовності в кінцевому полі $GF(3)$, заснований на використанні матриці зв'язків в якості основного елемента генерації. **Завдання:** на основі аналізу відомих підходів до генерування послідовностей розробити метод, який в порівнянні з двійковим регістром зсуву дозволяє збільшити довжину послідовності. Використовуваними **підходами** є: отримання математичної закономірності генерування нового стану на основі отриманого раніше і отримання схеми генератора, який реалізує ці закономірності. Отримані наступні **результати:** метод отримання псевдовипадкової послідовності в кінцевому полі $GF(3)$, заснований на використанні матриці зв'язків в якості основного елемента генерації. Наведено математичний апарат опису функціонування регістра зсуву з нелінійними зворотними зв'язками і його функціональна схема. У роботі показаний приклад формування першого стану регістра. Крім того, наведено приклад закономірності кільцевого розташування стовпців матриці зв'язку. В результаті чого запропонована схема генерування послідовності без застосування зворотних зв'язків, як у класичного регістра зрушень. Це дозволяє генерувати послідовності для будь-якого обраного полінома, який задовольняє умові отримання максимального періоду генерації. **Висновки.** Запропоновано метод, представлений у вигляді отриманого виразу, дозволяє визначити всі стовпці матриці станів без виконання розрахунків і бути придатним для визначення ПВП з використанням примітивного неприведеного характеристичного полінома. У запропонованому методі відсутні зворотні зв'язки, як у класичного регістра зсуву, і, тому, можуть генерувати ПВП для будь-якого обраного полінома, який задовольняє умові отримання максимального періоду генерації.

Ключові слова: псевдовипадкова послідовність, регістр зсуву.

The method of generation of nonlinear Pseudocausal sequence without use of feedbacks

A.N. Rysovaniy

The subject of the research in this article is the process of obtaining a pseudocausal sequence based on the use of the coupling matrix in the finite field $GF(3)$. The goal is to develop a method for obtaining a pseudocausal sequence in a finite field $GF(3)$, based on the use of the coupling matrix as the main generation element. The task: based on the analysis of known approaches to sequence generation, develop a method that, in comparison with a binary shift register, allows increasing the length of the sequence. The approaches used are: obtaining a mathematical pattern for generating a new state on the basis of the previously obtained one and obtaining a generator circuit that implements these regularities. The following results are obtained: the method for obtaining a pseudo-random sequence in a finite field $GF(3)$, based on the use of the coupling matrix as the main generation element. A mathematical apparatus describing the functioning of the shift register with nonlinear feedbacks and its functional scheme is given. The paper shows an example of the formation of the first state of the register. In addition, an example of the regularity of the ring arrangement of columns of coupling matrices is given. As a result, a scheme for generating a sequence without the use of feedbacks is proposed, as in the classical shift register. This allows you to generate sequences for any chosen polynomial that satisfies the condition of obtaining the maximum generation period. Conclusions. The method presented in the form of the obtained expression is proposed, it makes it possible to determine all the columns of the state matrix H without performing calculations and to be applicable to the determination of the SRS using a primitive non-reduced characteristic polynomial. In the proposed method, there are no feedbacks, as in the classical shift register, and therefore, a PRSP can be generated for any chosen polynomial that satisfies the condition for obtaining the maximum generation period.

Keywords. pseudocausal sequence, shift register.

О. С. Улічев

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ВПЛИВІВ В СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Предметом вивчення в статті є процеси розповсюдження інформації та інформаційних впливів у віртуальних соціальних мережах. **Метою** є дослідження існуючих моделей розповсюдження інформації та інформаційних впливів у віртуальних соціальних мережах, порівняння окремих моделей, виявлення характеристик та специфічних ознак, що не враховуються в існуючих моделях. **Завдання:** дослідити види існуючих, раніше запропонованих, моделей для моделювання інформаційних процесів в соціальних мережах, провести порівняльний аналіз для виявлення характеристик та проявів, що не враховуються в запропонованих моделях, і в той же час можуть мати суттєвий вплив на досліджувані процеси. Використаними **методами** є: аналіз та синтез, емпіричні методи порівняння. Отримано наступні **результати:** порівняння розглянутих моделей виявляє, що більшість з них не враховують індивідуальних характеристик вузла. Класичні моделі орієнтовані на дослідження певних підгруп вузлів мережі та динаміку зміни даних підгруп, при цьому всі вузли мають однакові характеристики. Практика дослідження ситуацій в реальних умовах показує суттєвість значення та впливу на процес особистих характеристик учасників процесу інформаційного обміну. В тому числі існуючі моделі не враховують і поведінки чи стратегій, що обираються окремими вузлами в ході реалізації процесів інформаційного впливу. **Висновки.** Щоб узагальнити поведінку конкретних учасників мережі на всю мережу, необхідно створення єдиної теорії соціальних мереж, в рамках якої можна було б вивчати методи виявлення і опису характеристик мереж, закономірності поширення цих характеристик, створення методів, що дозволяють за структурою соціальної мережі та іншими характеристиками визначати причини взаємодії учасників. Наявність великої кількості запропонованих моделей потребує комплексного підходу до порівняння та оцінки моделей. Інформаційні впливи ботів та автоматизований підхід до процесу розповсюдження інформації втрачають свою актуальність за рахунок наявності розроблених методів для розпізнавання та нейтралізації таких впливів. В ході «живого спілкування» та інформаційних процесів між людьми – вузлами мережі вирішальне значення мають характеристики окремо взятого вузла та обрана ним поведінкова стратегія для досягнення поставленої мети. Як показує проведене дослідження – більшість існуючих моделей дані аспекти не враховує.

Ключові слова: соціальна мережа, інформаційний вплив, моделювання процесів інформаційного обміну, моделювання соціальних мереж, поширення інформації, поведінкова стратегія.

Вступ

Одним з нових, але досить перспективним напрямком наукових досліджень є вивчення соціальних мереж в цілому, та зокрема розповсюдження інформації в мережі.

Дослідження в даному напрямку викликають зацікавлення в багатьох прикладних напрямках, в аналізі тенденцій та динаміки розповсюдження інформації в соціальних мережах (СМ) зацікавлені маркетологи з точки зору просування товарів на ринки, з тих же міркувань даним напрямком цікавляться і бізнес-аналітики. Іншим проявом явища розповсюдження інформації в СМ є інформаційний вплив (ІВ) та переконання людей в певній ідеї, з цієї точки зору процес цікавить політиків, PR-менеджерів, політтехнологів та пропагандистів.

Інструменти аналізу дозволяють оцінити індивідуальні та групові переваги клієнтів, виявити тренди інтересів і надалі вирішувати важливі стратегічні завдання.

Одним з основних завдань і засобів інформаційного обміну соціальних мереж є поширення інформації: статті, огляди, аудіо, відео, короткі повідомлення («Твіти») та інші види інформації в сукупності утворюють інформаційний контент соціальних мереж.

Значний інтерес до даного питання сприяв його науковому дослідженню, за останні десятиліття науковцями запропоновано ряд методів та засобів ана-

лізу і дослідження СМ в різних їх проявах. Одним з методів дослідження є моделювання.

Метою даної роботи є дослідження моделей розповсюдження інформації та інформаційних впливів в соціальних мережах з погляду використання їх для аналізу комп'ютерних соціальних мереж, зокрема, для аналізу взаємодій між учасниками мережі, прогнозування їх поведінки, класифікації учасників, моделювання інформаційних потоків в мережах та динаміки їх розповсюдження.

Велика кількість існуючих підходів дослідження СМ призвела до необхідності їх класифікації, науковці виділяють декілька напрямків дослідження СМ, зокрема автори [1] класифікують дослідження СМ по чотирьом основним напрямкам: структурний, ресурсний, нормативний та динамічний. В даній роботі будуть розглядатись моделі, що в більшості відносяться до структурного підходу, а також мають ознаки динамічного підходу.

У структурному підході всі учасники мережі розглядаються як вершини графу, які впливають на конфігурацію ребер і інших учасників мережі. Особлива увага приділяється геометричній формі мережі та інтенсивності взаємодій (вазі ребер), тому досліджуються такі характеристики, як взаємне розташування вершин, центральність [2], транзитивність взаємодій.

Динамічний підхід аналізує зміни в структурі мережі: появу нових учасників, утворення стійких підструктур, динаміку зміни зв'язків.

1. Модель епідемії та похідні моделі

Перші моделі для дослідження СМ запропоновані достатньо давно, зокрема варто розглянути модель епідемії, або SIR (Susceptibles - Infectives - Removed). Дана модель запропонована вперше авторами Кермаком та МакКендріком в роботі [3]. Початково модель запропонована для прогнозування розповсюдження епідемій, модель пропонує поділити населення на три групи S - сприятливі до захворювання, I - інфіковані, R - одужали та мають імунітет. Автори моделі запропонували систему диференціальних рівнянь що описує процес розповсюдження хвороби:

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\frac{\beta \cdot I \cdot S}{N}; \\ \frac{dI}{dt} = \frac{\beta \cdot I \cdot S}{N} - \gamma \cdot I; \\ \frac{dR}{dt} = \gamma \cdot I, \end{cases} \quad (1)$$

де β – середня частота зараження; γ – стала середня швидкість одужання; N – загальна кількість особин популяції (кількість населення).

Розповсюдження хвороби багато в чому подібне до розповсюдження інформації в мережі, але дослідження показують що результати моделювання на SIR досить сильно розбігаються з результатами експерименту проведеного на реальній моделі [4]. Основним недоліком даної моделі є те, що вона не враховує динаміки зміни кількості вузлів мережі в часі: окремі користувачі можуть приєднатись до мережі або, навпаки, покинути мережу вибуваючи з ланцюга розповсюдження інформації. Тому для моделювання соціальної мережі було запропоновано розширену модель SIR. Розширена модель доповнена параметрами μ - середня частота залучення нового агента в мережу, δ – середня частота покидання мережі окремим агентом. Розширення набору параметрів дозволило більш точно наблизити модель до реальних показників. Взв'язавши за основу модель SIR в 1965 році була запропонована модель Далея-Кендалла (ДК-модель), дана модель відома ще як «модель розповсюдження чуток». В своїй моделі автори дещо змінили критерії розбиття населення на групи порівняно з моделлю SIR і виділили такі групи: U – група, що починає розповсюдження чуток (новини); V – група, що сприймає чутку і продовжує її розповсюдження; W – група, що не сприймає інформації і не розповсюджує її далі.

Як бачимо, в моделі «розповсюдження чуток» виділено все ті ж три групи але їх інтерпретація адаптована саме до процесу інформаційного обміну. В ДК-моделі чутка розповсюджується з ймовірністю β/N , а ступінь сприйняття визначається параметром μ . Розповсюдження припиняється якщо, розповсюджуючи, агент натикається на представника групи W , ймовірність даного факту визначається співвідношенням:

$$\gamma \cdot V \cdot (V + W) / N. \quad (2)$$

2. Моделі на основі клітинних автоматів

Окремим напрямком в моделюванні мереж є моделі на основі клітинних автоматів. В основі таких моделей лежить дискретна динамічна система, що складається з однорідних клітин. Кожна клітина може мати певний набір станів та правила переходу від одного стану до іншого. На перехід клітини до іншого стану впливають інші клітини, що оточують її. Моделі відрізняються наборами станів та правилами переходу. Дані моделі враховують до певної міри динаміку та структуру мережі: окіл кожної окремо взятої клітини та стан оточуючих клітин. Дані моделі в деяких джерелах називають моделями дифузії інновацій. Формально клітинний автомат може бути описаний співвідношенням:

$$y_j(t+1) = F(y_j(t), O(j), T), \quad (3)$$

де t – крок ітерації; F – формально представлене правило переходу до іншого стану; $y_j(t)$ – стан на попередній ітерації; $O(j)$ – множина сусідніх клітин (окіл кінцевого клітинного автомату). В найпростішому випадку для клітинного автомату можна визначити стани аналогічні критерію розподілу на підмножини ДК-моделі (сприймає новину, сприймає і розповсюджує, не сприймає). Більш адекватно модель відображає процес, якщо розширити набір станів та ускладнити правила переходів. Наприклад деякі автори пропонують враховувати параметр старіння новини та використовувати систему порогів.

Розглянуті вище моделі являються класичними моделями для оцінки інформаційного «зараження», але цікавим є також і дослідження розподілу думок і впливів.

3. Моделі з порогоми та моделі незалежних каскадів

На системі порогів побудовані так звані порогові моделі. Їх суть полягає в тому, що агенти поділяються на активних (ті, що розповсюджують інформацію) та неактивних. Моделюється ітераційний процес, в ході інформаційного обміну в кожного окремого агента накопичується рівень інформаційного впливу та існує певний поріг. При переході даного порогу агент стає активним, при цьому перехід розглядається як незворотній. Якщо функція накопичення є лінійною такі моделі відокремлюють в окремий клас – «Моделі з лінійним порогом».

Подібною по суті є і модель незалежних каскадів, але суттєвою відмінністю від попередньої є те, що вузол v_i може лише однократно (з певною ймовірністю) впливати на вузол v_j . Такі моделі відносять до класу систем взаємодії незалежних частинок. В роботі [5] описана узагальнююча модель, для якої порогові моделі та моделі незалежних каскадів є частковими випадками.

4. Моделі з використанням ланцюгів Маркова

Запропоновано моделі, що враховують події властиві виключно соціальним мережам. Прикладом такої моделі можна навести мультиагентну модель

розповсюдження інформації в мережі запропоновану Ланде Д.В. та співавторами в статті [6], дану модель варто віднести до моделі, що базується на ланцюгах Маркова. В якості базового параметра моделі автори пропонують розглядати деяку величину E (енергія агента) в процесі моделювання ітераційного процесу розповсюдження інформації, з певною ймовірністю можуть відбуватись події, що змінюють рівень енергії агента:

$$\begin{aligned} \text{Лайк} &= E + 1, \text{ Дизлайк} = E - 1, \\ \text{Репост} &= E + 2, \text{ Лінк} = E + 1. \end{aligned} \quad (4)$$

Окрім зовнішніх впливів агент за умовами моделі втрачає по 1 одиниці енергії на кожній ітерації моделі. Ймовірність виникнення подій залежить від ряду факторів: актуальність повідомлення, рівень зацікавленості в інформації, інші характеристичні зовнішні оцінки інформаційного повідомлення. Ймовірності того, що внаслідок повідомлення з енергією агента відбувається певна зміна автори визначили таким чином:

$$\begin{aligned} P_{\text{like}}^{(E)} &= P_{l_0} \cdot \varphi(E); \\ P_{\text{dislike}}^{(E)} &= P_{d_0} \cdot \varphi(E); \\ P_{\text{repost}}^{(E)} &= P_{r_0} \cdot \varphi(E), \end{aligned} \quad (5)$$

де $P_{l_0}, P_{d_0}, P_{r_0}$ – параметри моделі; а $\varphi(E) \in [0, 1]$ – деяка монотонно неспадаюча функція.

При падінні значення енергії агенту до 0 – він «помирає» і більше в моделі не розглядається. Життєвий цикл моделі пропонується починати з одного агента, його можна представити графом (рис. 1).

Досліджуючи ймовірнісний розподіл послідовності через ймовірність переходів при фіксованих початкових параметрах, дослідники приходять до висновку – розподіл ймовірності отримання агентом n лайків відповідає розподілу Вейбулла. Дуже схожі данні були отримані і в ході експерименту, проведеного авторами моделі, з даними отриманими з реальної мережі.



Рис. 1. Представлення моделі з використанням ланцюгів Маркова графом

5. Ігрові моделі

Окремий вид моделей – так звані «теоретико-ігрові» моделі. Вклад в розвиток цієї гілки та ґрунтовні дослідження проведені в роботах Губанова Д.А., Новікова Д.А., Чхартішвілі А.Г. [8, 9, 10]. В моделях даного типу акцент робиться на інформованість і взаємозв'язок між гравцями (агентами). Загалом автори пропонують триступеневу ієрархічну задачу (рис. 2).

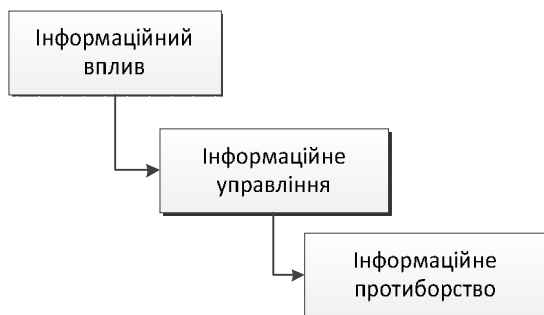


Рис. 2. Ієрархічна структура задач дослідження інформаційних процесів

Ігрова модель розглядає початкові умови гри, кінцеву мету гравця та дії опонентів (інших учасників гри). Агент вибудовує свою гру таким чином, щоб максимізувати свою вигоду з урахуванням поточних умов. Теоретико-ігрові моделі розглядаються в залежності від кінцевої мети, серед них виділяють такі класи:

- 1) моделі взаємної інформованості;
- 2) моделі узгоджених колективних дій (і суспільних благ);

- 3) моделі комунікацій і завдання пошуку мінімально-достатньої мережі;
- 4) моделі стабільності мережі;
- 5) моделі інформаційного впливу та управління;
- 6) моделі інформаційного протиборства.

В залежності від типу моделі визначаються правила гри і можлива поведінка гравця для досягнення кінцевої мети.

6. Порівняння моделей

Порівняння моделей ускладнюється і вибором критеріїв для порівняння і різною внутрішньою структурою та математичною природою моделей. Зрозумілим є той факт, що кожна з моделей має своє спрямування та базується на певних вираженнях з реального процесу: окремо взяті характеристики і властивості.

Запропонована порівняльна таблиця (табл. 1) не розподіляє моделі на «кращі» та «гірші», а лише визначає характеристики та прояви, що враховуються моделлю. З табл. 1 видно, що серед розглянутих моделей жодна не дає комплексного представлення процесу і лише частково враховує окремі характеристики, що притаманні й впливають на реальний процес розповсюдження інформації в СМ. З урахуванням оцінок в табл. 1, найкращий результат на наборі критеріїв показують теоретико-ігрові моделі, але тут необхідно враховувати й той факт, що теоретико-ігрові моделі представляють собою цілий набір класів. Кожна окрема модель враховує, в тій чи іншій мірі, окремі характеристики. З табл. 1 видно, що більшість моделей не враховують активності агента, його поведінкових стратегій в життєвому циклі процесу.

Таблиця 1. Врахування різних властивостей моделями

Властивості	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Моделі зараження	-	-	-	+	-	-	-	+	-
Моделі з порогами	+	+	+	-	-	+	-	-	-
Моделі незалежних каскадів	+	+/-	-	+	-	+	-	-	-
Клітинні автомати	+	+	+	-	-	+	-	+/-	-
Моделі на основі ланцюгів Маркова	+	-	-	+	-	-	-	+	+/-
Теоретико-ігрові моделі	+	+	+/-	+/-	+/-	+	+	-	+/-

Стовпці таблиці: 1 – зміна думки під впливом оточуючих агентів;

2 – вплив структурних особливостей околу агента, та структури мережі в цілому;

3 – різний ступінь схильності агентів до ІВ; 4 – наявність ймовірнісних параметрів;

5 – врахування активності агента; 6 – оптимізація ІВ;

7 – поведінкові стратегії агентів (ігрова взаємодія) ;

8 – оцінка ймовірності певного результату та розподіл агентів в визначений момент часу;

9 – параметризація особистісних якостей агента.

Більшість класичних моделей взагалі не розглядають параметрів агента, всі агенти в цих моделях ідентичні. Ці недоліки суттєво знижують адекватність моделей, бо в реальній ситуації соціальна мережа складається з особистостей з індивідуальними якостями та характеристиками. Поведінка окремого агента звичайно має суттєвий локальний вплив, але, в той же час, це може вплинути і на кінцевий результат чи стан мережі відносно досліджуваного інформаційного впливу. Будь-який інформаційний вплив, розповсюдження новини чи лобювання певної ідеї в мережі починається з одного (або невеликої обмеженої групи) агентів, і на початковому етапі суттєве значення має саме стратегія і особливі якості агента-генератора. В найгіршому для нього випадку інформація взагалі може не набути розповсюдження, або канали й способи розповсюдження будуть обрані невірно й інформаційна хвиля швидко згасне.

Висновки

Для того, щоб робити певні висновки про процеси, що протікають в суспільстві, прогнозувати поведінку його учасників, моделювати соціальну взаємодію, необхідно здійснювати аналіз інформації, яка існує в соціальних мережах. Тому створення нових та інтеграція вже створених методів і моделей аналізу комп'ютерних соціальних мереж становить інтерес для дослідження. Існування різних підходів до аналізу комп'ютерних соціальних мереж призводить до проблеми об'єднання результатів, отриманих в

ході досліджень. У дослідженні атрибутів учасників мережі, зв'язків між ними, виявленні закономірностей побудови мереж між учасниками можуть бути корисні нові методи статистичного аналізу, комбінації їх з алгоритмами з теорії графів та програмними ітераційними моделями. Іноді відносини між учасниками мережі зручно розглядати як ймовірнісні (стохастичні) характеристики для опису процесу еволюції мереж, в інших випадках можуть бути використані моделі з детермінованими наборами правил.

Щоб узагальнити поведінку конкретних учасників мережі на всю мережу, необхідно створення єдиної теорії соціальних мереж, в рамках якої можна було б вивчати методи виявлення і опису характеристик мереж, закономірності поширення цих характеристик, створення методів, що дозволяють за структурою соціальної мережі та іншими характеристиками визначати причини взаємодій учасників.

Як показує огляд джерел, сьгодні дослідники пропонують як комбіновані комплексні моделі, що мають підвищити адекватність і відповідність моделювання реальним процесам, так і моделі орієнтовані на дослідження конкретного питання чи характеристики. Перші стикаються з проблемами математичного характеру, суттєвого ускладнення структури моделі внаслідок нашарування параметрів і породженням різного роду колізій. Другі стикаються з ризиками отримання великих похибок в результаті відкидання певних характеристик та параметрів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Батура Т.В. Модели и методы анализа компьютерных социальных сетей // Программные продукты и системы 2013. № 3 С. 130-137.
2. Мелешко С.В. Дослідження методів визначення центральності акторів у соціальних мережах для задач інформаційної безпеки / С.В. Мелешко, В.С. Гермак, С.М. Охотний / Збірник наукових праць "Системи управління, навігації та зв'язку". Випуск 4(40). – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка. – 2016. – С. 67-70.
3. Kermack W.O., McKendrick A.G. A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics // Proc. of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 1927. No. 115 (772). 700 p. DOI:10.1098/rspa.1927.0118. JSTOR 94815.
4. Горковенко Д.К. Сравнительный анализ моделей эпидемии и клеточного автомата при моделировании распространения информации в социальных сетях // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2017. Т. 10. № 3. С. 103–113. DOI: 10.18721/JCSTCS.10309
5. Kempe D., Kleinberg J., Tardos E. Maximizing the Spread of Influence through a Social Network / Proceedings of the 9-th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. - 2003. - p. 137-146.
6. Ландэ Д.В., Грайворонская А.Н., Березин Б.А. Мультиагентная модель распространения информации в социальной сети// Системи збереження та масового розповсюдження даних: Реєстрація, зберігання і обробка даних, 2016, Т.18,

№1

7. Чураков А.Н. Анализ социальных сетей // Социологические исследования. 2001. № 1. С. 109–121.
8. Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Модели информационного влияния и информационного управления в социальных сетях // Проблемы управления. 2009.
9. Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Модели репутации и информационного управления в социальных сетях // Управление большими системами. 2009.
10. Чхартишвили А.Г. Теоретико-игровые модели информационного управления. – М.: ПМСОФТ, 2005.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. Г. Семенов,
 Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків
 Received (Надійшла) 12.06.2018
 Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.08.2018

Исследование моделей распространения информации и информационных воздействий в социальных сетях

А.С. Уличев

Предметом изучения в статье являются процессы распространения информации и информационных воздействий в виртуальных социальных сетях. **Целью** является исследование существующих моделей распространения информации и информационных воздействий в виртуальных социальных сетях, сравнение отдельных моделей, выявление характеристик и специфических признаков, которые не учитываются в существующих моделях. **Задача:** исследовать виды существующих, ранее предложенных, моделей для моделирования информационных процессов в социальных сетях, провести сравнительный анализ для выявления характеристик и проявлений, которые не учитываются в предложенных моделях, и в то же время могут иметь существенное влияние на исследуемые процессы. **Использованными методами** являются: анализ и синтез, эмпирические методы сравнения. Получены следующие **результаты:** сравнение рассмотренных моделей обнаруживает, что большинство из них не учитывают индивидуальных характеристик узла. Классические модели ориентированы на исследование определенных подгрупп узлов сети и динамику изменения данных подгрупп, при этом все узлы имеют одинаковые характеристики. Практика исследования ситуаций в реальных условиях показывает существенность значения и влияния на процесс личностных характеристик участников процесса информационного обмена. В том числе существующие модели не учитывают и поведения или стратегий, избираемых отдельными узлами в ходе реализации процессов информационного воздействия. **Выводы.** Чтобы обобщить поведение конкретных участников сети на всю сеть, необходимо создание единой теории социальных сетей, в рамках которой можно было бы изучать методы выявления и описания характеристик сетей, закономерности распространения этих характеристик, создание методов, позволяющих по структуре социальной сети и другим характеристикам определять причины взаимодействий участников. Наличие большого количества предложенных моделей требует комплексного подхода к сравнению и оценке моделей. Информационные влияния ботов и автоматизированный подход к процессу распространения информации теряют свою актуальность за счет наличия разработанных методов для распознавания и нейтрализации таких воздействий. В ходе «живого общения» и информационных процессов между людьми-узлами сети решающее значение имеют характеристики отдельно взятого узла и выбранная им поведенческая стратегия для достижения поставленной цели. Как показывает проведенное исследование – большинство существующих моделей данные аспекты не учитывает.

Ключевые слова: социальная сеть, информационное воздействие, моделирование процессов информационного обмена, моделирование социальных сетей, распространение информации, поведенческая стратегия.

Research of the models of information dissemination and information influences in social networks

O.S. Ulichev

The **subject matter** of the article is the processes of dissemination of information and information influences in virtual social networks. The **goal** is research existing models of information dissemination and information influences in virtual social networks, carry out the comparative analysis existing models, identify characteristics and specific features that are not taken into account in existing models. The **tasks** to be solved are: to investigate the types of existing, previously proposed models for modeling information processes in social networks, to perform a comparative analysis to identify characteristics and manifestations that are not taken into account in the proposed models, and at the same time may have a significant impact on the processes under study. The **methods** used are: analysis and synthesis, empirical comparison methods. The following **results** were obtained: a comparison of the models considered reveals that most of them do not take into account the individual characteristics of the node. Classical models are focused on the study of certain subgroups of network nodes and the dynamics of changes in these subgroups, with all nodes have the same characteristics. The practice of studying situations in real conditions shows the significance of the importance and influence on the process of personal characteristics of the participants in the information exchange process. Including existing models do not take into account the behavior or strategies selected by individual nodes during the implementation of information impact processes. **Conclusions.** In order to generalize the behavior of specific network participants to the whole network, it is necessary to create a unified theory of social networks, within which one could study methods for identifying and describing the characteristics of networks, the patterns of propagation of these characteristics, the creation of methods that, in terms of the social network structure and other characteristics, participants. The presence of a large number of proposed models requires an integrated approach to comparison and evaluation of models. The information influence of bots and the automated approach to the information dissemination process are losing their topicality due to the availability of developed methods for recognizing and neutralizing such impacts. In the course of "live communication" and information processes between people - network nodes, the characteristics of a single node and the chosen behavioral strategy for achieving the set goal are crucial. As the study shows, most models do not consider these aspects.

Keywords: social network, information influence, modeling of information exchange processes, social network modeling, information dissemination, behavioral strategy.

РОЗРОБКА СКРИПТОВОЇ МОВИ ЗАПИСУ ПРАВИЛ В ЕКСПЕРТНІЙ СИСТЕМІ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Предметом вивчення у статті є процес розробки експертних систем із використанням апарату нечіткої логіки та продукційною базою знань. **Метою** є розробка скриптової мови для запису правил у базу знань експертної системи, що використовує апарат нечіткої логіки. Скриптова мова, повинна реалізувати мінімальні можливості для опису правил, а саме: опис змінних; запис та обробка логічних виразів; визначення просторів імен, – що дозволило би більш точно описати певну ситуацію; надати більш гнучкі засоби опису; виконувати логічні операції між різними типами даних; компенсувати неоднозначність висновків експертів, зважаючи на можливу недостовірність даних. **Завдання:** дослідити існуючі, поширені скриптові мови, що використовуються для запису правил у базі знань експертної системи, здійснити аналіз існуючих методів їх застосування; розробити власну мову опису правил – мову логічного програмування, інтерпретовану, інтегровану в механізми роботи експертної системи, однак таку, яку можливо виділити в самостійну. Отримані такі **результати:** Розроблено скриптову мову для запису правил у базу знань експертної системи, що використовує апарат нечіткої логіки. Скриптова мова реалізує мінімальні можливості для опису правил: опис змінних; запис та обробка логічних виразів; визначення просторів імен, що дозволяє: більш точно описати певну ситуацію; надати більш гнучкі засоби опису; виконувати логічні операції між різними типами даних; компенсувати неоднозначність висновків експертів, зважаючи на можливу недостовірність даних. Визначено напрямки подальших досліджень та роботи по вдосконаленню та розширенню області застосування розробленої скриптової мови. **Висновки.** Розроблено скриптову мову для запису правил у базу знань експертної системи, що використовує апарат нечіткої логіки. На даний момент розроблена скриптова мова реалізує мінімальні можливості для опису правил: опис змінних; запис та обробка логічних виразів; визначення просторів імен. Це дозволяє: більш точно описати певну ситуацію; надати більш гнучкі засоби опису; виконувати логічні операції між різними типами даних; компенсувати неоднозначність висновків експертів, зважаючи на можливу недостовірність даних. Планується реалізувати підтримку конструкцій, що дозволить використовувати скриптову мову окремо від експертної системи.

Ключові слова: експертна система, скриптова мова, нечітка логіка, інтелектуальна система, продукційна модель представлення знань.

Вступ

Загалом, теоретичної чи практичної відмінності між мовою програмування та скриптовою мовою - немає. Тим не менш, можливо виділити певні властивості і особливості за якими алгоритмічну мову починають називати скриптовою.

По-перше, скриптова мова, зазвичай, використовується і виконується в середині певної програми. Це обумовлюється тим, що скриптові мови, зазвичай інтерпретуються і не вимагають компіляції.

По-друге, скриптові мови, часто розроблені і орієнтовані на вирішення певних, специфічних задач.

По-третє, скриптові мови найчастіше «дуже» високорівневі і не вимагають великої кількості часу для їх вивчення.

Найпоширеніша область використання скриптової мови це автоматизація певного процесу в середині вже існуючої програми/системи. Найчастіше, скриптова мова поставляється як вбудована мова в певну систему.

Розглянемо деякі з мов програмування, яким притаманні, в тій чи іншій мірі, вищезгадані властивості, а також наведемо приклади їх застосування в експертних системах (ЕС).

JavaScript – високорівнева, інтерпретована, мультипарадигмова мова програмування з динамічною типізацією. Одна з найвідоміших реалізацій стандарту ECMA-262. Мова для виконання обчислень та

маніпулювання обчислювальними об'єктами в середовищі хосту. Використовує бінарну логіку для виконання логічних операцій [1]. Її використання було запропоновано у веб-базованій системі прийняття рішень на основі нечіткої логіки як засіб, що допоможе розвантажити сервер експертної системи, виконуючи частину розрахунків на стороні клієнта [2]. Також використовувалася для побудови SeTES – експертної системи з самонавчанням. Там JavaScript було використано для організації роботи інтерфейсу користувача та передачі даних за допомогою JSON до безпосередньо самої експертної системи, яка в свою чергу написана на Python [3].

Python – високорівнева інтерпретована, об'єктно-орієнтована мова програмування з строгою динамічною типізацією [4]. Використовує бінарну логіку для виконання логічних операцій. Використовувалася для розробки SeTES, а саме для реалізації основної програми експертної системи – Python Runner, яка отримує та обробляє дані від користувачів після чого передає дані PHP-скриптам, які генерують HTML-сторінку з вихідними даними [3]. Також мова Python використовувалася у експертній системі діагностики нещасних випадків на основі дерева рішень у реальному часі, де її було використано для реалізації модуля діагностики. Сама ж система розроблена для функціонування на комерційних електростанціях [5].

Prolog – мова логічного програмування, декларативна. Дана мова базується на невеликій кількості

базових механізмів включаючи зіставлення зразків, даних структурованих під дерева та автоматичному поверненню назад [6]. Прикладом використання Prolog`у може бути експертна система для аналізу правил брендмауера. В цій системі Prolog було використано для запису правил у базі знань, це було зроблено через зручність їх представлення засобами декларативної мови, оскільки такий запис дозволяє легко виразити знання без накладання інформації на обчислювані деталі [7]. Prolog як і вище розглянуті мови використовує бінарну логіку для виконання логічних операцій.

Bousi~Prolog – мова логічного програмування із синтаксисом як і у Prolog, але вона доповнена символом «~», який використовується для опису подібності за допомогою рівняння подібності. Завдяки можливості використовувати подібності, Bousi ~ Prolog здатна використовувати нечітку логіку для виконання логічних операцій [8].

FASILL – мова логічного програмування першого порядку, виконує логічні операції з використанням нечіткої логіки. Правила в програмі FASILL мають ту ж роль, що й Prolog. Імплементовано у системі FLOPER, в свою чергу FLOPER реалізовано з використанням Sicstus Prolog версії 3.12.5, система доступна онлайн і використовується для різноманітних досліджень [9].

Метою даної роботи є розробка скриптової мови для запису правил у базу знань експертної системи, що використовує апарат нечіткої логіки.

Основна частина

В процесі розробки експертної системи для аудиту інформаційної безпеки в комп'ютерних системах та мережах [10], заснованої на нечіткій логіці постало питання про те, в якому форматі будуть записуватися правила в базі знань. Спочатку передбачався запис правил у вигляді продукцій, так як інші способи представлення знань були розглянуті [11] і відхилені через громіздкість, або через те, що передбачають роботу з макрознаннями, які не дуже раціонально використовувати в системі, робота якої проходить у досить формалізованому середовищі. Правило у вигляді імплікації не давало достатньої гнучкості, так як має вигляд: **ЯКЩО** *A* і *B* і *C* і **ТОДІ** *E*.

Такий вид правил хоч і зрозумілий, і простий все ж значно обмежує можливості для опису конкретного випадку. До того ж інформативна ємність такого правила невелика, в зв'язку з цим міркувань з боку експертної системи необхідно досить багато, що є досить відомою проблемою експертних систем з продукційною моделлю представлення знань. Вважається, що продукційна експертна система є непрацездатною, якщо в базі знань зберігається тисяча або більше продукцій [12]. Ще одна проблема – це односторонність подання знань, передбачається, що конкретний випадок можна описати наявністю інформації за декількома фактами, відсутня можливість опису будь-яких винятків в правилі. До всього іншого, в розроблюваній експертній системі особлива увага приділяється гнучкості описів для того, щоб

дати можливість реалізовувати більш творчі підходи для досягнення цілей – опис правил у вигляді продукцій зводять такі наміри до нуля. Особливістю функціонування експертної системи в області пен-тестінгу (тестування на проникнення, penetration-testing) є те, що деякі робочі рішення далеко не завжди очевидні, або ж задовольняють вимоги частково, тим не менш досягнення цих результатів надає можливість задовольнити вимоги в повному обсязі [13], тому бажано мати на виході кілька можливих пропозицій, а поруч деякий коефіцієнт релевантності щодо поточного контексту. Ще однією особливістю роботи експертної системи в цій галузі є те, що не завжди експерт може бути впевнений у результативності запропонованого рішення в повній мірі, хоча б тому, що не може бути впевненим у точності зібраної інформації, в разі тестування «чорного ящика» [14].

Таким чином, можна сформулювати основні проблеми експертної системи заснованої на продукційній базі знань, які послужили причиною створення власної мови опису правил:

- неінформативність продукцій;
- недостатня гнучкість описів;
- односторонність представлення знань;
- відсутність на виході коефіцієнта релевантності;
- відносна впевненість експерта в достовірності даних, з якими працює ЕС.

Для вирішення цих проблем було прийнято рішення розробити власну мову опису правил. Розроблена мова логічного програмування, інтерпретована, інтегрована в механізми роботи ЕС, однак її можливо виділити в самостійну. Вона здатна виконувати логічні операції I, АБО, НІ. Конструкція логічного виразу може бути, практично, будь-якої «глибини» і з залученням необхідної кількості змінних. Змінні в мові представлені трьома типами int, float та str. Однією з особливостей мови є те, що змінні задаються у вигляді нечітких. У зв'язку з цим для опису змінної типу int необхідно вказати її ім'я, мінімальне значення, максимальне значення і тип характеристичної функції, те ж саме необхідно вказати і при описі змінної типу float.

Опис змінної типу str відрізняється від інших, так як задається у вигляді множини рядків із зазначенням коефіцієнта релевантності або ваги для кожного елемента множини. Або коефіцієнти будуть розраховуватися автоматично, для чого при описі вказується відповідна опція. В цілому опис змінної типу str виглядає наступним чином – встановлюється прапор true або false – чи буде користувач самостійно вказувати коефіцієнти для значень рядків, якщо так – то далі необхідно вказати розділовий символ, який буде розділяти значення рядка від коефіцієнта.

Синтаксис опису змінних виглядає таким чином:

- **int** <ім'я_змінної> [<мінімальне_значення>, <максимальне_значення>, <номер_характеристичної_функції>, <простір_імен>];
- **float** <ім'я_змінної> [<мінімальне_значення>, <максимальне_значення>, <номер_характеристичної_функції>, <простір_імен>];

• **str** < ім'я змінної>[<прапор>, <спец_символ>, {“<коефіцієнт><спец_символ><рядок>”, “<коефіцієнт><спец_символ><рядок>”, “<коефіцієнт><спец_символ><рядок>”...}, <простір імен>];

Необхідно, уточнити про параметр: <номер_

характеристичної_функції> – в інтерпретаторі встановлені три види характеристичних функцій, які дозволяють розрахувати ступінь релевантності змінної в залежності від контексту, графіки цих функцій наведено нижче, на рис. 1, 2, 3.

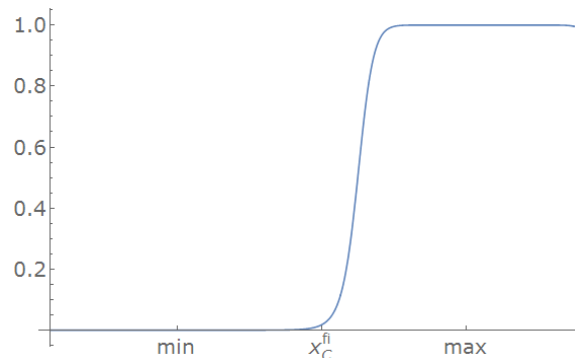


Рис. 1. Графік характеристичної функції при $f_i = 1$

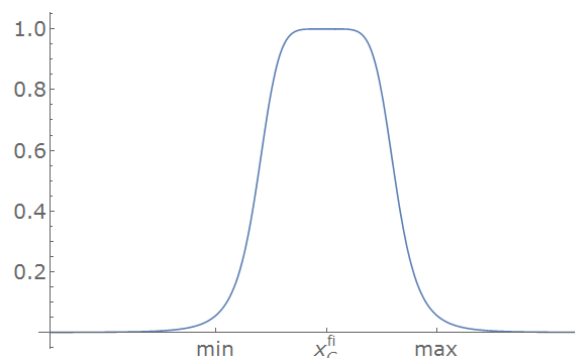


Рис. 2. Графік характеристичної функції при $f_i = 2$

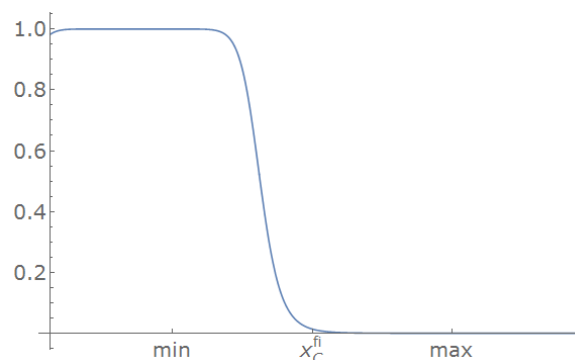


Рис. 3. Графік характеристичної функції при $f_i = 3$

Загалом, характеристична функція у системі має наступний вигляд:

$$\mu A(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - x_c^{f_i}}{\text{range}} \right)^{\text{sensitivity}}}, \quad (1)$$

де f_i – номер характеристичної функції; *sensitivity* – значення чутливості системи; *range* – значення області істинності, тоді:

$$x_c^{f_i} \in \left[\min, \frac{\min + \max}{2} \right], \quad \text{якщо } f_i = 1, \quad (2)$$

$$x_c^{f_i} = \frac{\min + \max}{2}, \quad \text{якщо } f_i = 2, \quad (3)$$

$$x_c^{f_i} \in \left[\frac{\min + \max}{2}, \max \right], \quad \text{якщо } f_i = 3. \quad (4)$$

Для $f_i = 1$ графік функції зображено на рис. 1, для $f_i = 2$ графік функції зображено на рис. 2, а для $f_i = 3$ – на рис. 3.

Контекст визначається простором імен, одне правило (логічний вираз) може перебувати в одному просторі імен, але в правилі можуть бути змінні з різних. Це обробляється двигуном експертної системи для розширення її пошукових здібностей.

В цілому, правило обробляється в два етапи – на першому розраховується коефіцієнт релевантності для кожної змінної щодо поточного контексту. На другому етапі кожній змінній призначається еквівалент булевої змінної (true | false) і виконуються всі

логічні операції в правилі, на етапі прототипування вирішено, що змінна отримує еквівалент false в разі, якщо її контекст покинув зазначений діапазон в описі, а ступінь її релевантності дорівнює нулю, в іншому випадку змінна – true, а ступінь релевантності розраховується згідно характеристичної функції.

В кінці приводиться результат обчислення булевих логічних операцій разом з сумою всіх коефіцієнтів, релевантністю за правилом. Вирішено не розраховувати середнє значення за правилом, так як включення більшої кількості фактів (змінних) в правило може вказувати на більш точну оцінку поточного контексту, а відтак – підвищення коефіцієнту релевантності правила в цілому, за рахунок включення додаткових фактів в правило вважається справедливим.

Подібний підхід до опису правил здається більш ефективним, так як дозволяє більш точно описати певну ситуацію завдяки підвищенню інформативності за рахунок розгляду в кожному правилі не одного значення для кожного факту, а їх наборів/діапазонів. Гнучкість опису, підвищується за рахунок можливості використання набору з логічних операторів I, АБО, НЕ, а так само за рахунок можливості вказівки діапазону значень і можливості управління процесом розрахунку коефіцієнтів релевантності для кожного факту окремо. Правило більше не однобоке, так як вихід певного факту за рамки змінної призведе лише до падіння ступеня релевантності в цілому по правилу. I, незважаючи на те, що в такому випадку парсер нечіткої логіки відпрацює таку змінну як змінну зі значенням false, результат спрацювання правила все одно надасть певну інформацію, яка може допомогти фахівцю доповнити картину контексту.

Використання скриптової мови для запису пра-

вил в розроблюваній системі дав можливість розрахувати для будь-якої змінної в правилі ступінь релевантності щодо поточного контексту, що дає можливість виконувати логічні операції між змінними різних типів, це дає можливість розраховувати коефіцієнти релевантності для правил з будь-яким набором даних, і дає можливість системі пропонувати на виході набір з рішень з різним ступенем впевненості в їх ефективності.

Завдяки можливості задавати в правилах змінні у вигляді діапазонів значень, експерт може компенсувати неоднозначність своїх висновків у зв'язку з можливою недостовірністю деяких даних, з якими надалі може працювати система.

Висновки

Розроблено скриптову мову для запису правил у базі знань експертної системи, що використовує апарат нечіткої логіки.

На даний момент, розроблена скриптова мова реалізує мінімальні можливості для опису правил:

- Опис змінних.
- Запис та обробка логічних виразів.
- Визначення просторів імен.

Це дозволяє:

- Більш точно описати певну ситуацію.
- Надати більш гнучкі засоби опису.
- Виконувати логічні операції між різними типами даних

– Компенсувати неоднозначність висновків експертів, зважаючи на можливу недостовірність даних.

Планується реалізувати підтримку конструкцій, що дозволить використовувати скриптову мову окремо від експертної системи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ecma International. ECMA- 262 / Ecma International. – Geneva: Ecma International, 2018. – 805 с. – (Ecma International).
2. Vahid R. A Novel Web-based Human Advisor Fuzzy Expert System / R. Vahid, H. Mahdi. // Journal of Applied Research and Technology. – 2013. – №11. – С. 161–168.
3. George J. M. SeTES, a Self - Teaching Expert System for the analysis, design and prediction of gas production from unconventional resources / J. Moridis George. // RPSEA. – 2011. – №712. – С. 1–116.
4. The Making of Python [Електронний ресурс] // Artima. – 2003. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.artima.com/intv/pythonP.html>.
5. Andressa S. N. Accident diagnosis system based on real-time decision tree expert system / S. N. Andressa, P. A. João, S. Roberto. // American Institute of Physics. – 2017. – С. 1–6.
6. Ivan B. Prolog Programming for Artificial Intelligence / Bratko Ivan. – Harlow: Pearson education limited, 2012. – 697 с. – (Pearson). – (4; кн. 4).
7. Eronen P. An expert system for analyzing firewall rules / P. Eronen, J. Zitting. // Helsinki University of Technology. – 2001. – С. 1–8.
8. Pascual J. Bousi ~ Prolog: a Prolog Extension Language for Flexible Query Answering / J. Pascual, R. Clemente, J. Gallardo-Casero. // Electronic Notes in Theoretical Computer Science. – 2009. – №248. – С. 131–147.
9. S. Escobar (Ed.): XIV Jornadas sobre Programación y Lenguajes, PROLE 2014, Revised Selected Papers EPTCS 173, 2015, pp. 71–86, doi:10.4204/EPTCS.173.6 A Fuzzy Logic Programming Environment for Managing Similarity and Truth Degrees / J. Pascual, M. Ginés, P. Jaime, V. Carlos. // Jornadas sobre Programación y Lenguajes. – 2015. – С. 71–86.
10. Хох В.Д. Експертна система для автоматизації аудиту інформаційної безпеки комп'ютерних систем та мереж / В.Д. Хох, Є.В. Мелешко // Збірник тез Шостої міжнародної науково-технічної конференції "ITSEC", м. Київ, 17-19 травня 2016. – Київ: Національний авіаційний університет. – 2016. – С. 17-18.
11. Хох В.Д. Дослідження методів побудови експертних систем / В.Д. Хох, Є.В. Мелешко, М.С. Якименко // Збірник наукових праць "Системи управління, навігації та зв'язку". Випуск 4(40). – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка. – 2016. – С. 48-52.
12. Болотова І. С. Системи искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях / І. С. Болотова. – Москва: Финансы и Статистика, 2012. – 664 с. – (ФГАУ ГНИИ ИТТ "Информатика").

13. AN OVERVIEW OF PENETRATION TESTING / G. B. Aileen, Y. Xiaohong, B. C. Bei-Tseng, J. Monique. // International Journal of Network Security & Its Applications (IJNSA), – 2011. – №6. – С. 19–38.
14. Technical Guide to Information Security Testing and Assessment / S. Karen, S. Murugiah, C. Amanda, O. Angela. // National Institute of Standards and Technology. – 2008. – С. 24–34.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. Г. Семенов,
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків
Received (Надійшла) 19.06.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.08.2018

Разработка скриптового языка записи правил в экспертной системе на основе нечёткой логики

В. Д. Хох

Предметом изучения в статье является процесс разработки экспертных систем с использованием аппарата нечеткой логики и продукционной базы знаний. **Целью** является разработка скриптового языка для записи правил в базу знаний экспертной системы, использующей аппарат нечеткой логики. Скриптовый язык, должен реализовать минимальные возможности для описания правил, а именно: описание переменных; запись и обработка логических выражений; определения пространств имен, - что позволило бы более точно описать определенную ситуацию; предоставить более гибкие средства описания; выполнять логические операции между различными типами данных; компенсировать неоднозначность выводов экспертов, принимая во внимание возможную недостоверность данных. **Задача:** исследовать существующие, распространенные скриптовые языки, используемые для записи правил в базе знаний экспертной системы, осуществить анализ существующих методов их применения; разработать собственный язык описания правил - язык логического программирования, интерпретированный, интегрированный в механизмы работы экспертной системы, однако такой, который можно выделить в самостоятельный. Получены следующие **результаты:** Разработан скриптовый язык для записи правил в базу знаний экспертной системы, использующий аппарат нечеткой логики. Скриптовый язык реализует минимальные возможности для описания правил: описание переменных; запись и обработка логических выражений; определения пространств имен, что позволяет более точно описать определенную ситуацию; предоставить более гибкие средства описания; выполнять логические операции между различными типами данных; компенсировать неоднозначность выводов экспертов, принимая во внимание возможную недостоверность данных. Определены направления дальнейших исследований и работы по совершенствованию и расширению области применения разработанного скриптового языка. **Выводы.** Разработан скриптовый язык для записи правил в базу знаний экспертной системы, использующей аппарат нечеткой логики. На данный момент разработанный скриптовый язык реализует минимальные возможности для описания правил: описание переменных; запись и обработка логических выражений; определение пространств имен, что позволяет более точно описать определенную ситуацию; предоставить более гибкие средства описания; выполнять логические операции между различными типами данных; компенсировать неоднозначность выводов экспертов, принимая во внимание возможную недостоверность данных. Планируется реализовать поддержку конструкций, что позволило бы использовать скриптовый язык отдельно от экспертной системы.

Ключевые слова: экспертная система, скриптовый язык, нечеткая логика, интеллектуальная система, продукционная модель представления знаний.

Development of script language for notation rules in expert system based on fuzzy logic

V. D. Khokh

The **subject matter** is the process of developing expert systems using the apparatus of fuzzy logic and product knowledge base. The **goal** is to develop a scripting language for writing rules into the knowledge base of an expert system using fuzzy logic. A scripting language that implements the minimal possibilities for describing rules, namely: the description of variables writing and processing of logical expressions; definition of namespaces. That would allow: more accurately describe a specific situation; provide more flexible means of description; perform logical operations between different types of data; compensate the ambiguity of the conclusions of experts, considering the possible unreliability of the data. The **tasks** to be solved are: to explore existing, distributed scripting languages, languages that are used to notate the rules into the knowledge base of the expert system, to analyze the existing methods of their application. Develop own language for notating the rules. The language of logical programming, interpreted, integrated into the mechanisms of the ES, but one that can be separated into an independent one. The following **results** were obtained: the script language has been developed to notate rules into the knowledge base of the expert system using the fuzzy logic apparatus. The scripting language implements the minimal possibilities for describing rules: the description of variables writing and processing of logical expressions; definition of namespaces. That allows more accurately to describe a certain situation; provide more flexible means of description; perform logical operations between different types of data; to compensate the uncertainty of the expert's conclusions, considering the possible unreliability of the data. Directions for further research and work on improving and expanding the scope of the developed scripting language are determined. **Conclusions.** A script language has been developed to notate rules into the knowledge base of the expert system based on the fuzzy logic apparatus. At the moment, the developed scripting language implements the minimal possibilities for the description of rules: the description of variables writing and processing of logical expressions; definition of namespaces. This allows more accurate description of a specific situation; provide more flexible means of description; perform logical operations between different types of data; to compensate the ambiguity of the experts' conclusions, considering the possible unreliability of the data. It is planned to implement support for constructs that will allow using the scripting language separately from the expert system.

Keywords: expert system, script language, fuzzy logic, intellectual system, production model of knowledge representation.

В. А. Глива¹, Л. О. Левченко², О. М. Тихенко¹

¹ Національний авіаційний університет, Київ, Україна

² Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ АЕРОІОНІВ У ПРИМІЩЕННЯХ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЇХ ЗМІН

На основі аналізу рівняння неперервності потоку повітря при наявності джерела його іонізації розглянуто можливі закономірності розповсюдження аероіонів у приміщенні. Надано розв'язок рівняння за наявності спрямованого руху повітря. Показано, що процеси дифузії мало впливають на розповсюдження аероіонів. Проведено моделювання поширення аероіонів при неперервному функціонуванні джерела іонізації повітря за різних його продуктивностей. Розраховано параметри для визначення динаміки аероіонів – середні довжини вільного пробігу та час життя. Визначено час життя аероіонів при їх різних концентраціях. Розраховано середню генерацію аероіонів у залежності від рівнів природної радіоактивності у приміщенні. Надано рекомендації щодо використання результатів у практичній діяльності.

Ключові слова: іонізація повітря, концентрація аероіонів, аероіонізація.

Вступ

Постановка проблеми. Сстійкою тенденцією останніх років є збільшення та ущільнення розміщення різноманітного обладнання у виробничих приміщеннях. Значна його частина може впливати на аероіонний склад повітря. Відомо, що концентрації аероіонів обох полярностей є важливим показником якості повітря виробничого середовища та навчальних приміщень. Особливо це є актуальним для останніх, у зв'язку з постійною зміною кількості людей, які одночасно перебувають в аудиторії або лабораторії та різну кількість обладнання, яке функціонує. На сьогоднішній день актуальною є задача прогнозування концентрацій аероіонів, особливо на стадіях проектування розміщення обладнання у приміщеннях. Це вимагає узагальнення методів розрахунку концентрацій аероіонів при різних внутрішніх та зовнішніх впливах на стан середовища та здійснення моделювання динаміки аероіонного складу повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв'язку з появою джерел деіонізації повітря спостерігається підвищена увага до цієї проблематики, про що свідчить збільшення кількості публікацій щодо впливу аероіонів на здоров'я людей, дослідження розподілу аероіонів у приміщеннях та його динаміки, удосконалення метрологічної бази. Більшість з них присвячено розробленню і дослідженню засобів аероіонізації повітря у приміщеннях [1, 2] та приладів з контролю концентрації аероіонів [3, 4]. Останнє дуже важливе через те, що паспортні похибки вимірювань більшості лічильників аероіонів складають біля 40 % при рухомостях $(\geq 0,4 \text{ см}^2 / (B \cdot c))$. При

цьому поза увагою залишаються питання розподілу аероіонів у приміщеннях та дослідження динаміки їх концентрацій. Деякі роботи у цих напрямках, як, наприклад, [5] стосуються специфічних умов, а не більшості приміщень перебування людей. Винятком є робота [6], у якій на основі експериментальних

досліджень та аналізу розробок з цих питань запропоновані оптимальні рішення з нормалізації аероіонного складу повітря у приміщеннях з приливно-витяжною вентиляцією, а також зроблено ґрунтовне порівняння обладнання для іонізації повітря у приміщеннях. Проте важливим є створення математичного апарату для попередніх розрахунків фактичного стану та динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях. У [7] зроблено спробу моделювання таких процесів, але запропонований математичний апарат має ряд недоліків: недостатньо коректно визначені граничні умови та розв'язане рівняння неперервності. Сучасний підхід до моделювання розповсюдження аероіонів надано у [8], але його практичне використання складне і базується на не зовсім коректних математичних співвідношеннях.

Потребують уточнення розрахунки щодо просторової та часової динаміки аероіонного складу повітря і порівняння їх з натурними вимірюваннями.

Мета статті – проаналізувати процес розповсюдження аероіонів та надати прийнятний за точністю та простий у практичному використанні математичний апарат, щодо динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях, придатний для моделювання динаміки концентрацій аероіонів.

Виклад основного матеріалу

Зважаючи на дуже малу концентрацію аероіонів порівняно з концентрацією молекул повітря, для опису динаміки аероіонів можливе використання співвідношень, що описують слабоіонізовану плазму. У випадку наявності джерела (джерел) іонізації повітря відповідне рівняння неперервності у загальному випадку буде мати вигляд:

$$\frac{n(r, t)}{t} = g(r, t) + \frac{n(r, t) - n_0}{\tau} - \frac{1}{q} \operatorname{div} j - \left(\frac{n(r, t)}{x} \right) v(r, t),$$

де $n(r, t)$ - концентрація аероіонів у точці з радіус-вектором \mathbf{r} у момент часу t , $g(r, t)$ - кількість аеро-

іонів, що генеруються у точці об'єму з одиницю часу, n_0 – концентрація аероіонів у нормальних умовах, τ – час життя аероіонів, q – заряд аероіонів, j – густина струму за рахунок їх руху, v – швидкість повітряного потоку.

Найбільш поширеними джерелами аероіонів у сучасних умовах є обладнання масового використання – лазерні принтери, копіювальна техніка, системні блоки комп'ютерів, які або не створюють повітряні потоки, або впливають на рух повітря незначним чином. У цьому випадку електричним струмом за рахунок руху аероіонів можна нехтувати. За таких припущень рівняння неперервності має вигляд:

$$\frac{\partial n(r,t)}{\partial t} = g(r,t) + \frac{n(r,t) - n_0}{\tau} \text{ або}$$

$$\frac{\partial n(r,t)}{dt} = g_0 - \frac{n_0}{\tau} + \frac{n(r,t)}{\tau} \text{ (у скалярному вигляді).}$$

Враховуючи, що $g_0 - n_0/\tau = \text{const}$, маємо лінійне диференціальне рівняння першого порядку. Для його розв'язання доцільно використовувати формальну підстановку Бернуллі:

$$n(r,t) = u(t)v(t), \text{ тобто } \frac{dn}{dt} = u'v + uv'.$$

Розв'язком рівняння є функція:

$$n(r,t) = Ce^{t/\tau} - g_0\tau + n_0,$$

де C – стала, яка визначається у кожному конкретному випадку, наприклад, з початкової умови Коші $n(t)|_{t=0} = n_1$.

Як видно з розв'язку рівняння, концентрація аероіонів повинна збільшуватися, що і відбувається у безпосередній близькості до джерела іонізації та підтверджується експериментом [9]. Але з деякого моменту часу спостерігається зниження концентрації аероіонів, при чому аналітичні функції, що його описують, у кожному конкретному випадку дещо відрізняються.

Рівняння неперервності у наведеному вигляді не враховує явища рекомбінації аероіонів різних знаків – дуже важливого процесу, який найбільше впливає на концентрації аероіонів, особливо за умови відсутності генерації. При цьому для характеристики розповсюдження аероіонів доцільно використовувати такий показник, як їх коефіцієнт дифузії.

У загальному випадку $j = qDradn$, де \bar{j} – електрострум за рахунок руху аероіонів, q – заряд аероіонів.

У більшості випадків $q = e$ – заряду електронів. Враховуючи відносно низькі концентрації аероіонів у повітрі, для визначення D можливе використання фундаментального співвідношення кінетичної теорії ідеального газу:

$$D = \frac{1}{3} \lambda \bar{v},$$

де λ – довжина вільного пробігу аероіонів, \bar{v} – його середня швидкість. Проте для практичного викорис-

тання більш прийнятним є застосування однозначного зв'язку між коефіцієнтом дифузії D та рухомістю K (формула Ейнштейна):

$$D = kTK/q,$$

де k – стала Больцмана, T – температура, q – заряд аероіона.

Рухомості аероіонів визначають або з достатньо досліджених спектрів рухомостей [3], або, для попередньої оцінки, з визначення легких аероіонів, наданого у відповідних санітарних нормах [10].

Для спрощення розрахунків доцільно розглядати розповсюдження аероіонів уздовж одного з трьох ортогональних напрямків. У цьому випадку рівняння буде мати вигляд:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = g - D \left(\frac{\partial^2 n}{\partial x^2} \right) + \frac{n - n_0}{\tau} + \frac{\partial n}{\partial x} v.$$

При розв'язанні рівняння слід врахувати, що у більшості реальних випадків джерела іонів працюють з постійною (або близькою до неї) продуктивності, тобто $\frac{\partial n}{\partial t} = 0$. Таким чином, остаточно рівняння набуває вигляду:

$$D \frac{d^2 n}{dx^2} - \frac{dn}{dx} v = g + \frac{n - n_0}{\tau}.$$

При цьому за умови наявності примусової циркуляції повітря швидкість його спрямованого руху буде мати деяке фіксоване значення, а за відсутність циркуляції – дорівнюватиме нулю.

Таким чином, маємо лінійне неоднорodne диференціальне рівняння другого порядку:

$$D \frac{d^2 n}{dx^2} + \frac{1}{\tau} n - g + \frac{n_0}{\tau} = 0.$$

При використанні стандартних методів розв'язання такого рівняння, його розв'язок має вигляд:

$$n = C_1 e^{x/\sqrt{D\tau}} + C_2 e^{-x/\sqrt{D\tau}},$$

де C_1, C_2 – сталі інтегрування.

У кожному конкретному випадку сталі C_1, C_2 залежать від початкових умов, які визначаються за критерієм Коші:

$$n(x)|_{x=0} = g + n_0, \quad n(x)|_{x=e} = n_0.$$

Додатній показник ступеня у рівнянні, який свідчить про експоненціальне зростання концентрації аероіонів, має фізичний сенс. Таке зростання відбувається у випадках, коли продуктивність джерел іонізації повітря g перевищує розтікання іонів за рахунок дифузії D . В іншому випадку, у наведеному рівнянні привалює другий член рівняння. Порівняння результатів розрахунків з експериментальними даними [9] свідчить про задовільну їх кореляцію. Відмінності (до 7 - 8%) пояснюються деякою залежністю коефіцієнта дифузії від мікрокліматичних умов у приміщенні та залежністю ступеня рекомбінації іонів від їх концентрації, який визначається співвідношенням:

$$\Delta n = \gamma n_0^2,$$

де Δn – кількість зникаючих аероіонів, γ - коефіцієнт рекомбінації.

У більш складному випадку і такому, що досить наближений до реальних умов у виробничих приміщеннях, коли джерела іонізації функціонують неперервно

$$\frac{dn}{dt} = g - \gamma n^2,$$

де g – продуктивність джерела іонізації повітря. Розв'язуючи це диференціальне рівняння з граничною умовою $n=0$ при $t=0$ та вважаючи $\tau = \sqrt{1/(g\gamma)}$; $g - \gamma n^2 > 0$, маємо

$$n = \sqrt{\frac{g}{\gamma}} \operatorname{th}\left(\frac{t}{\tau}\right), \quad n = c_1 e^{\frac{x}{\sqrt{D}\tau}} + c_2 e^{-\frac{x}{\sqrt{D}\tau}} + n_0 - g\tau.$$

Графічне представлення рівняння – на рис. 1

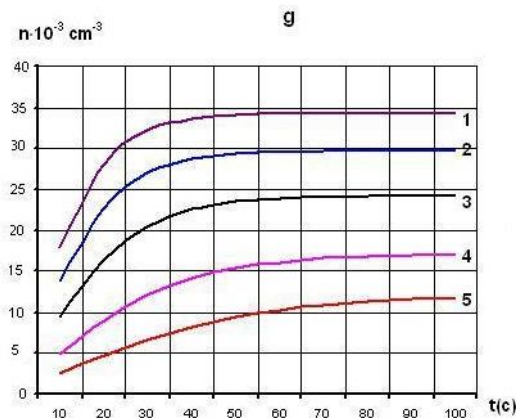


Рис. 1. Часові зміни концентрацій аероіонів за різних продуктивностей джерела аероіонів: 1-5 відповідають продуктивностям 2000, 1500, 1000, 500, 250 $\text{см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ відповідно.

Для отримання кількісних даних, необхідних для практичного використання, треба мати числові значення сталих, які входять у рівняння. З довідкової літератури відомо, що коефіцієнт рекомбінації іонів у повітрі за нормальних умов $\gamma \approx 1,67 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с}$, коефіцієнт дифузії $D \approx 0,1 \text{ см}^2/\text{с}$.

Потребують розрахункового визначення середньої час життя аероіонів та їх початкова концентрація. Останній параметр є найбільш критичним, бо від нього залежить час життя. Вихідні концентрації аероіонів у вільному повітрі для кожної місцевості відомі або можуть бути виміряні один раз (деякі коливання залежать від пори року та кліматичної обстановки). Проте у робочих приміщеннях концентрація аероіонів залежить від радіоактивного фону, що створюється радіоактивними елементами, які входять до складу будівельних та оздоблювальних матеріалів.

Але зазвичай емісійні властивості будматеріалів у конкретному приміщенні невідомі. Нами запропонований метод розрахункового визначення додаткової кількості пар іонів (до фонового) за рахунок ра-

діоактивного випромінювання. Рівень радіоактивності може бути вимірний будь-яким детектором як професійного, так і побутового призначення. Наприклад, якщо радіоактивний фон у приміщенні 40 мкР/год, то за умови $1P \approx 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$, у 1 м^3 повітря генерується іонізаційний заряд $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$. Таким чином 40 мкР/год відповідає $136 \cdot 10^{10} \text{ Кл/м}^3 \cdot \text{год}$. Вважаючи аероіони однозарядними отримуємо, що за зазначених умов у повітрі приміщення додатково генерується $25 \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ пар іонів.

Середній час життя аероіонів доцільно визначити, використовуючи фундаментальні співвідношення молекулярно-кінетичної теорії газів:

$$\tau = \bar{\lambda} / \bar{v},$$

де $\bar{\lambda}$ – середня довжина пробігу молекул, \bar{v} – їх середня швидкість.

Це впливає з того, що наведені параметри для молекул і їх іонів практично не відрізняються. Середня довжина вільного пробігу визначається зі співвідношення:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\pi \sigma n_0},$$

де σ – ефективний діаметр іонів.

Як видно з наведеного співвідношення, λ залежить від концентрації іонів n_0 , тому доцільно визначити час життя аероіонів для різних їх концентрацій – оптимальної, мінімально та максимально допустимих. При цьому враховувати, що для нормальних умов $\bar{v} \approx 5 \cdot 10^4 \text{ см/с}$, а $\sigma \approx 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ см}$.

Таким чином, для негативних аероіонів за їх оптимальної, максимально та мінімально допустимих концентрацій середній час життя складає:

$$\tau_{opt} \approx 1,2 \cdot 10^2 \text{ с},$$

$$\tau_{min} \approx 1 \cdot 10^3 \text{ с},$$

$$\tau_{max} \approx 1,2 \text{ с}.$$

Отримані числові значення дають вихідні дані для виконання розрахунків та моделювання поширення та зміни концентрації аероіонів.

Висновки

Аналіз існуючих підходів до розрахунків концентрацій аероіонів, власні теоретичні і натурні дослідження довели, що найменш трудомістким є визначення необхідних параметрів з графічного представлення з мінімальними кількостями апаратних вимірювань.

Визначення концентрацій аероіонів повинне спиратися на загальну або окремі моделі динаміки аероіонів, притаманну конкретному приміщенню або використовуюваного робочого обладнання з урахуванням природного радіоактивного фону у приміщенні.

Розповсюдження аероіонів техногенного походження за рахунок дифузійних процесів досить обмежене, тому для поширення аероіонів від джерела іонізації або в бік джерела деіонізації здійсню-

ється примусово. Потребує розроблення математич- ванням зниження швидкості повітряного потоку, на модель розповсюдження аероіонів внаслідок підвищення рекомбінації за великих концентрацій примусового руху повітря у приміщеннях, з ураху- аероіонів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурцев С. И. Современные подходы к ионизации и озонированию воздуха вентилируемых помещений / С.И. Бурцев, А. А. Варгузин, А. А. Дударев, Г. А. Спичкин // Инженерные системы. – 2006. – № 4. – С.46–49.
2. Запорожець О. І. Нормування аероіонного складу повітря робочих приміщень та основні напрями його вдосконалення / О. І. Запорожець, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник національного авіаційного університету. – 2011. – № 1. – С. 139–143.
3. Беляков В. В. Экспериментальные исследования спектрометра ионной подвижности с источником ионизации на основе коронного разряда / В. В. Беляков, А. А. Головин, В. С. Першенков // Датчики и системы. – 2009. – № 2. – С.12–13.
4. Запорожець О. І. Принципи моделювання динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях / О. І. Запорожець, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник Національного авіаційного університету. – 2011. – № 2 (47). – С. 120–124.
5. Глива В. А. Дослідження впливу мікрокліматичних параметрів повітрообміну на аероіонний склад повітря робочих приміщень / В. А. Глива // Проблеми охорони праці в Україні: збірник наукових праць. – 2011. – Вип. 20. – С. 58–65.
6. Сукач С. В. Оцінка та шляхи мінімізації ймовірного шкідливого впливу комплексів «аероіони–хімічні речовини» повітря замкнутих виробничих приміщень / С. В. Сукач, Т. Ф. Козловська, О. М. Кравець // Електромеханічні і енергозберігаючі системи : щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип. 3/2016 (35). – С. 82–88.
7. Бахрушин В.Е. Моделирование распределения концентрации ионов вблизи ионизатора / В. Е. Бахрушин, М. А. Игнашина, Д. В. Вертинский, А. Ю. Евсюкова // Складні системи і процеси. – 2002. – № 1. – С.30–35.
8. Цыганкова С. Г. Проблемно-ориентированный пакет программ для расчета аэроионного режима в помещениях / С. Г. Цыганкова // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – № 49. – С. 280 – 284.
9. Сукач С. В. Дослідження динаміки аероіонного складу повітря навчальних приміщень / С. В. Сукач, В. М. Гусев, Р. М. Левківський // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – Вип. 3(39). – С. 126–128.
10. Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень: ДНАОП 0.03-3.06-80 [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://dnaop.com/html/2296/doc-ГН_2152-80.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М. І. Адаменко,

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків

Received (Надійшла) 21.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.08.2018

Методы определения концентраций аэроионов в помещениях и моделирование их изменений

В. А. Глыва, Л. О. Левченко, О. Н. Тихенко

На основе анализа уравнения непрерывности потока воздуха при наличии источника его ионизации рассмотрены возможные закономерности распространения аэроионов в помещении. Предоставлено решение уравнения при наличии направленного движения воздуха. Показано, что процессы диффузии мало влияют на распространение аэроионов. Проведено моделирование распространения аэроионов при непрерывном функционировании источника ионизации воздуха при его различной производительности. Рассчитаны параметры для определения динамики аэроионов - средние длины свободного пробега и время жизни. Определено время жизни аэроионов при их различных концентрациях. Рассчитано среднюю генерацию аэроионов в зависимости от уровней естественной радиоактивности в помещении. Даны рекомендации по использованию результатов в практической деятельности.

Ключевые слова: ионизация воздуха, концентрация аэроионов, аэроионизация.

Methods of determination of aeronian concentrations in premises and their changes modeling

V. Glyva, L. Levchenko, O. Tykhenko

The process of aeroions propagation is analyzed, and the mathematical apparatus is presented with acceptable level of accuracy and easy to use. It is proved that this method is suitable for simulating the dynamics of aeroions concentration in premises. On the basis of the analysis of the equation of the airflow continuity in the presence of ionization source, possible patterns of the aeroions propagation of in the room are considered. The solution of the equation in the presence of directed air movement is given. It has been established that diffusion processes have little effect on the propagation of aeroions. The determination of aeroions concentrations should be based on the general or individual models of aeroion dynamics that are inherent to the particular room or working equipment used, taking into account the natural radioactive background in the room. The simulation of the propagation of aeroions with the continuous functioning of the air ionization source has been carried out for various levels of the ionizer productivity. The parameters for determining the air ion dynamics are calculated - mean free run and lifetimes. The lifetime of negative aeroions is determined for their different concentrations - optimal, maximum and minimum permissible. The resulting numerical values give the initial data to calculate the model of their propagation and change of their concentration. Also, the average generation of aeroions has been calculated, depending on the levels of natural radioactivity in the room. It is established that there is a need to develop a mathematical model for the aeroions propagation as a result of the forced movement of air in the premises, taking into account the reduction of the air flow rate, the increased recombination at high concentrations of aeroions. Recommendations on the use of results on practice are provided.

Keywords: ionization of air, concentration of aeroions, aeroionization.

О. А. Макогон, О. Г. Акіншин, В. М. Щокін, А. П. Пономаренко, О. О. Кумпан, Є. М. Шпінда
Військовий інститут танкових військ НТУ «ХПІ», Харків, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПЕРЕВІРКИ СТАТИЧНИХ ГІПОТЕЗ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБІВ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ЗРАЗКА ОБТ

Предметом вивчення в статті є процес запобігання вибуху паливноповітряних сумішей і боєкомплекту в заброньованому об'язі з допомогою протипожежного обладнання броне об'єктів. **Метою дослідження** є науково-технічне обґрунтування заходів щодо підвищення живучості бронеоб'єктів та екіпажу від впливом пожежі шляхом удосконалення методики визначення порогової температури спрацювання системи пожежогасіння. **Задачі:** проаналізувати статистичні дані щодо ефективності застосування засобів пожежогасіння при ураженні бронеоб'єкта бронебійним та кумулятивним снарядом; надати формалізацію задачі визначення оптимального моменту прийняття рішення про запобігання пожежі; обґрунтувати функціонал вимірювальної системи з регулюємим порогом спрацювання у системи протипожежного обладнання. Використовуваними є **методи** обробки статистичних даних за допомогою апарата перевірки статистичних гіпотез та континуального лінійного програмування. Отримані такі **результати**. Час охолодження броні до температури, нижче температури займання палива, можна вважати випадковою величиною, підкореною нормальному закону розподілу. Дана задача в математичній постановці формулюється як задача перевірки однієї статистичної гіпотези проти декількох альтернатив. За результатами математичного моделювання можна зробити висновок, що використання рандомізованого правила дозволяє приймати вірне рішення у 96% випадків при завданні рівня значущості 0,1. Запропонований підхід надасть змогу підвищити ефективність роботи системи ППО без зниження рівня надійності. Технічно це можливо досягнути шляхом організації вимірювальної системи з регулюємим порогом спрацювання у складі ППО об'єктів БТОТ. **Висновки.** Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному. Для визначення оптимального моменту прийняття рішення про запобігання пожежі - спрацювання термодатчиків, датчиків вібрації, системи вентиляції повітря та відкачування палива запропоновано застосувати відомий апарат теорії імовірності та перевірки статистичних гіпотез за даними спостережень бойових дій в районі проведення АТО. За критерієм Неймана-Пірсона визначаються помилки першого та другого роду при помилковому спрацюванні апаратури та пропуску пожежі відповідно, а також потужність критерію. Дана задача в математичній постановці сформульована як задача перевірки однієї статистичної гіпотези проти декількох альтернатив. В залежності від конкретних умов експлуатації зразка БТОТ можна розширити множину розв'язуваних задач: наприклад, використовуючи з байесовські критерії, що засновані на функції середнього ризику. Показано, що у якості інструмента для перевірки статистичних гіпотез доцільно використовувати континуальне лінійне програмування.

Ключові слова: система пожежогасіння на бронеоб'єкті, перевірка статистичних гіпотез, континуальне лінійне програмування.

Вступ

Постановка проблеми та завдання дослідження. Наявність ефективної системи пожежогасіння на бронеоб'єктах є однією з вимог щодо забезпечення комплексного захисту танків. За рахунок облаштування на бронеоб'єктах автоматичних пристроїв захисту від займання, раціонального розміщення баків з паливом, боєукладки, силової установки знижується займистість об'єкта. Це в кінцевому рахунку підвищує його живучість шляхом впливу на фактор відновлюваності через скорочення тривалості ремонту. При цьому скорочуються і економічні витрати на ремонт.

Забезпечення пожежевибухобезпеки машини є однією з важливих складових збереження живучості екіпажу і машини. Надійність системи пожежогасіння істотно впливає на час відновлення машини після її ураження. Не менш важливим є забезпечення пожежної безпеки в умовах експлуатації машини поза бойових дій. Особливо це актуально при експлуатації бойових машин в регіонах з жарким кліматом.

В даний час захист бронеоб'єктів від пожежі здійснюється автоматичними протипожежними засобами, що включені до комплексної системи захисту. Принцип їх дії полягає в ізолюванні вогнища пожежі від повітря, в якому є кисень, за рахунок припинення циркуляції повітря і витіснення його вогнегасною сумішшю (галогенуглеводородний

склад). З цієї метою глушать двигун, вимикають нагнітач і вентилятори, герметизують силове відділення і подають вогнеогнегасящі суміш до джерела вогню.

Специфічні вимоги до системи пожежогасіння бойової машини викликані тим, що не завжди є можливі здійснити евакуацію екіпажу з відділень машини. Це стосується підводного водіння танка, може бути викликано умовами бойових дій, пораненням екіпажу і т.п.

Існуючі системи пожежогасіння не повною мірою задовольняють сучасним вимогам збереження живучості екіпажу і машини. З досвіду недавніх бойових конфліктів відомо, що через наявність великої кількості засобів боротьби з танками ураження машини здійснюється багаторазово, а спрацювання системи пожежогасіння відбувалося із запізненням або було хибним.

Час зниження температури броні в області пробійної до значень, коли займання парів паливоповітряної суміші і матеріалів, безпосередньо розташованих поблизу пробійної, не відбувається, визначає необхідну тривалість ізоляції даної зони за допомогою засобів пожежогасіння від кисню з метою уникнення займання парів палива.

Вищевказане свідчить про необхідність подальшого розвитку теорії та прикладних аспектів пристрою системи пожежогасіння бронеоб'єктів. Метою роботи є науково-технічне обґрунтування захо-

дів щодо підвищення живучості броньованих об'єктів та екіпажу від впливом пожежі шляхом удосконалення методики визначення порогової температури спрацювання системи пожежогасіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З аналізу як вітчизняних так і закордонних засобів протипожежного захисту бойових машин встановлено, що роботи з удосконалення систем ППО тривають і в даний час. Дані роботи спрямовані на зменшення ймовірності спрацювання системи ППО від хибних сигналів, зменшення часу спрацювання системи та створення умов для виживання екіпажу.

Системи ППО вітчизняних броньованих машин, які стоять на озброєнні, за типом вогнегасної рідини і її витратам відповідають закордонним зразкам. Разом з тим, необхідно здійснити подальше удосконалення системи за рахунок підвищення ефективності роботи системи ППО без зниження рівня надійності [1-3].

На підставі аналізу типів поразок броньованих об'єктів в бойових діях встановлено, що у разі прямого попадання в танк кумулятивного снаряда ймовірність ураження екіпажу від кумулятивного струменя значно поступається ймовірності загибелі екіпажу в разі виникнення пожежі в бойовому відділенні, викликаного попаданням снаряда.

Виявлення вогнищ займання і боротьба з пожежею усередині машини ускладнюється великим числом різних факторів. У першу чергу це висока пожежонебезпека внаслідок наявності великої кількості горючих та вибухових матеріалів.

Своєчасно не виявлене і не погашене вогнище загоряння всередині танка, враховуючи таку кількість пожежонебезпечного і високоенергетичних матеріалу, з високою ймовірністю призведе до втрати бойової машини навіть без детонації боєкомплекту внаслідок її руйнування під впливом високої температури, а при певному поєднанні несприятливих факторів і до загибелі екіпажу. І все ж покладати на екіпаж обов'язок контролювати внутрішні відділення танка на предмет загоряння і забезпечувати гасіння пожежі, незважаючи на всю важливість цього

завдання, не представляється можливим. Причиною тому - висока компактність розміщення вузлів і агрегатів в заброньованому просторі.

Таким чином, оцінка пожежної стійкості сучасного танка, а також специфіка конструкції і умов роботи членів екіпажу свідчать про необхідність використання на машині високоефективної в плані виявлення і боротьби з вогнем системи пожежогасіння.

Метою статті є науково-технічне обґрунтування заходів щодо підвищення живучості броньованих та екіпажу від впливом пожежі шляхом удосконалення методики визначення порогової температури спрацювання системи пожежогасіння.

Виклад основного матеріалу

Пробоїна як джерело пожежі. В області зіткнення снаряда з бронєю утворюється високотемпературна зона. Як результат, потрібна оцінка часу зниження температури броні в області пробоїни до значень, коли займання парів паливоповітряної суміші і матеріалів, безпосередньо розташованих поблизу пробоїни, не відбувається. Цей час визначає необхідну тривалість ізоляції даної зони за допомогою засобів пожежогасіння від окислювача - кисню з метою уникнення займання парів палива.

Склад танкової броні відрізняється на різних ділянках об'єкта, у багатьох місцях є неоднорідним, складним за просторовою структурою. Існує величезне різноманіття умов зіткнення снаряда з бронєю, викликане відмінністю типу снаряда, швидкістю і кутом зіткнення снаряда з бронєю, товщиною броні в області зіткнення, тощо. Ударне стиснення броні призводить не тільки до зростання тиску в області стиснення, але і її нагрівання. [4,5]

Тому доцільно провести оцінку часу охолодження бронеплит різної товщини в умовах миттєвого локального виділення тепла в області зіткнення снаряда з бронєю. Статистичну вибірку, що підлягає дослідженню, можна вважати обмежено репрезентативною, але достатньою для статистичної обробки.

Отримані дані не мають «проколів». Результати статистичної вибірки наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Статистичні дані спрацювання термодатчиків (оптичних датчиків) системи ППО броньованого об'єкта при ураженні броньованим снарядом

Місце ураження броньованого об'єкта	Спрацювання системи ППО	Час до спрацювання системи ППО, с	Частота хибних спрацювань на 10 випадків	Частота відмов на 10 випадків
Ураження корпусу	Передня група паливних баків	170 (20)	4 (4)	4 (4)
	Задня група паливних баків	180 (180)	4 (4)	4 (3)
	Пошкодження АБ	40 (20)	2 (3)	3 (3)
	Пошкодження масляного баку	60 (25)	5 (6)	3 (2)

Аналіз зібраних даних дозволяє вважати, що для випадку пробою лише через 2 хвилини температура броні в області пробоїни знизиться нижче температури самозаймання дизельної суміші в повітрі, яка складає $T_{CB} \approx 495K$ (рис. 1, 2). Як бачимо, час охолодження броні в області пробоїни є випадковою величиною, що підкорена нормальному закону розподілу. Будемо вважати, що швидкість, діаметр і масою

броньованого снаряда, товщиною броні, часткою енергії снаряда, затрачуваної на нагрівання броньованого листа, зумовлюють випадковий характер необхідно мінімального часу ізоляції пробоїни від парів палива з метою уникнення займання суміші. лежить в діапазоні 0,5 ... 2,5 хвилин. Середні значення часу зниження температури броні в області пробоїни до температури самозаймання палива наведені у табл. 2.

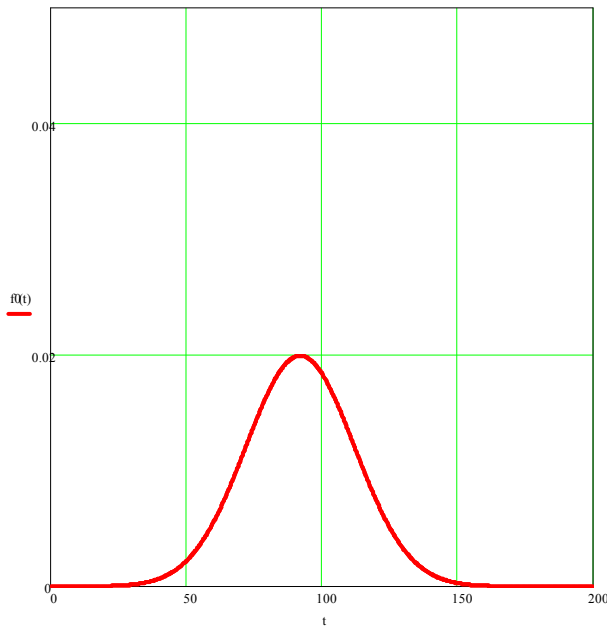


Рис. 1. Розподіл часу охолодження броні в області пробиття бронебійним підкаліберним снарядом радіусом до 0,015 м

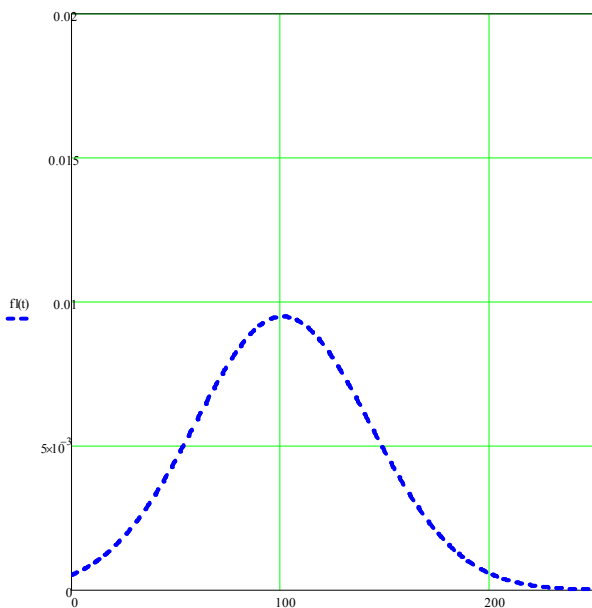


Рис. 2. Розподіл часу охолодження броні в області пробиття бронебійним підкаліберним снарядом радіусом до 0,1 м

Таблиця 2 – Час зниження температури броні в області пробійної до температури самозаймання палива при різних умовах пробією бронебійним снарядом

№ п/п	Час $t_{св}, c$	Умови			
		Ма-са, кг	Швид-кість, м/с	Діа-метр, м	Товщина броні, м
1	130	6	1400	0,03	0,3
2	75	6	1200	0,03	0,3
3	150	6	1200	0,03	0,2
4	30	4	1500	0,04	0,2
5	140	4	1500	0,04	0,1

У цих же умовах, час зниження температури броні в області пробійної до порога температури спалаху дизельного палива ($T_{en} \approx 330K$) перевершує 5 хвилин.

Таким чином, якщо протягом не більше 5 хвилин в область пробійної потраплять пари дизельного палива в межах концентрації займання, то це може призвести до їх спалаху. Протягом перших двох хвилин ймовірність займання наближається до ста відсотків.

Використання методів статистичних рішень для удосконалення системи пожежогасінні зразка бронетанкового озброєння. Для визначення оптимального моменту прийняття рішення про запобігання пожежі - спрацювання термодатчиків, датчиків вібрації, системи вентиляції повітря та відкачування палива пропонуємо застосувати відомий апарат теорії імовірності та перевірки статистичних гіпотез [6]. Будемо вважати температуру в місці пробиття броні випадковою величиною, підкореною нормальному закону розподілу. Це припущення дозволить робити розрахунки за даними існуючої статистичної вибірки. За класичною теорією перевірки статистичних гіпотез приймаємо:

H_0 – гіпотеза, яка полягає в тому, що температура в області пробійної нижче температури самозапалення палива. Цю гіпотезу будемо перевіряти проти двох альтернатив (рис. 3).

H_1 – гіпотеза, яка полягає в тому, що мало місце ураження броні бронебійним підкаліберним снарядом з відповідним підвищенням температура броні в області пробійної.

H_2 – гіпотеза, яка полягає в тому, що мало місце ураження броні кумулятивним снарядом, теж з певним підвищенням температура броні в області пробійної. Априорні імовірності реалізації відповідних гіпотез $P(H_i), i=0,1,2$ будемо вважати відомими.

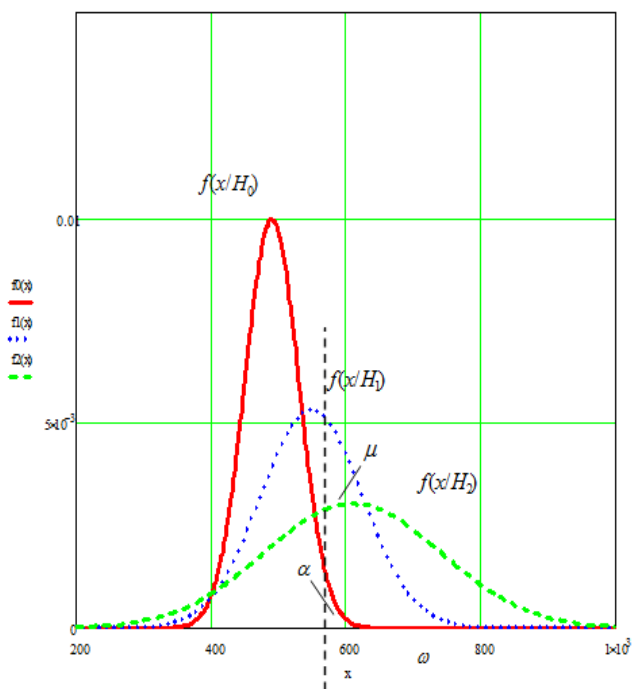


Рис. 4. Задача перевірки статистичних гіпотез

Завдання полягає у побудові статистичного критерію, який дозволяє на основі спостережень прийняти рішення про прийняття тієї чи іншої гіпотези. Такий критерій будемо будувати у вигляді критичної області, при попаданні в яку параметра, що спостерігається, приймається чи відхиляється гіпотеза H_0 .

Температура у заброньованому просторі $x \in \Omega$ є випадковою величиною зі щільністю розподілу $f(x/H_0)$, якщо вірна гіпотеза H_0 і, відповідно $f(x/H_1)$ та $f(x/H_2)$, коли вірні альтернативні гіпотези H_1 та H_2 відповідно. Введемо критичну область $\omega \in \Omega$, при попаданні в яку параметра x , гіпотеза H_0 відхиляється. Ймовірність помилки першого роду ("хибна тривога") буде визначатися виразом

$$\alpha = \int_{\omega} f(x/H_1) dx \tag{1}$$

Відповідно, ймовірність помилки другого роду ("пропуск пожежі") має вигляд:

$$\beta = 1 - \int_{\omega} f(x/H_i) dx, \quad i = 1, 2. \tag{2}$$

Зрозуміло, що розширення області ω призведе до збільшення α , але зменшення β . З іншого боку, звуження критичної області призводить до протилежних результатів. Природно поставити завдання визначення критичної області, найкращої в якомусь певному сенсі.

Дуже часто задача перевірки гіпотези H_0 проти альтернатив H_1, H_2 зводиться до відшукування критичної області ω , для якої потужність критерію максимальна

$$\mu = 1 - \beta = 1 - \int_{\omega} f(x/H_i) dx \Rightarrow \max \tag{3}$$

при заданій величині $\alpha = \alpha_0$.

Такий критерій називають критерієм Неймана-Пірсона. (детерміноване вирішальне правило).

Наприклад, при визначенні порогової температури за $T=470$ K, ймовірність "хибної тривоги" становитиме 0,2, а потужність критерію – 0,86

Застосування не детермінованого підходу.

Далі, в залежності від конкретних умов експлуатації зразка БТОТ можна використовувати розширити множину розв'язуваних задач. Наприклад, використовуючи з байесовські критерії, що засновані на функції середнього ризику.

Введемо рандомізоване вирішальне правило $0 \leq B(x) \leq 1$, що має сенс імовірності відхилення гіпотези H_0 , при спостереженні величини x .

Тоді безумовна імовірність помилки першого роду:

$$\alpha(B) = P(H_0) \int_{\omega \in \Omega} f(x/H_0) \cdot B(x) dx; \tag{3}$$

$$0 \leq B(x) \leq 1.$$

Потужність критерію

$$\mu(B) = \int_{\Omega} \sum_{i=1}^2 P(H_i) f(x/H_i) \cdot B(x) dx = \tag{4}$$

$$= \sum_{i=1}^2 P(H_i) (1 - \beta_i).$$

Задамо тепер набір $r_i, i=0,1,2$, чисел, що характеризують втрати (ризик), зв'язані з виникненням відповідних помилок. Тоді функція середнього ризику визначається таким виразом:

$$R(B) = r_0 P(H_0) \int_{\Omega} f(x/H_0) \cdot B(x) dx + \tag{5}$$

$$+ \sum_{i=1}^2 P(H_i) \int_{\Omega} f(x/H_i) \cdot (1 - B(x)) dx =$$

$$= \sum_{i=1}^2 r_i P(H_i) + \int_{\Omega} r(x) B(x) dx$$

де $r(x) = r_0 P(H_0) f(x/H_0) + \sum_{i=1}^2 r_i P(H_i) (1 - \beta_i)$

за умови $0 \leq B(x) \leq 1, x \in \Omega$.

Наведені співвідношення дають змогу сформулювати, наприклад задачу:

- прийняття рішення за критерієм максимальної потужності при фіксованій безумовній ймовірності помилки першого роду;
- прийняття рішення за критерієм максимальної потужності при обмеженому середньому ризику;
- прийняття рішення за критерієм мінімуму середнього ризику за умови

$$0 \leq B(x) \leq 1, \quad x \in \Omega, \tag{6}$$

Для визначення порогової температури спрацювання протипожежного обладнання за умови ураження бронебійним або кумулятивним снарядом задачу перевірки однієї гіпотези проти двох альтернатив пропонується формулювати у такий спосіб:

Знайти набір функцій $R^* = \{R_i^*(x)\}$, таких що мінімізують функціонал

$$G(R) = \sum_{i=1}^2 \int_{X_{\Pi}}^{X_K} \sum_{j=1}^2 g_{ij} f_i(x/H_j) R_i dx = \tag{7}$$

$$= \sum_{i=1}^2 \int_{X_{\Pi}}^{X_K} c_i R_i(x) dx$$

та задовольняють обмеженням

$$\sum_{i=1}^2 R_i = 1, \quad x \in [X_H, X_K], \quad R_i(x) \geq 0. \tag{8}$$

Позначимо $c_i = \sum_{j=1}^2 g_{ij} f_i(x/H_j), \quad i = 1, 2, \{g_{ij}\}$,

$i = 1, 2, j = 1, 2$ – набір чисел, що характеризує збитки при виникненні помилки (i, j) -го типу другого роду. При цьому шляхом дискретизації дана задача трансформується до задачі розподільного лінійного програмування:

Знайти набір змінних $R = [r_{ij}]$, що мінімізує функцію

$$L(R) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 c_{ij} r_{ij}$$

та задовольняє умовам:

$$\sum_{i=1}^2 \lambda_{ij} \leq b_j, \sum_{j=1}^2 r_{ij} \leq a_i, r_{ij} \geq 0, i = 1, 2, j = 1, 2, \quad (9)$$

і може бути розв’язана відомими методами, реалізованими за допомогою сучасних програм.

Таблиця 3 – Порогове значення температури спрацювання термодатчиків

Ймовірність “хибної тривоги”	Потужність критерію	Місце встановлення датчика	Порогове значення спрацювання T, К
0,29	0,9	на правому передньому паливному баку	480
0,6	0,79	на правому борті поряд із стележем балонів ППО	520
0,2	0,86	на лівому і правому бортах під конвєсром МЗ,	470
0,43	0,85	на правому борті поряд з підігрівачем,	500
0,3	0,91	на днищі поряд задніх паливних баків під конвєсром МЗ	482
0,29	0,9	на лівому задньому паливному баку,	480
0,6	0,7	на стележі акумуляторних батарей,	520
0,2	0,6	поряд з водовікачувальним насосом на лівому борту,	560
0,43	0,85	на масляному баку поряд правого борту	500
0,6	0,75	поряд з лівою КП,	530
0,18	0,605	на кронштейні кріплення повітроочисника	560

Як бачимо, для підвищення ефективності роботи системи протипожежного обладнання танка необхідна організація вимірювальної системи з регульованим порогом спрацювання у складі ППО.

Принципово це можливо введенням цифрового вимірювального елемента (контролера), який буде аналізувати вхідну інформацію від термодатчиків.

Для перетворення аналогового сигналу у цифровий пропонується введення до функціональної схеми системи ППО аналогово-цифрового перетворювача (АЦП).

У випадку встановлення оптичних датчиків у силовому відділенні танка об’єднання інформації від двох типів датчиків можливо через логічний елемент “АБО” (рис. 4).

Висновки

1. В області зіткнення снаряда з бронею утворюється високотемпературна зона. Як результат, вимагає оцінки час зниження температури броні в області пробіони до значень, коли займання парів паливоповітряної суміші і матеріалів, безпосередньо розташованих поблизу пробіони, не відбувається.

Нехай $R^* = [r_{ij}^*]$, оптимальний розв’язок задачі. Тоді, якщо значення температури x належить до j -го інтервалу, гіпотези $H_i, i = 1, 2$ ухвалені з імовірністю r_{ij}^* відповідно. Додамо, що в теорії континуального лінійного програмування оптимальне розв’язання задачі характеризується тим, що при фіксованому значенні j лише одна із змінних r_{ij}^* дорівнює одиниці (решта дорівнює нулю) [7-9].

Вимірювальна система з регульованим порогом спрацювання у системи ППО. На основі раніше розглянутих даних можна вважати доцільним встановлення порогу спрацювання термодатчиків, встановлених в різні місця танку. Розрахункові порогові значення температури спрацювання термодатчиків в залежності від значень ймовірності “хибної тривоги” та потужності критерію розраховані у табл. 3.

Даний час визначає необхідність застосування засобів пожежогасіння задля ізоляції даної зони за допомогою окислювача - кисню з метою уникнення займання парів палива.

2. Склад танкової броні відрізняється на різних ділянках об’єкта, у багатьох місцях є неоднорідним, складним по просторовій структурі. Відповідно, існує величезне різноманіття умов зіткнення снаряда з бронею, викликане відмінністю типу снаряда, швидкістю і кутом зіткнення снаряда з бронею, товщиною броні в області зіткнення і т.д.

Було проведено оцінку характерного часу охолодження бронеплит різної товщини в умовах миттєвого локального виділення тепла в області зіткнення снаряда з бронею. Отримано, що необхідний мінімальний час ізоляції пробіони від парів палива з метою уникнення займання суміші лежить в діапазоні 0,5 ... 2,5 хвилин.

Результати розрахунку для кумулятивної пробіони показують, що час зниження температури броні в області пробіони до температури самозаймання парів дизельного палива складає близько 30 с, а час до температури займання досягає 1 хвилини.

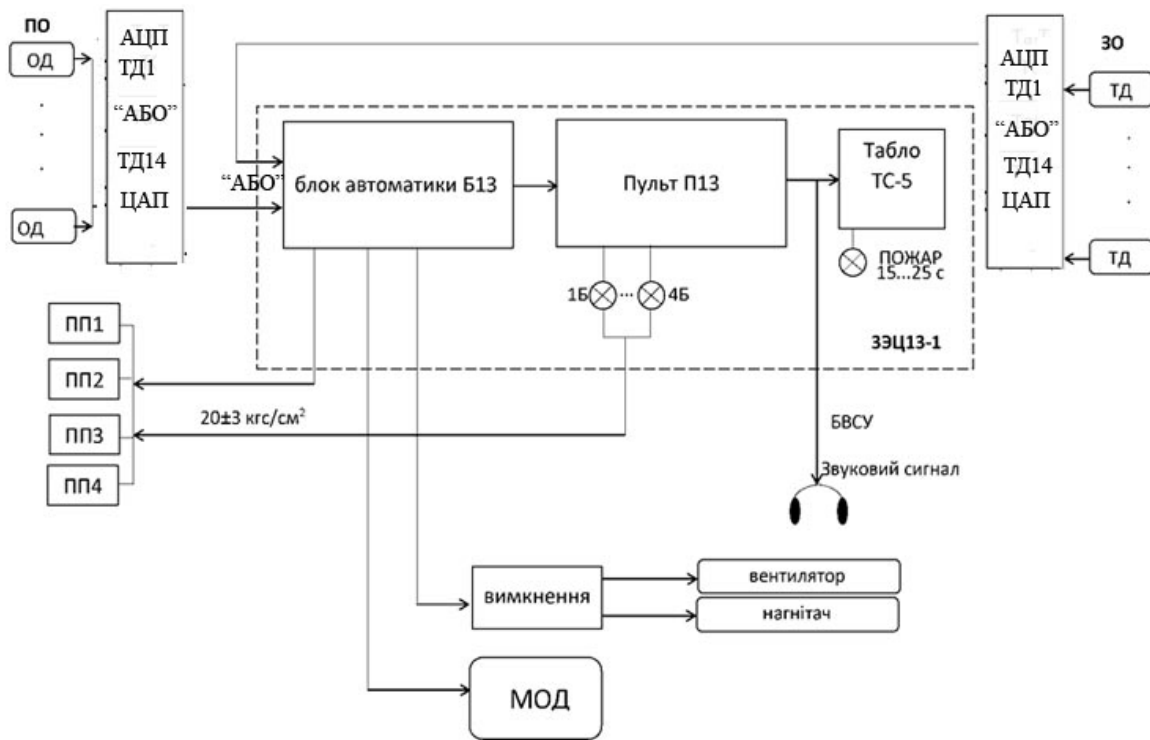


Рис. 4. Об'єднання інформації від двох типів датчиків у функціоналі системи ППО броньованого об'єкта

3. Час охолодження броні до температури, нижче температури займання палива, можна вважати випадковою величиною. Для визначення оптимального моменту прийняття рішення про запобігання пожежі - спрацювання термодатчиків, датчиків вібрації, системи вентиляції повітря та відкачування палива пропонуємо скористатися відомим апаратом теорії імовірності та перевірки статистичних гіпотез за даними спостережень бойових дій в районі проведення АТО. Дана задача в математичній постановці формулюється як задача перевірки однієї статистичної гіпотези проти однієї альтернати. За критерієм Неймана-Пірсона визначаються помилки першого та другого роду при помилковому спрацюванні апаратури та пропуску пожежі відповідно, а також потужність критерія.

4. У якості інструмента для перевірки статистичних гіпотез доцільно використовувати континуа-

льне лінійне програмування. У роботі надається математичне формулювання задачі та розглядається метод її розв'язання. При цьому шляхом дискретизації задача трансформується до задачі лінійного програмування, і може бути розв'язана відомими методами, реалізованими за допомогою обчислювальної техніки.

5. За результатами математичного моделювання можна зробити висновок, що використання рандомізованого правила дозволяє приймати вірне рішення у 96% випадків при завданні рівня значущості 0,1.

6. Запропонований підхід надасть змогу підвищити ефективність роботи системи ППО без зниження рівня надійності. Технічно це можливо досягнути шляхом організації вимірювальної системи з регульованим порогом спрацювання у складі ППО об'єктів БТОТ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стаховський О.В., канд. техн. наук; Назаренко А.А., Коритченко К.В., канд. техн. наук; Сиротенко А.М., канд. техн. наук; Кістерний Ю.І. канд. техн. наук; Напрямки удосконалення систем пожежогасіння броньованих об'єктів // Механіка та машинобудування, 2010, № 2. – с. 200-206.
2. А.А. Назаренко, О.В. Стаховський, К.В. Корытченко, С.П. Данилевський. Оценка взрывопожорной опасности паров топлива во внутреннем объеме броньованного объекта // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, 2012, випуск 2(31). – с. 138-143.
3. Ребриков В.Д., Сухаревский Л.Н., Ширман Б.А. Пути развития и направления совершенствования систем противопожарного оборудования. Аналитический обзор – М.: Миноборонпром, 1988. – 22с.
4. Борисюк М.Д. Система пожежогасіння танків та БМП, Харків: ХПІ, Механіка та машинобудування, 1997. – №2. – с. 153-161.
5. Борисюк М.Д., Харланова В.П., Беккер Б.Ю. Системи протипожежного обладнання бронетанкової техніки. Аналітичний обзор № 2062 – М.: Миноборонпром, 1979, – 68с.
6. Венцель Е.С. Теория вероятности. – М.: Наука, 1964. – 576с.
7. Раскин Л.Г., Кириченко И.О. Математические основы исследования операций и анали за сложных систем вооружения ПВО.-Х.: ВИРТА, 1987. -201с.
8. Кириченко И. О., Макогон Е. А. Задача проверки статистических гипотез как задача линейного программирования // Киев: НАОУ, Труды академії. 1999. – Вип. 13.- с.78-82.

9. Макогон О. А. Обчислювальний метод розв'язання задач перевірки однієї статистичної гіпотези проти декількох альтернатив. // *Радиоелектроника и информатика*. – Х.: ХНУРЕ – 2004., № 1. – С.63-65.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М. І. Адаменко,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків
Received (Надійшла) 04.06.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 08.08.2018

Применение методов проверки статистических гипотез для повышения эффективности средств пожаротушения образца ОВТ

Е. А. Макогон, А. Г. Акиншин, В. М. Щекин, А. П. Пономаренко, А. А. Кумпан, Е. М. Шпинда

Предметом изучения в статье является процесс предотвращения взрыва топливовоздушных смесей и боекомплекта в бронированном объеме с помощью противопожарного оборудования бронееквивалентов. **Целью** является научно-техническое обоснование мероприятий по повышению живучести бронееквивалентов и экипажа от воздействия пожара путем усовершенствования методики определения пороговой температуры срабатывания системы пожаротушения. **Задачи:** проанализировать статистические данные по эффективности применения средств пожаротушения при поражении бронееквивалента бронейной и кумулятивной снарядами; предоставить формализованную формулировку задачи определения оптимального момента принятия решения о предотвращении пожара; обосновать функционал измерительной системы с регулируемым порогом срабатывания в системе противопожарного оборудования. Используемыми являются **методы** обработки статистических данных с помощью аппарата проверки статистических гипотез и континуального линейного программирования. Получены следующие **результаты**. Время охлаждения брони до температуры, ниже температуры воспламенения топлива, можно считать случайной величиной, в подчинении нормальному закону распределения. Данная задача в математической постановке формулируется как задача проверки одной статистической гипотезы против нескольких альтернатив. По результатам математического моделирования можно сделать вывод, что использование рандомизированного правила позволяет принимать верное решение в 96% случаев при задании уровня значимости 0,1. Предложенный подход позволит повысить эффективность работы системы ППО без снижения уровня надежности. Технически это возможно достичь путем организации измерительной системы с регулируемым порогом срабатывания в составе ППО объектов БТОТ. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем. Для определения оптимального момента принятия решения о предотвращении пожара - срабатывания термодатчиков, датчиков вибрации, системы вентилирования воздуха и откачки топлива предложено использовать известный аппарат теории вероятности и проверки статистических гипотез по данным наблюдений боевых действий в районе проведения АТО. Согласно критерия Неймана-Пирсона определяются ошибки первого и второго рода при ложном срабатывании аппаратуры и пропуска пожара соответственно, а также мощность критерия. Данная задача в математической постановке сформулирована как задача проверки одной статистической гипотезы против нескольких альтернатив. В зависимости от конкретных условий эксплуатации образца БТОТ можно расширить множество решаемых задач: например, используя байесовские критерии, основанные на функции среднего риска. Показано, что в качестве инструмента проверки статистических гипотез целесообразно использовать континуальное линейное программирование.

Ключевые слова: система пожаротушения на бронееквиваленте, проверка статистических гипотез, континуальное линейное программирование.

Application the methods of static hypothesis checking for improving of armored fire-protection system

H. Makogon, O. Akinshin, V. Shchokin, A. Kumpan, A. Ponomarenko, Ye. Shpinda

The **subject matter** of the article is the process of preventing the explosion of fuel-air mixtures and ammunition in the booked volume with the help of armored fire-protection system. The **goal** is a scientific and technical justification of activities to increasing the armored survivability and crew by improving the methodology of finding the threshold temperature of armored fire-protection system operation. The **tasks** to be solved are: to analyze statistical data on the effectiveness of the use of fire extinguishing equipment in case of damage to the armor-piercing object by armor-piercing and cumulative projectile; with the help of the apparatus of checking statistical hypotheses to formulate the task of finding the optimal moment of the decision to prevent the fire; to substantiate the functional of the measuring system with the adjustable threshold of fire in the system of fire equipment. The **methods** of statistical data processing with the help of statistical hypothesis testing and continuum linear programming are used. The following **results** are obtained. The cooling time of the armor to a temperature below the fuel ignition temperature can be considered as a random value subordinate to the normal distribution law. This problem in the mathematical formulation is formulated as the task of verifying one statistical hypothesis against several alternatives. According to the results of mathematical modeling, we can conclude that the use of randomized rules allows us to make the correct decision in 96% of cases when the level of significance is 0.1. The proposed approach will enable to improve the efficiency of armored fire-protection system without reducing the level of reliability. Technically, this can be achieved through the organization of a measuring system with a regulated trigger threshold in the armored fire-protection system. **Conclusions.** The scientific novelty of the results obtained is as follows: To find the optimal moment of making a decision on fire prevention, namely the operation of thermal sensors, vibration sensors, air ventilation and fuel pumping system, it is proposed to use the well-known apparatus of the theory of probability and testing of statistical hypotheses according to the observations of combat operations. According to the Neumann-Pearson criterion, the errors of the first and the second kind are determined in case of false operation of the equipment and the passage of the fire respectively, as well as the power of the criterion. This problem in mathematical formulation is formulated as a task of checking one statistic hypothesis against several alternatives. Depending on the specific operating conditions of the armored object, one can extend the range of tasks to be solved: for example, using Bayesian criteria based on the medium-risk function. It is shown that as a tool for checking statistical hypotheses it is expedient to use continuum linear programming.

Keywords: armored fire-protection system, check of statistical hypotheses, continual linear programming.

В. В. Тютюнник, В. Д. Калугін, О. О. Писклакова

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ОСНОВОПОЛОЖНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ У ЄДИНІЙ ДЕРЖАВНІЙ СИСТЕМІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ Й ЛОКАЛІЗАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Предметом вивчення в статті є процеси: збору, обробки та аналізу інформації; моделювання розвитку обстановки на об'єкті управління та розвитку надзвичайної ситуації (НС) на території міста, регіону, держави; розробки та ухвалення управлінських рішень в умовах багатокритеріальності та невизначеності при попередженні та ліквідації НС, а також мінімізації їх наслідків для вирішення прикладних завдань Єдиної державної системи цивільного захисту (ЄДСЦЗ). **Метою** є розвиток науково-технічних основ створення інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС Єдиної державної системи цивільного захисту. **Завдання:** технічна реалізація у ЄДСЦЗ інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС шляхом комплексного включення в дію ЄДСЦЗ по вертикалі від об'єктового до державного рівнів різних функціональних елементів територіальної системи моніторингу НС та складових системи ситуаційних центрів. Використовуваними **методами** є: методи системного, функціонального та випуклого аналізу; методи розробки автоматизованих систем; методи прийняття рішень в умовах багатокритеріальності та невизначеності. **Отримані результати.** Викладені основні принципи створення інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС у ЄДСЦЗ. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: визначено, що однією з основних функцій системи ситуаційних центрів на всіх рівнях управління ЄДСЦЗ є розробка ефективних антикризових рішень, яка ускладнюється необхідністю урахування їх своєчасності, повноти й оптимальності. Для підвищення ефективності прийняття рішень обґрунтовано необхідність розробки формальних, нормативних методів і моделей комплексного рішення проблеми в умовах багатокритеріальності й невизначеності при управлінні процесами попередження й локалізації наслідків НС.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, Єдина державна система цивільного захисту, інформаційно-аналітична система управління процесами попередження й локалізації наслідків надзвичайних ситуацій, система моніторингу надзвичайних ситуацій, система ситуаційних центрів, прийняття рішень в умовах багатокритеріальності й невизначеності.

Вступ

Постановка проблеми. Територія України, як система з територіально-часовим розподілом параметрів життєдіяльності – рис. 1, у процесі свого функціонування та розвитку створює передумови для виникнення небезпек, які негативно впливають на стан природно-екологічного, економіко-технічного та соціально-політичного балансу на її території.

У відповідності до рис. 1, джерело інтегральної безпеки в точці $A(x, y, z)$ території нелінійно об'єднує джерела природної безпеки [1-6]: 1' – процеси у атмосфері; 2' – процеси у біосфері; 3' – процеси у літосфері; 4' – процеси у гідросфері; джерела техногенної безпеки [4]: 1'' – аварії на промислових об'єктах і транспорті; 2'' – вибухи; 3'' – пожежі; 4'' – вивільнення інших видів енергії; джерела соціальної безпеки [7]: 1''' – психологічні особливості особи й особливості виховання; 2''' – несприятливе положення особи; 3''' – соціальна несправедливість; 4''' – напруженість у міжгрупових, міжконфесійних і міжнаціональних стосунках; 5''' – негативні соціальні процеси, що призводять до руйнування етичних засад, соціальної стійкості особи та законослухняності; джерела воєнної безпеки [7]: 1'''' – наявність гострих суперечностей, розв'язання яких є можливим лише із застосуванням воєнної сили; 2'''' – наявність у однієї із сторін достатньої кількості військових сил і засобів для розв'язання су-

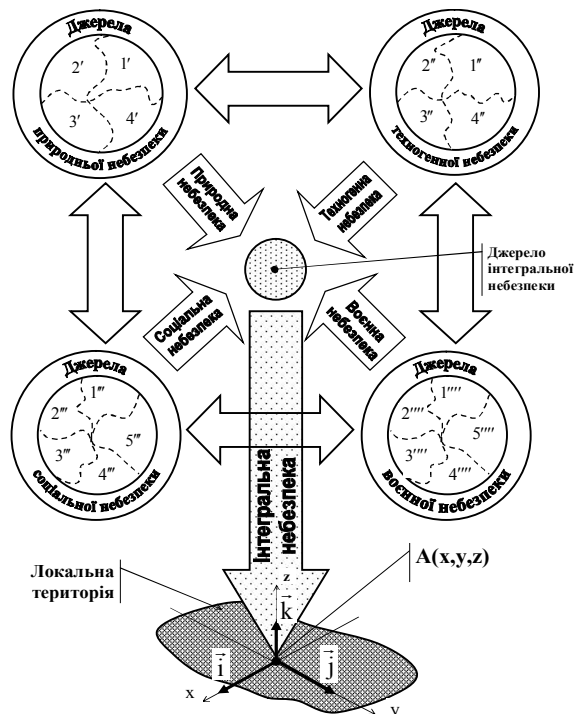


Рис. 1. Модельне представлення процесів зародження на локальній території джерел надзвичайних ситуацій різного походження та результат апроксимації території НС

перечності на свою користь або здатність держави створити такі сили в перспективі; 3'''' – наявність у

лідерів або урядів політичної волі та рішучості піти на застосування сили, здатності використовувати збройні сили для вирішення можливого конфлікту; 4^{'''} – наявність надійних союзників серед держав, їх коаліцій або інших суб'єктів військово-політичних відносин; 5^{'''} – сприятливі геополітичні умови та реальна (або прогнозована) військово-політична обстановка для здійснення військових акцій.

В Україні для забезпечення реалізації державної політики у сфері цивільного захисту функціонує ЄДСЦЗ, функціональну схему якої приведено на рис. 2. Система складається з функціональних і територіальних підсистем та спрямована на

розв'язання питань забезпечення необхідного рівня безпеки життєдіяльності території держави лише в умовах, коли виникла НС. При цьому, цілковито відкритими для держави залишаються проблемні питання реалізації в системі ЄДСЦЗ функції моніторингу та розробки ефективних управлінських рішень, спрямованих на попередження та локалізацію НС, в умовах зародження джерел небезпек різної природи.

Це вказує на необхідність термінового розв'язання питань включення до складу ЄДСЦЗ інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС.

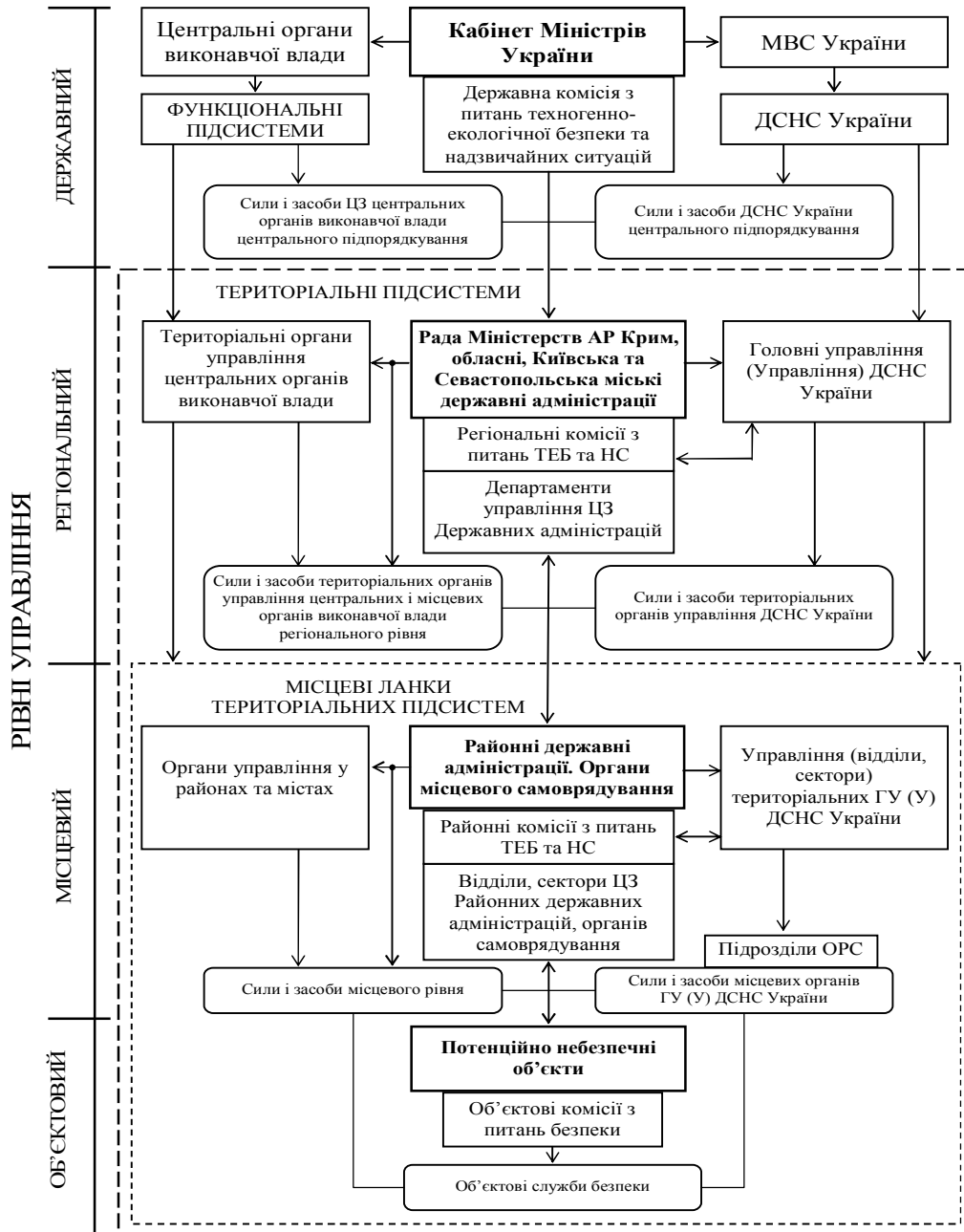


Рис. 2. Функціональна схема діючої в Україні Єдиної державної системи цивільного захисту

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно стратегії реформування Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України)

[8], серед актуальних напрямків удосконалення функціонування ЄДСЦЗ необхідно визначити низку проблемних питань науково-інформаційно-

технологічного характеру, які стосуються оптимального управління процесами попередження, локалізації та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, а саме:

1. Удосконалення механізму взаємодії ДСНС України з іншими структурами усіх рівнів забезпечення національної безпеки шляхом подальшого розвитку державного центру управління в надзвичайних ситуаціях ДСНС України, утворення відповідних регіональних центрів та налагодження їх взаємодії з Головним ситуаційним центром та іншими ситуаційними центрами складових сектору безпеки і оборони.

2. Запровадження системи управління усіма видами техногенної безпеки (з вивільненням різних видів енергії) на основі ризико-орієнтованого підходу і європейських стандартів щодо оцінювання і аналізу ризиків цих видів техногенної безпеки суб'єктів господарювання.

3. Створення та забезпечення функціонування автоматизованої системи управління телекомунікаційними мережами, центру обробки даних, комплексної підсистеми інформаційної підтримки прийнят-

тя рішень та їх виконання з питань НС, у тому числі комплексної системи захисту інформації.

Постановка задачі та її розв'язання

Метою цієї роботи є розвиток науково-технічних основ створення інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС Єдиної державної системи цивільного захисту шляхом технічної реалізації, згідно стратегії реформування ДСНС України, системи ситуаційних центрів.

Основу цивільного захисту держави повинен становити класичний контур управління (рис. 3), який забезпечить:

- 1) збір, обробку та аналіз інформації;
- 2) моделювання розвитку обстановки на об'єкті управління та розвитку НС на території міста, регіону, держави;
- 3) розробку та ухвалення управлінських рішень щодо попередження та ліквідації НС, а також мінімізації їх наслідків;
- 4) виконання рішень щодо попередження та ліквідації НС, а також мінімізації їх наслідків [4].

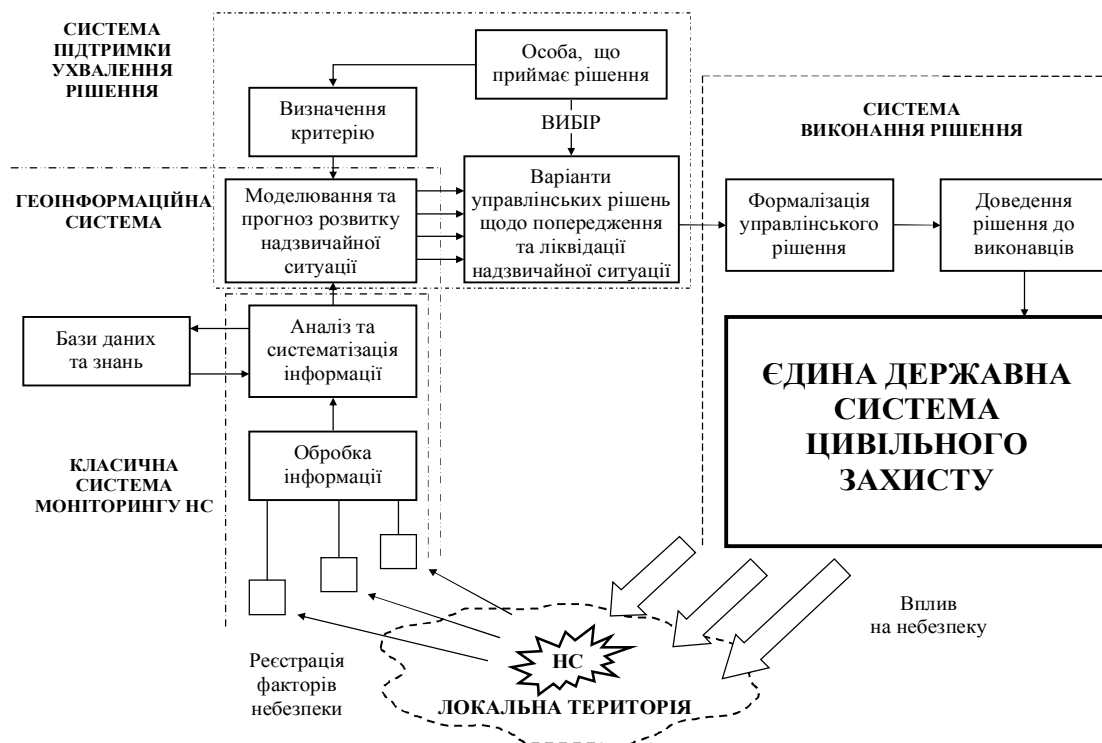


Рис. 3. Схема класичного контуру управління, щодо реалізації функцій моніторингу, попередження та ліквідації НС, а також місце існуючої ЄДСЦЗ в цьому контурі

Отримана засобами контролю первинна інформація про фактори безпеки на локальній території (місто, регіон, держава) або потенційно небезпечному об'єкті по кабелях або радіоканалу транслюється до пристроїв другого рівня, які призначені виконувати обробку отриманої інформації та представляти її у вигляді, необхідному для третього рівня.

Обробка отриманої інформації може виконуватися як в одному місці, так і на декількох, залежно від конкретної системи моніторингу та розмірів ко-

нтрольованої нею локальної території. Оброблена інформація у відповідному вигляді надходить на третій рівень, де виконується її аналіз та систематизація даних, на основі чого робиться висновок про стан безпеки локальної території. Особливо важливо для забезпечення швидкодії системи використання автоматизованих засобів обробки інформації, яке значно прискорить процеси на другому та третьому рівнях системи моніторингу, дозволить створити електронні, доступні в реальному масштабі

часу, бази даних та знань. Використання відповідних математичних методів дозволить на основі отриманої інформації у відносно нетривалі терміни часу виконати моделювання небезпечної ситуації, прогнозування її розвитку та рівня, відображати прогнозовану динаміку катастрофічних подій графічно (у тому числі з використанням мап).

Друга інформаційна система є системою підтримки ухвалення рішення. Особа, що приймає рішення (ОПР), визначає один або декілька критеріїв, відповідно до яких здійснюється прогностичне моделювання розвитку НС та виробляються варіанти управлінських рішень, які обґрунтовані відповідними розрахунками. З набору варіантів управлінських рішень ОПР обирає один, або задає ще додаткові критерії, відповідно до яких виконується моделювання та розробка управлінських рішень, направлених на недопущення розвитку небезпеки до рівня катастрофи. Якщо ж катастрофи вже не уникнути, то розробка управлінських рішень направлена на мінімізацію наслідків від неї. Затверджене ОПР рішення надходить до третьої системи – системи виконання рішення, де виконується його формалізація та доведення до виконавців - функціонуючої в Україні ЄДСЦЗ. Зміни стану локальної території та зміни стану небезпеки на ній викликать зміни у величинах вимірюваних параметрів, що фіксуються пристроями контролю.

Подальше моделювання покаже ефективність виконання управлінського рішення – контур управління замкнеться.

З метою створення інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС в роботі пропонується в діючу систему ЄДСЦЗ, функціональну схему якої представлено на рис. 2, по вертикалі від об'єктового до державного рівнів (базуючись на уявленнях, що основу ЄДСЦЗ у відповідності до рис. 3 повинен становити класичний контур управління) комплексно включити різні функціональні елементи системи моніторингу НС на території держави [1 –7, 9] та складові системи ситуаційних центрів, які жорстко пов'язані між собою на інформаційному та виконавчому рівнях для прийняття ефективних антикризових рішень при розв'язанні різних функціональних задач моніторингу, попередження та ліквідації НС природного, техногенного, соціального та воєнного характеру (модельне представлення процесів зародження на локальній території джерел НС різного походження представлено на рис. 1).

На базі вищевикладеного, комплексну функціональну схему інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС ЄДСЦЗ, що об'єднала систему моніторингу НС та систему ситуаційних центрів представлено на рис. 4.

Згідно існуючої законодавчої бази України [10, 11], основними завданнями діючої в державі ЄДСЦЗ є такі:

1) забезпечення готовності міністерств та інших центральних та місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, підпоряд-

кованих їм сил і засобів до дій, спрямованих на запобігання і реагування на НС;

2) забезпечення реалізації заходів щодо запобігання виникненню НС;

3) навчання населення щодо поведінки та дій у разі виникнення НС;

4) виконання державних цільових програм, спрямованих на запобігання НС, забезпечення стабільного функціонування підприємств, установ та організацій, зменшення можливих матеріальних втрат;

5) опрацювання інформації про НС, видання інформаційних матеріалів з питань захисту населення і територій від наслідків НС;

6) прогнозування і оцінка соціально-економічних наслідків НС, визначення на основі прогнозу потреби в силах, засобах, матеріальних та фінансових ресурсах;

7) створення, раціональне збереження і використання резерву матеріальних та фінансових ресурсів, необхідних для запобігання і реагування на НС;

8) оповіщення населення про загрозу та виникнення НС, своєчасне та достовірне інформування про фактичну обстановку і вжиті заходи; захист населення у разі виникнення НС;

9) проведення рятувальних та інших невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків НС, організація життєзабезпечення постраждалого населення; пом'якшення можливих наслідків НС у разі їх виникнення;

10) здійснення заходів щодо соціального захисту постраждалого населення;

11) реалізація визначених законом прав у сфері захисту населення від наслідків НС, в тому числі осіб (чи їх сімей), що брали безпосередню участь у ліквідації цих ситуацій.

Діюча в Україні система ЄДСЦЗ включає наступні елементи: суб'єкт управління (підсистеми) – органи державної влади, що здійснюють розробку та реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту; об'єкт управління (підсистеми) – сфера цивільного захисту як система забезпечення безпеки життєдіяльності населення держави; управлінська діяльність (процеси) – організація суспільних відносин, що забезпечує прямі та зворотні зв'язки між суб'єктом та об'єктом управління. ЄДСЦЗ складається з постійно діючих функціональних і територіальних підсистем та їх ланок.

Функціональні підсистеми ЄДСЦЗ створюються у відповідних сферах суспільного життя центральними органами виконавчої влади з метою:

а) захисту населення і територій від НС у мирний час та в особливий період;

б) забезпечення готовності підпорядкованих їм сил і засобів до дій, спрямованих на запобігання і реагування на НС.

Безпосереднє керівництво діяльністю функціональної підсистеми здійснюється керівником органу чи суб'єкта господарювання, що створив таку підсистему.

Територіальні підсистеми ЄДСЦЗ створюються місцевими органами виконавчої влади в межах відповідних територій і складаються з ланок адмініст-

ративно-територіального розподілу цих територій. Метою створення територіальних підсистем є здійснення заходів щодо захисту населення і територій від НС у мирний час та в особливий період у відпо-

відному регіоні. Безпосереднє керівництво діяльністю територіальної підсистеми, її ланок здійснюється посадовою особою, яка очолює орган, що створив таку підсистему, ланку.

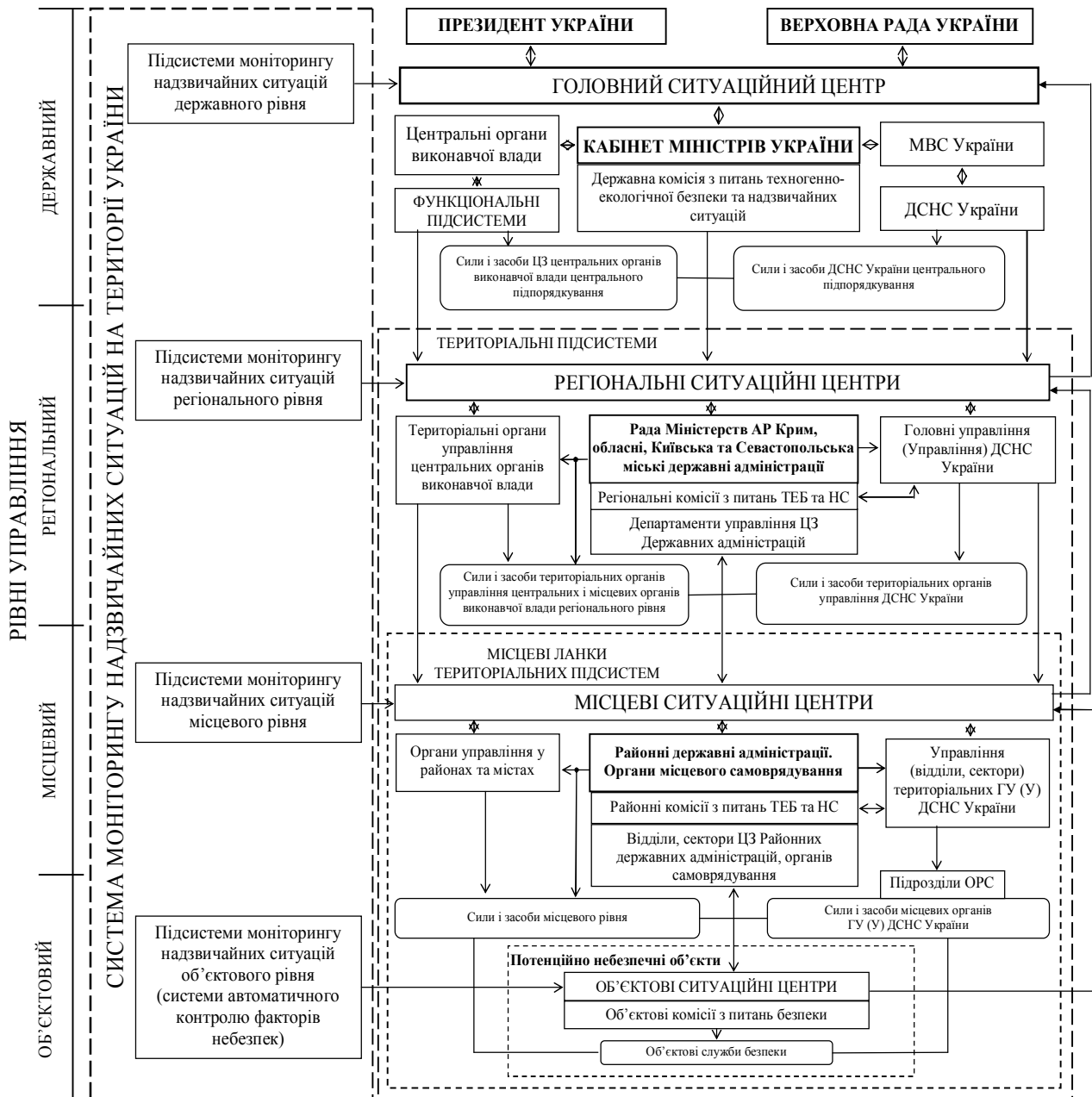


Рис. 4. Комплексна функціональна схема інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС Єдиної державної системи цивільного захисту

Підключення до ЄДСЦЗ системи моніторингу НС на території України [1 – 7, 9], як інструменту неперервного отримання у реальному масштабі часу інформації про територіально-часовий розподіл по території держави джерел різного роду небезпек, повинно бути реалізовано, у відповідності за даними рис. 4, на усіх чотирьох рівнях управління від об'єктового до державного.

Так, на об'єктовому рівні система моніторингу НС складається, у відповідності за даними рис. 5, з мобільних (пересувних) та стаціонарних засобів контролю факторів небезпек.

Мобільні (пересувні) та стаціонарні засоби моніторингу НС об'єктового рівня об'єднують такі засоби:

- контролю доступу та периметру;
- контролю пожежної небезпеки;
- контролю радіаційної небезпеки;
- контролю хімічної небезпеки;
- контролю біологічної небезпеки;
- контролю вибухової небезпеки;
- контролю інформаційної небезпеки;
- контролю стану безпеки персоналу та відвідувачів (засоби відеоспостереження);

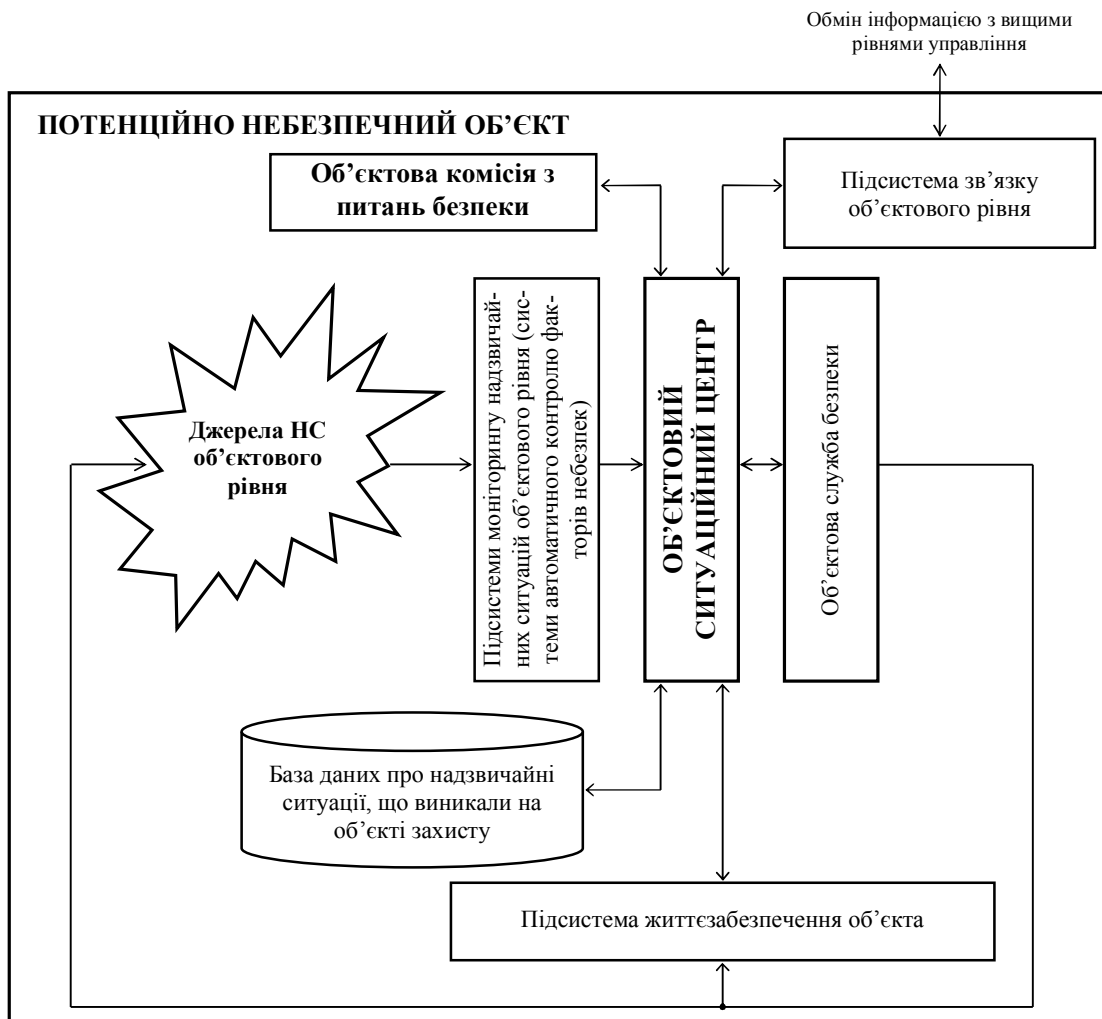


Рис. 5. Функціональна схема інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС об'єктового рівня

контролю інших небезпек, що пов'язані із специфікою об'єкта захисту.

Підсистема зв'язку об'єктового рівня включає засоби: Інтернет та Інтранет; структурованої кабельної системи; АТС та мобільного зв'язку; об'єктового серверу (віщання, трансляція тощо).

Об'єктова служба безпеки об'єднує сили і засоби з попередження та ліквідації: проникнення та нападу на об'єкт; пожежної небезпеки; радіаційної, хімічної та біологічної небезпеки; вибухової небезпеки; інформаційної небезпеки; інших небезпек, що пов'язані із специфікою об'єкта захисту. Підсистема життєзабезпечення об'єкта включає засоби: тепло-, водо-, енерго- та газопостачання; постачання холоду; забезпечення мікроклімату.

На рис. 6 представлена функціональна схема інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС місцевого рівня, які включають небезпеки, що виникли у районах міста.

На рис. 7 представлена функціональна схема інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС регіонального рівня, які включають небезпеки, що виникли у районах регіону. На місцевому та регіо-

нальному рівнях системи моніторингу НС складаються, у відповідності за даними рис. 6 і 7, з мобільних (пересувних) та стаціонарних засобів контролю факторів небезпек наземного, повітряного та водного базування, а також поділяються на підсистеми моніторингу НС природного, техногенного та воєнного характеру.

Так, на державному рівні управління аналізу та протидії підлягають НС, які виникають в одному або декількох регіонах держави, у разі, коли територіальні підсистеми ЄДСЦЗ окремих регіонів не можуть впоратись з небезпекою відповідного рівня, а також НС, які виникають із зовні держави.

Надзвичайні ситуації, які виникають із зовні держави, складаються з небезпек, які виникають в інших державах; навколосемному, ближньому та дальньому космосі – Космосфері [12]; в надрах Землі.

Мобільні (пересувні) та стаціонарні засоби моніторингу НС державного рівня об'єднують космічну систему дистанційного контролю території, а також наземні системи гідрометеорологічного прогнозу, системи сейсмічного, екологічного, радіаційного моніторингу та системи навігації та безпеки на авіаційному, залізничному, автомобільному та магістральному транспорті та інші.

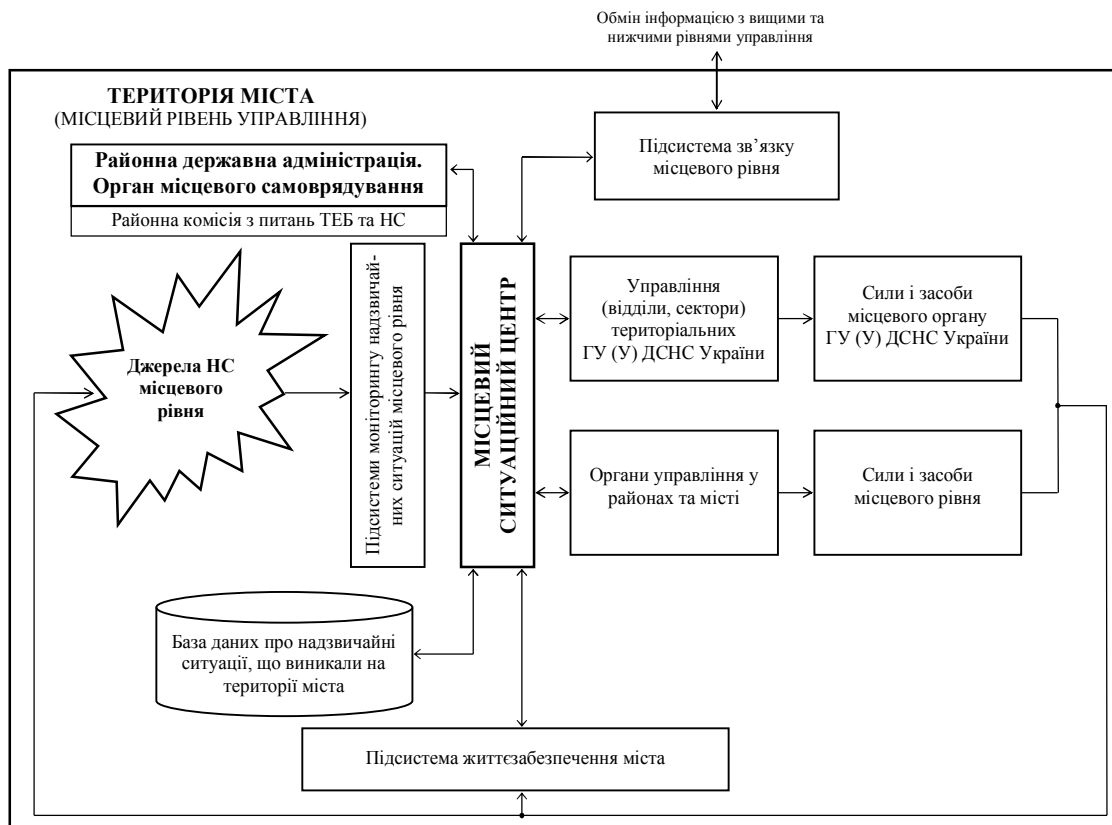


Рис. 6. Функціональна схема інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС місцевого рівня

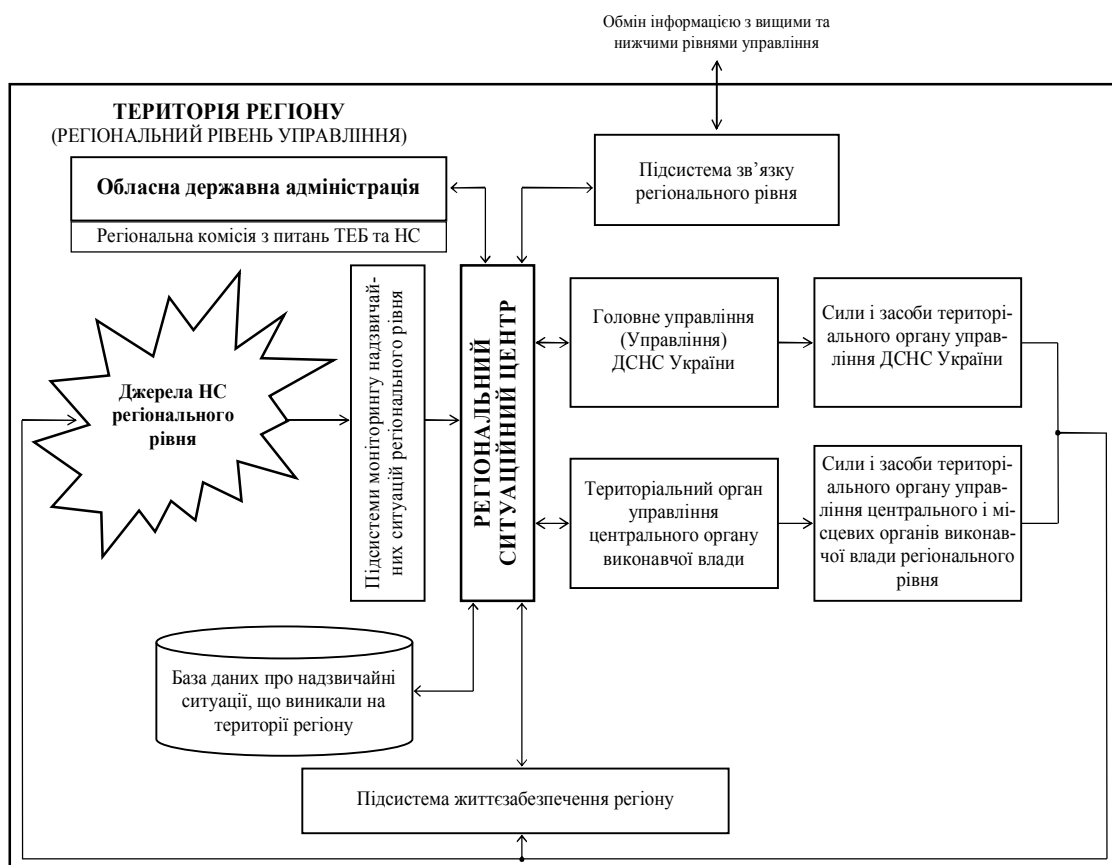


Рис. 7. Функціональна схема інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС регіонального рівня

Основною функцією системи ситуаційних центрів на всіх рівнях управління ЄДСЦЗ є збір й обробка фактичної інформації, прогнозування ризику виникнення різного роду НС та розробка ефективних антикризових рішень. Процедура прийняття управлінських рішень щодо вирішення цих проблемних питань ускладнюється тим, що необхідними умовами ефективності рішень є їх своєчасність, повнота й оптимальність [13]. Перераховані вимоги суперечливі і досягнення їх точності визначає актуальність проблеми прийняття ефективних рішень в галузі цивільного захисту.

Забезпечення повноти (комплексності) рішень вимагає як можна більш повного обліку внутрішніх і

зовнішніх факторів, що впливають на ухвалення рішення, глибокого аналізу їх взаємозв'язків, що веде до росту розмірності задачі прийняття рішень, її багатокритеріальності.

У свою чергу це приводить до росту невизначеності вихідних даних, що обумовлене неповнотою знань про взаємозв'язок факторів і, як наслідок, неточного її опису, неможливістю або неточністю виміру деяких факторів, випадкових зовнішніх і внутрішніх впливів тощо.

Додаткова складність полягає в тому, що невизначеності різномірні й можуть бути представлені у вигляді випадкових або інтервальних величин та нечітких множин.

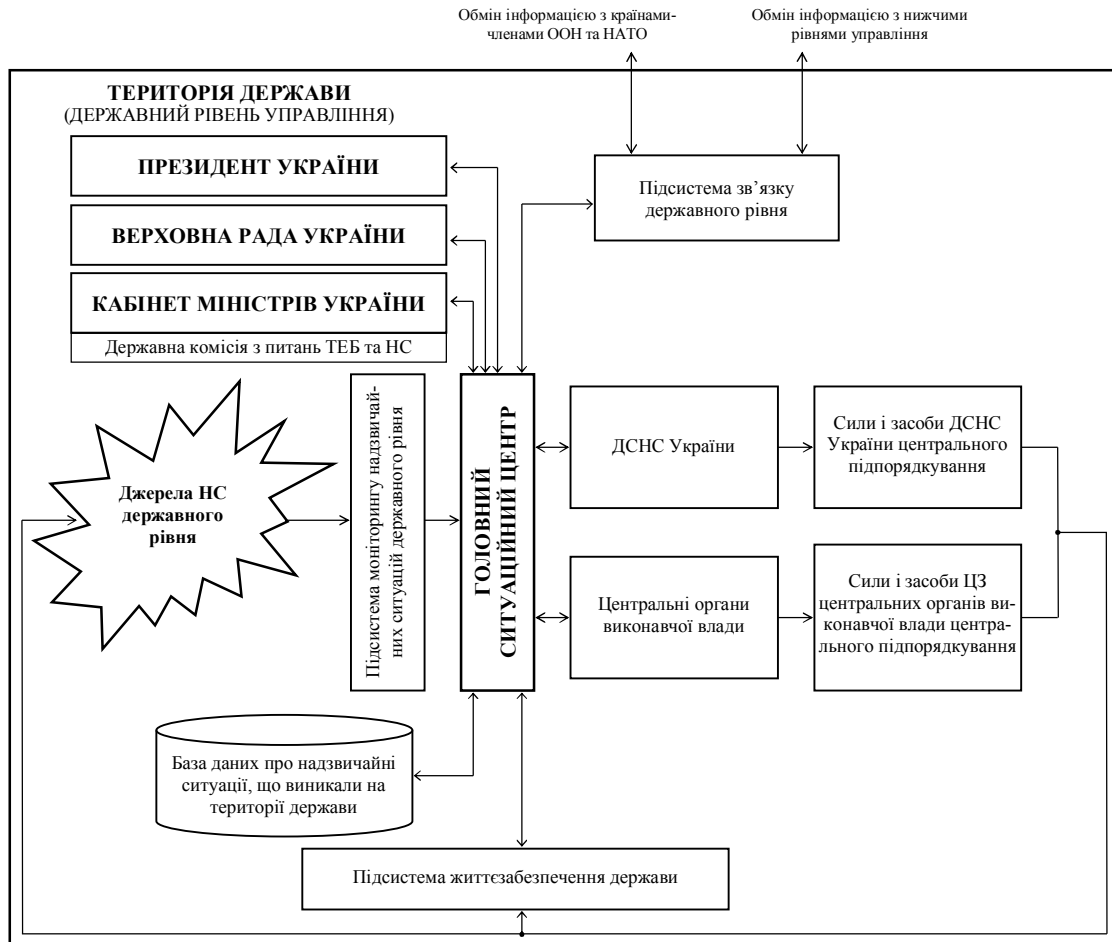


Рис. 8. Функціональна схема інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС державного рівня

Таким чином, підвищення ефективності прийнятих рішень пов'язане з необхідністю рішення задачі багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності.

Традиційний, розповсюджений підхід до рішення таких задач, заснований на їх евристичному спрощенні та детермінізації як засобу зняття невизначеності, у міру ускладнення задач і підвищення значимості рішень стає усе менш ефективним [14 – 16].

У цих умовах виникає необхідність розробки формальних, нормативних методів і моделей комплексного рішення проблеми прийняття рішень в

умовах багатокритеріальності й невизначеності при управлінні процесами попередження й локалізації наслідків НС для забезпечення ефективного функціонування ЄДСЦЗ.

Висновки

Викладені основні принципи створення інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків НС у ЄДСЦЗ:

1. Основу цивільного захисту держави становить класичний контур управління, який забезпечить: збір, обробку та аналіз інформації; моделю-

вання розвитку обстановки на об'єкті управління та розвитку НС на території міста, регіону, держави; розробку та ухвалення управлінських рішень щодо попередження та ліквідації НС, а також мінімізації їх наслідків; виконання рішень щодо попередження та ліквідації НС, а також мінімізації їх наслідків за умовах, що система виконання рішень реалізована функціонуючою в Україні ЄДСЦЗ.

2. Створити ефективну інформаційно-аналітичну систему управління процесами попередження й локалізації наслідків НС шляхом комплексного включення в діючу систему ЄДСЦЗ по вертикалі від об'єктового до державного рівнів різних функціональних елементів територіальної системи моніторингу НС та складових системи ситуаційних центрів, які жорстко пов'язані між собою на інформаційному та виконавчому рівнях для прийняття відповідних антикризових рішень для розв'язання різних функціональних задач моніторингу, попередження та

ліквідації НС природного, техногенного, соціально-го та воєнного характеру.

3. Основною функцією системи ситуаційних центрів на всіх рівнях управління ЄДСЦЗ є збір й обробка фактичної інформації, прогнозування ризику виникнення різного роду НС та розробка ефективних антикризових рішень. Процедура прийняття управлінських рішень ускладнюється тим, що необхідними умовами ефективності рішень є їх своєчасність, повнота й оптимальність. Тому, підвищення ефективності прийнятих рішень пов'язане з необхідністю рішення задачі багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності, що потребує розробки формальних, нормативних методів і моделей комплексного рішення проблеми прийняття рішень в умовах багатокритеріальності й невизначеності при управлінні процесами попередження й локалізації наслідків НС для забезпечення ефективного функціонування ЄДСЦЗ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф / Л.Ф. Черногор – Харьков: Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 2012. – 556 с.
2. Тютюник В.В. Системний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально-часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2011. – Вип. 14. – С. 171 – 194.
3. Калугін В.Д. Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – 1/6 (55). – С. 59 – 70.
4. Андронов В.А. Научно-конструкторские основы створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні: Монографія / В.А. Андронов, М.М. Дівізінюк, В.Д. Калугін, В.В. Тютюник. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 319 с.
5. Тютюник В.В. Основи методології територіально-часового формування джерел надзвичайних ситуацій та екологічної небезпеки на локальній території / В.В. Тютюник, О.М. Соболев, В.Д. Калугін, Ю.В. Тютюник // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – Київ: Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України, 2015. – Вип. 9. – С. 92 – 108
6. Тютюник В.В. Створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в регіонах України / В.В. Тютюник // Автореф. ... доктора технічних наук за спец. 21.02.03 – Цивільний захист. – Київ: НАН України. ДП «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України». – 2015. – 42 с.
7. Тютюник В.В. Розвиток методологічного підходу для техногенно-екологічної оцінки рівня небезпеки функціонування структурних підрозділів потенційно небезпечних об'єктів та локальних територій України / В.В. Тютюник, В.М. Стрілець, В.Д. Калугін, Ю.В. Захарченко // Науково-технічний журнал «ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА», № 3(1/2018). – С.91 – 101.
8. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 січня 2017 року № 61-р. «Про схвалення Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80>
9. Калугін В.Д. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9(116). – С. 204 – 216.
10. Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI // Голос України. – 2012.– листопад (№ 220(5470)). – С. 4 – 20.
11. Постанова Кабінету Міністрів України від 9 січня 2014 року № 11 «Про затвердження Положення про Єдину державну систему цивільного захисту» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF>
12. Черногор Л.Ф. Космос, Земля, людина: актуальні проблеми / Л.Ф. Черногор. – 2-ге вид., доп. – Харків: Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2017. – 384 с.
13. Глушков В.М. Введение в теорию самосовершенствующих систем / В.М. Глушков. – Киев: Изд-во КВИРТУ, 1962. – 109 с.
14. Пискалова О.А. Анализ особенностей решения задачи многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности / О.А. Пискалова, Н.А. Брынза, Д.И. Филипская // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ – Вип. 3(56) – Днепропетровск, 2008. – № 01. – С. 147 – 157.

15. Петров Э.Г. Анализ подходов к решению задачи поиска оптимального решения в условиях неопределенности / Э.Г. Петров, О.А. Пискалова // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2007. – № 4(27). – С. 14 – 19.
16. Петров Э.Г. Методы и модели принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности: монография / Э.Г. Петров, Н.А. Брынза, Л.В. Колесник, О.А. Пискалова; под ред. Э.Г. Петрова. – Херсон: Гринь Д.С., 2014. – 192 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М. І. Адаменко,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків
Received (Надійшла) 26.06.2018
Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.08.2018

Основополагающие принципы создания в Единой государственной системе гражданской защиты информационно-аналитической подсистемы управления процессами предупреждения и локализации последствий чрезвычайных ситуаций

В. В. Тютюник, В. Д. Калугин, О. А. Пискалова

Предметом изучения в статье являются процессы: сбора, обработки и анализа информации; моделирование развития обстановки на объекте управления и развития чрезвычайной ситуации (ЧС) на территории города, региона, страны; разработки и принятия управленческих решений в условиях многокритериальности и неопределенности при предупреждении и ликвидации ЧС, а также минимизации их последствий для решения прикладных задач Единой государственной системы гражданской защиты (ЕГСГЗ). **Целью** является развитие научно-технических основ создания информационно-аналитической подсистемы управления процессами предупреждения и локализации последствий ЧС Единой государственной системы гражданской защиты. **Задача:** техническая реализация в ЕГСГЗ информационно-аналитической подсистемы управления процессами предупреждения и локализации последствий ЧС путем комплексного включения в действующую ЕГСГЗ по вертикали от объектового до государственного уровней различных функциональных элементов территориальной системы мониторинга ЧС и составляющих системы ситуационных центров. Используемыми **методами** являются: методы системного, функционального и выпуклого анализа; методы разработки автоматизированных систем; методы принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности. **Получены результаты.** Изложены основные принципы создания информационно-аналитической подсистемы управления процессами предупреждения и локализации последствий ЧС в ЕГСГЗ. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: определено, что одной из основных функций системы ситуационных центров на всех уровнях управления ЕГСГЗ является разработка эффективных антикризисных решений, которая осложняется необходимостью учета их своевременности, полноты и оптимальности. Для повышения эффективности принятия решений обоснована необходимость разработки формальных, нормативных методов и моделей комплексного решения проблемы в условиях многокритериальности и неопределенности при управлении процессами предупреждения и локализации последствий ЧС.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, Единая государственная система гражданской защиты, информационно-аналитическая система управления процессами предупреждения и локализации последствий чрезвычайных ситуаций, система мониторинга чрезвычайных ситуаций, система ситуационных центров, принятие решений в условиях многокритериальности и неопределенности.

The making fundamental principles of the informational and analytical subsystem of prevention management processes and localization of emergency situation consequences within unified state civil protection system

V. Tiutiunyk, V. Kalugin, O. Pisklakova

In this article processes of collecting, processing and analysis of information; modeling of situation development on object of management and development of the emergency situation in the territory of the city, the region, the country; developments and adoptions of administrative decisions in the multicriterial conditions and indeterminacy at prevention and elimination of emergency and also minimization of their consequences for the applied solution problems of the Unified State Civil Protection System (USCPS) have been **studied**. Development of scientific and technical bases of making fundamental principles of the informational and analytical subsystem of prevention management processes and localization of emergency situation consequences within USCPS was by the **purpose**. Technical realization in USCPS of an informational and analytical subsystem management of prevention processes and localization of emergency consequences by complex inclusion in operating USCPS vertically from object to state levels of various functional elements territorial system of monitoring emergency and system components of the situational centers was a **task**. The following **methods** have been used: systems, functional and convex analysis; developments of the automated systems; decision makings in the conditions of a multicriterial and indeterminacy. **Obtained results.** Making fundamentals of an informational and analytical management subsystem of prevention processes and localization of emergency consequences within USCPS have been explained. **Conclusions.** The scientific novelty of the received results consists in the following: has been defined that one of trial functions of situational system centers at all levels of USCPS management is development of efficient crisis response solutions which is complicated by need of accounting their timeliness and also completeness and optimality. Need of formal development, normative methods and models of a complex solution in the multicriterial conditions and indeterminacy at management processes of prevention and emergency situation localization consequences was proved for increase in effectiveness of a decision making.

Keywords: emergency situation, Unified State Civil Protection System, analytical subsystem of prevention management processes and localization of emergency situation consequences, the monitoring system of emergency situations, the system of the situational centers, a decision making in the conditions of a multicriterial and indeterminacy.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Акіншин О. Г.	161	Жила С. С.	33	Писклакова О. О.	168
Альошин С.П.	95	Заполовський М. Й.	38	Плахотний О. В.	3
Артеменко А. М.	42	Зиков І. С.	125	Помазан А. І.	33
Ахієзер О. Б.	57	Зуєв А. О.	8	Пономаренко А. П.	161
Барабаш О. В.	91	Івашко А. В.	8	Рвачова Н. В.	129
Барилюк Ф. А.	13	Ічанська Н. В.	105	Рисований О. М.	144
Барсов В. І.	3	Калугін В. Д.	168	Самохвалов Ю. Я.	77
Бородіна О. О.	95	Кальченко В. В.	109	Свічинський С. В.	50
Боряк Б. Р.	27	Карлов В. Д.	42	Сердюк І. В.	57
Бульба С. С.	99	Кириченко І. Ю.	42	Ситник Ю. Б.	22
Бурба О. І.	77	Кириченко Ю. В.	42	Сідоров Я. Є.	135
Буряк Т. В.	129	Кікоть А. С.	95	Скородєлов В. В.	38
Варич В. В.	129	Коваленко О. В.	115	Сокол Г. В.	129
Волосюк В. К.	33	Кумпан О. О.	161	Стадник В. В.	22
Гадецька С. В.	62	Кучук Г. А.	99	Стрельнікова А. Ю.	57
Гармаш Д. В.	57	Левченко Л. О.	157	Тихенко О. М.	157
Глива В. А.	157	Макарічев О. В.	50	Толкаченко Є. А.	13
Глуховець Ю. В.	129	Макогон О. А.	161	Тютюник В. В.	168
Горбачов П. Ф.	50	Мезенцев М. В.	38	Улічев О. С.	147
Гороховатський В. О.	62	Мелешко Є. В.	120	Фролов В. В.	139
Гриценко А. В.	105	Мерлак В. Ю.	125	Фролов О. В.	139
Гришманов Д. Є.	13	Молчанов Г. І.	125	Хох В. Д.	152
Давидов В. В.	99	Москаленко А. О.	129	Чала О. В.	86
Дєдов О. П.	69	Нгуєн А.В.	135	Шефер В. О.	105
Дмитрієв О. М.	17	Немна Т. В.	50	Шило С. Г.	17
Дунаєвська О. І.	57	Несміян О. Ю.	13	Шпінда Є. М.	161
Дьяченко О. С.	73	Павленко М. А.	17	Шуклін Г. В.	91
Жабран І. Б.	95	Пєвнєв В. Я.	139	Щокін В. М.	161

Наукове видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 4 (50)

Відповідальна за випуск *К. С. Козелкова*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*Оформлення обкладинки *І. В. Льїна*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 22,25. Тираж 150 прим. Зам. 912-18

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30
Полтавський національний технічний університет імені Юрія КондратюкаВіддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: bookfabrik@mail.ua