

В. В. Бойко, М. В. Підгорний

<sup>1</sup>Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ БЕЗПЕЧНИМ РУХОМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

**Анотація.** Стаття присвячена обґрунтуванню та застосуванню системної інформаційної технології розробки ефективного методу вирішення проблем керування безпечним рухом автотранспортних засобів. Розробка складних систем керування які в загальнонауковому змісті відображають відношення «частина-ціле» та «мета-засоби». Такі системи визначаються множиною елементів разом із сукупністю зв'язків між цими елементами. Використовуючи програмний комплекс у вигляді пакету прикладних програм «Fastog» розглянута задача та проведена параметрична ідентифікація трьохзв'язної динамічної системи, яка описує динаміку руху транспортного засобу, як об'єкту керування. Інтеграція інформаційних технологій забезпечує підвищення безпеки процесів керування рухом транспортних засобів. Дана інформаційна технологія дозволяє на системному рівні розглядати процес управління безпечним рухом автотранспортних засобів, а також розглядати процес управління з точки зору системності.

**Ключові слова:** технологія, структура, динамічна керована система, задача, метод, засоби керування.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Масове використання різних видів автомобільного, залізничного, водного і повітряного транспорту в забезпеченні соціально-економічного функціонування розвиненої країни обумовлює високі вимоги до безпеки транспортних засобів. Особливо актуальні ці вимоги до автотранспортних засобів (АТЗ). Безпечне використання

транспортних засобів повинне розглядатися системно (комплексно) - як умови і завдання успішного функціонування складової соціально-економічної системи.

Одним із напрямків вирішення проблеми безпеки є вдосконалення конструкційної якості, підвищення активної, пасивної, післяаварійної і екологічної безпеки автомобіля та поліпшення їх функціональних властивостей (рис. 1) [1, 2].

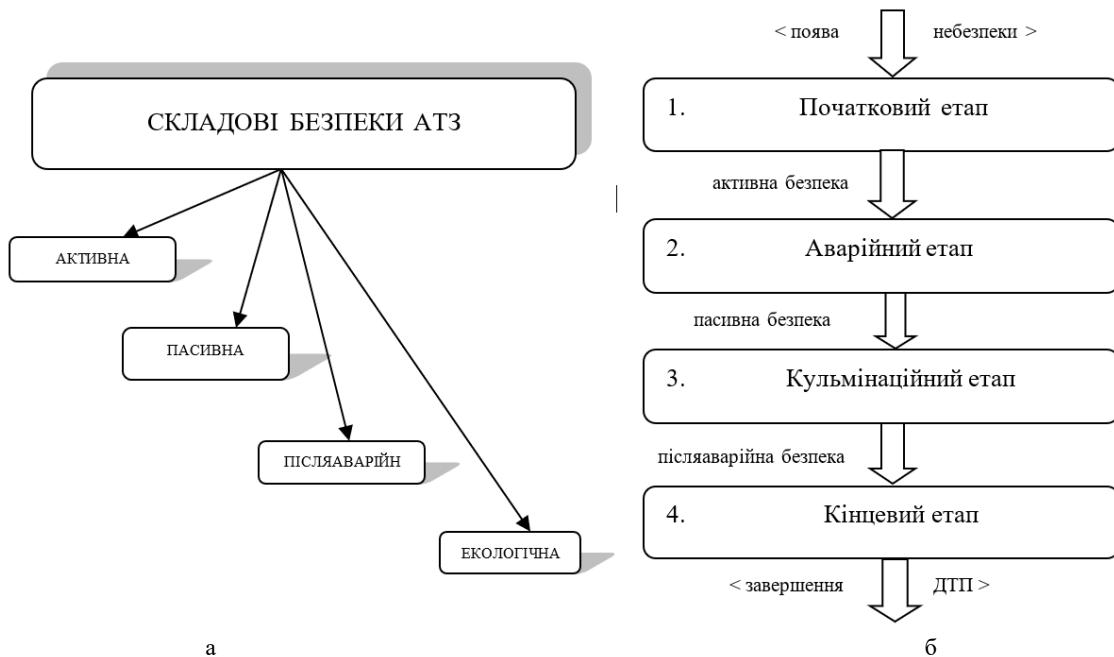


Рис. 1. Складові безпеки автотранспортного засобу (а) та схема життєвого циклу ДТП (б):

1. Початковий етап характеризується умовами руху автомобіля і пішоходів до виникнення небезпечної ситуації. Під небезпечною ситуацією слід розуміти таку дорожню ситуацію, при якій учасники руху повинні відразу прийняти всі необхідні заходи для уникнення події. 2. Аварійний етап характеризується такою дорожньою обстановкою, при якій учасники руху вже не в силі уникнути ДТП. 3. Кульмінаційний етап характеризується подіями, в результаті яких мають місце найтяжчі наслідки (руйнування автомобіля, травмування водія, пасажирів, пішоходів). 4. Кінцевий етап – це повна зупинка всіх учасників ДТП

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Яким би не був досконалим автотранспортний засіб, системи його, які відповідають за безпеку, про-являються тільки у системній взаємодії <людина> - <автомобіль> - <дорога> - <навколишнє середовище> [3].

Забезпечення безпеки системи <людина> - <автомобіль> - <дорога> - <навколишнє середовище> досягається запровадженням інформаційних технологій та інтелектуальних засобів управління з використанням системного підходу до вирішення проблеми.

Значну увагу підвищенню експлуатаційної надійності автомобілів, проблемам безпеки автомобілів, впровадженню прогресивних інформаційних систем приділено в роботах Е.А. Чудакова, Н.Е. Жуковського, А.И. Гришкевича, В.П. Тарасика та інших.

**Метою роботи** є застосування системного підходу як методології побудови інформаційної технології підвищення системної ефективності управління безпечним рухом транспортних засобів.

### Основний матеріал

Розглядається динамічна система, рух якої описується диференціальними рівняннями:

$$m\ddot{y} + f(y, \dot{y}) = F(t), \quad (1)$$

де  $m$  - маса системи; змінні  $y(t), \dot{y}(t)$  визначають положення системи та швидкість її руху в кожний момент часу;  $F(t)$  - сила, що діє на систему.

Пряма задача динаміки формулюється наступним чином. Відома математична модель (1) руху системи і її стан в початковий момент часу

$$y(0) = y_0, \dot{y}(0) = \dot{y}_0.$$

Задана сила зовнішнього впливу  $F(t)$ . Необхідно знайти траєкторію руху системи  $y(t), \dot{y}(t), t \geq 0$ .

Обернена задача динаміки: необхідно знайти таку силу

$$F(t) = F^*(t), t \geq 0,$$

яка здійснює рух системи (1) з початковими умовами по назначеній траєкторії

$$y(t) = y^*(t), \dot{y}(t) = \dot{y}^*(t), t \geq 0.$$

На протязі тривалого часу дослідники вивчали рух різних систем під дією сил та моментів. Недавно було прийнято рахувати пріоритетною задачею динаміки – пряму задачу. Але із стрімким розвитком техніки керованого руху пріоритет змінився. Для розв'язку прямої задачі в сучасних умовах не існує складності, в зв'язку із сучасним математичним забезпеченням високопродуктивних ЕОМ. Зовсім по іншому складається із оберненими задачами, коли потрібно визначати сили та моменти керування рухом таких систем, як транспортні засоби, літальні апарати, підводні апарати, багатомасові механічні системи та інші об'єкти. А тому, актуальність розробки ефективних методів управління рухом таких систем зберігається, не дивлячись на значне досягнення в цій сфері.

*Структурний підхід до побудови математичної моделі.* Запропонована далі методика структурного опису динамічної системи, дає змогу застосувати формалізований опис системи на різних рівнях її представлення та використати в основі структурний підхід до опису систем. Побудова складних систем керування у загальнонауковому змісті слід відображати у відношенні «частина-ціле» та «мета-засоби». Така система визначається як множина елементів разом із сукупністю зв'язків між цими елементами.

Виходячи із визначення системи, як мережі зв'язних елементів, розглянемо можливість побудови структурованої моделі динамічної системи на прикладі автоматичної системи управління безпечним рухом автомобіля, як складного об'єкту дослід-

ження, який складається із об'єкта керування та засобів керування. Автомобіль, як керований об'єкт – це складна динамічна система з керованою структурою, функціонування якої розвивається у часі. Уявлення про таку систему слід базувати на поняттях входу, виходу і стану. Опис системи потребує опису базисних елементів, визначення векторів вхідних і вихідних впливів для кожного елемента, їх сукупності та для системи в цілому, а також опису про спосіб з'єднання елементів.

Загальні методи динаміки рухомого тіла базуються на принципах аналітичної механіки. Для опису динаміки на ряду із поступовим рухом потрібно розглядати коливання рухомих частин. Конструктивні зв'язки між окремими елементами направляють або обмежують їх рух. Число ступенів вільності всієї системи рівно сумі ступенів вільності окремих складових частин. Стан динамічної системи в будь-який момент часу визначається координатами, швидкостями та прискореннями [4].

Як відомо, рух АТЗ являє собою переміщення тіла по шести ступеням вільності. Вважаючи, що механічна система по кожному каналу може бути описана як диференціальна система другого порядку, рівняння її можна представити рівнянням (1), або в операторному вигляді:

$$G_{ij}(D) = \frac{b_r(D)}{a_r(D)}, \quad (2)$$

де  $b_r(D) = \sum_{j=1}^m b_j D^j, a_r(D) = \sum_{i=1}^n a_i D^i,$

$$D = \frac{d}{dt}, m \leq n.$$

Структурний опис системи управління. Розглянемо трьохканальну систему, яка складена з трьох динамічних елементів. Для такої системи використаємо модель, складеної із трьох диференціальних рівнянь. Будемо вважати, що кожний із елементів має по одному входу та виходу. Як відомо, тільки система, що розкладається на елементи, може мати свою структуру [3]. Використаємо апарат матриць та векторів для представлення математичної моделі такої структурованої системи.

Нехай задано вектори  $X_e, X_c$  – входи відповідно елементів та системи в цілому,  $Y_e, Y_c$  – виходи елементів та системи відповідно,  $S_{ee}, S_{ec}, S_{ce}, S_{cc}$  –  $[0,1]$  матриці зв'язків між елементами відповідно, між елементами та системою, між системою та елементами та системні – між входом та виходом системи відповідно. Тоді система матричних рівнянь буде мати відповідний вигляд (рис. 2):

- $X_e = S_{ee}Y_e + S_{ec}X_c$  рівняння входів елементів,
- $Y_c = S_{ce}Y_e + S_{cc}Y_c$  рівняння виходів системи,
- $Y_e = G(D)_{ee}X_e$  рівняння виходів елементів, де

$$G_{ee} = \begin{pmatrix} G_{11}(D) & 0 & 0 \\ 0 & G_{ij}(D) & 0 \\ 0 & 0 & G_{nn}(D) \end{pmatrix}. \quad (3)$$

*Структурний аналіз системи управління.* Особливість структурного аналізу полягає в тому, що матриці зв'язків розглядаються як нові параметри, зміна яких в експерименті здійснюється за рахунок зміни  $[0,1]$  елементів.

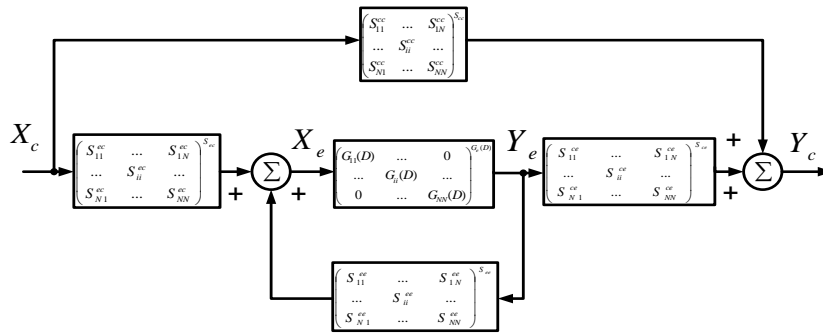


Рис. 2. Структурна схема структурованої системи управління

Трьохзв'язна система буде описуватися трьома системами, по кожному каналі якої буде задаватися матриця зв'язків:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & 0 & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де  $i$  – індекс зв'язку, що означає на який елемент відбувається дія;  $j$  – індекс зв'язку, що означає звідки приходить ця дія.

Повна сукупність зв'язків між елементами має вигляд:

$$\Omega = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m G_{ij} \cdot S_{ij}. \quad (5)$$

Матриця зв'язків елементів визначається як матриця структури системи. Для формування системи на множині елементів накладено зовнішні (які організують <вхід>-<вихід>) і внутрішні (які організують елементи між собою) зв'язки.

Записана вище система матричних рівнянь може бути представлена в більш загальному вигляді:

$$\begin{aligned} a_{11}(D)x_1 + a_{12}(D)x_2 + a_{13}(D)x_3 &= b_{11}(D)y_1 + b_{12}(D)y_2 + b_{13}(D)y_3 \\ a_{21}(D)x_1 + a_{22}(D)x_2 + a_{23}(D)x_3 &= b_{21}(D)y_1 + b_{22}(D)y_2 + b_{23}(D)y_3 \\ a_{31}(D)x_1 + a_{32}(D)x_2 + a_{33}(D)x_3 &= b_{31}(D)y_1 + b_{32}(D)y_2 + b_{33}(D)y_3 \end{aligned} \quad (6)$$

або в матричному вигляді:

$$A(D)\vec{X} = B(D)\vec{Y}. \quad (7)$$

Якщо розглядати таку систему як об'єкт керування, то можна описати у наступному вигляді:

$$A(D)\vec{X} = B(D)\vec{U}, \quad (8)$$

де  $\vec{U}$ - вектор керування, або використовуючи перетворення Коші, отримаємо рівняння керування:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (9)$$

де параметри матриць  $A$  і  $B$  є складними функціями, які можуть бути визначені, використовуючи дані конкретного дослідження (відповідної марки автомобіля та його характеристик).

В результаті проведення спостереження за вхідними та вихідними даними об'єкта керування, як об'єкта ідентифікації, дають змогу використати метод параметричної ідентифікації для отримання значень параметрів  $A$  і  $B$  системи (рис. 3).

**Параметрична ідентифікація.** Постановка задачі параметричної ідентифікації. Потрібно визначити параметри  $A$  і  $B$ , знаючи вхідні та вихідні змінні.

Будемо вважати, що задані входи  $X$  у вигляді динамічних вимірних значень (табл.1).

Таблиця 1 – Входи  $X$

$t$	1	2	3	4	5
$X_1$	0	20	40	60	80
$X_2$	2	3	4	5	6
$X_3$	10	5	0	5	10
$U_1$	1	0	1	4	9
$U_2$	0	0,5	0	1	1
$U_3$	0	0,5	1	1,5	2

Задаючи  $x_1 \dots x_3, u_1 \dots u_3$  використаємо програму Ident [3,4] для опису табличних функцій в аналітичному вигляді  $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$  та  $u_1(t), u_2(t), u_3(t)$ :

$$\begin{aligned} x_1(t) &= 20t - 20; \\ x_2(t) &= -1,5t^4 + 18t^3 - 76t^2 + 130t - 70; \\ x_3(t) &= 2t^2 - 13t + 21; \\ u_1(t) &= t^2 - 4t + 4; \\ u_2(t) &= -0,2t^4 + 2,5t^3 - 10,3t^2 + 17t - 9; \\ u_3(t) &= 0,96t^4 - 11,4t^3 + 46,5t^2 - 76t + 45. \end{aligned}$$

Шукаючи аналітичний вираз похідних отримаємо формульні вирази для похідних фазових координат  $X$ .

Підготовлена, таким чином, задача дає змогу перейти до використання програми Idyns, яка дозволяє знайти параметри матриць  $A$  і  $B$  при вхідних та вихідних даних. Значення матриць:

$$A = \begin{pmatrix} -1.4 & -2.6 & -5.5 \\ -5.8 & -22 & -20 \\ 0.2 & 0.3 & -0.1 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 11 & 98.8 & 12.8 \\ 37 & 412.4 & 38.4 \\ 0.25 & -9.1 & -1.6 \end{pmatrix}.$$

Система рівнянь трьох каналної системи набуває вигляду:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -1.4x_1 - 2.6x_2 - 5.5x_3 + 11u_1 + 98.8u_2 + 12.8u_3 \\ \dot{x}_2 &= -5.8x_1 - 22x_2 - 20x_3 + 37u_1 + 412.4u_2 + 38.4u_3 \\ \dot{x}_3 &= 0.2x_1 + 0.3x_2 - 0.1x_3 + 0.25u_1 - 9.1u_2 - 1.6u_3 \end{aligned} \quad (10)$$

**Методи структурного синтезу.** Синтез зводиться до пошуку таких перетворень, які дозволяють визначити бажаний закон керування в функції змінних системи (а не в функції часу). Відомо декілька методів реалізації такого підходу [5, 6]. При структурному синтезі автоматизованих систем в автоматичі одною із перших повинна розв'язуватись задача синтезу такого закону управління, який може включати в себе всі можливі змінні (комбінований).

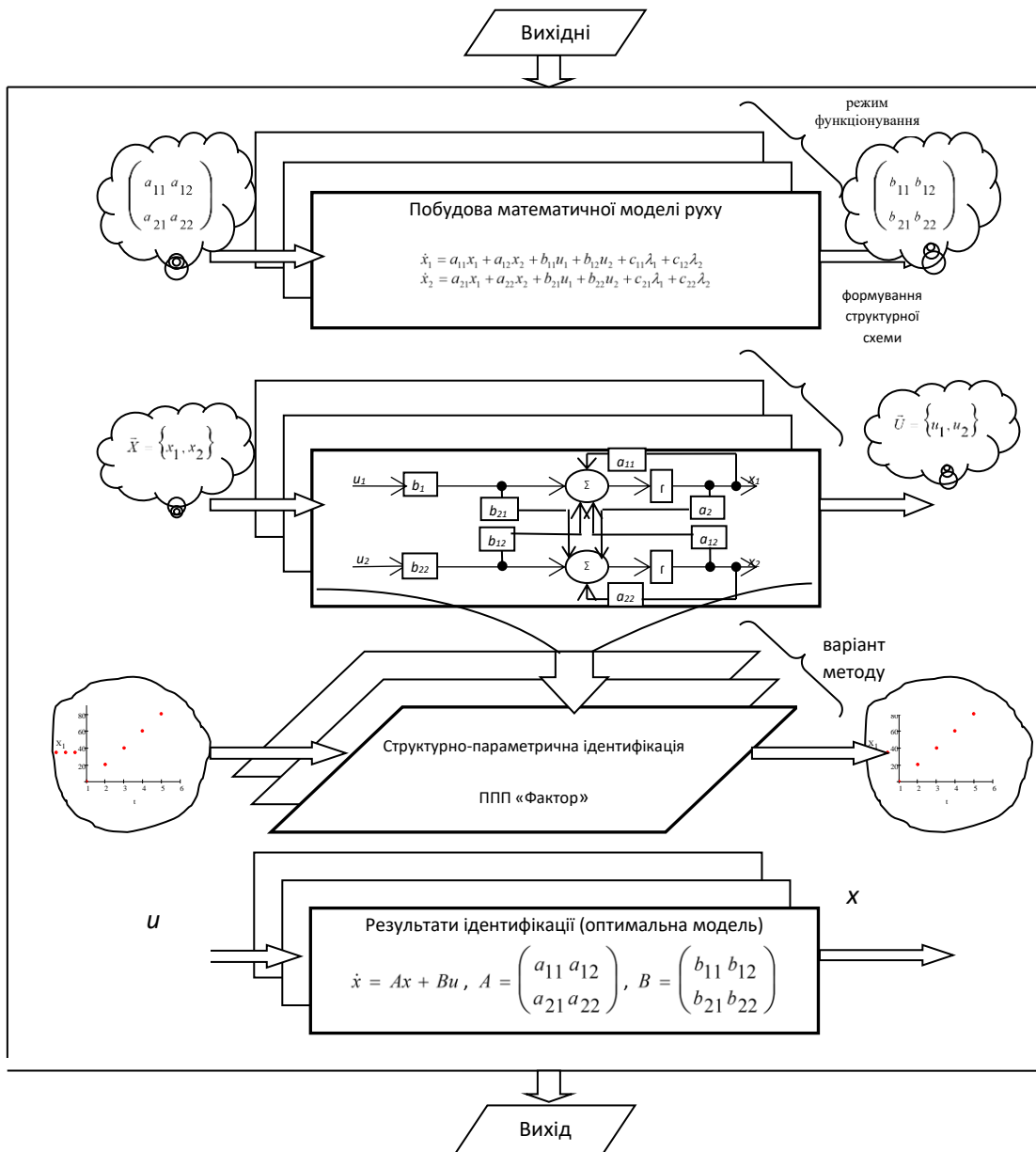


Рис. 3. Блок-схема алгоритму ідентифікації

Тоді синтез структури можна виконати виходячи із умови:

$$\varepsilon \equiv [x^{(n)} = x_z^n] = \begin{cases} 1 \text{ при } x^{(n)} = z; \\ 0 \text{ при } x^{(n)} \neq z. \end{cases} \quad (11)$$

Розглянемо задачу створення системи керування процесом руху автомобіля як об'єкту керування, з використанням засобів активної безпеки. Тоді автомобіль як об'єкт керування є багатозв'язною динамічною системою, рух якої може бути описаний системою диференціальних рівнянь, станів та виходів:

$$\begin{cases} \dot{X} = f_x(X, U, \lambda, t), \\ Z = f_z(X), \end{cases} \quad (12)$$

де  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  – вектор змінних стану руху (швидкість, прискорення, напрям тощо);  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$  – вектор керуючих впливів (на гальмівну систему, на двигун, кермове управління);  $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l\}$  – вектор збурюючих впливів (активні та пасивні перешкоди, внутрішні або зовнішні змінні),  $Z$  – вихід,  $t$  – час.

Ставиться задача пошуку таких законів керування багатозв'язною системою (12), які б забезпечували бажану програму руху:

$$U = \phi(Y, X, U, \lambda), \quad (13)$$

де  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$  – вектор програмних змінних бажаного руху (напрямок, швидкість, прискорення). Причому, при формуванні програмних змінних можуть бути використані ідеї функціонального керування.

Обернений метод структурного синтезу. Використовуючи рівняння бажаної системи можна отримати структуру відповідного закону управління, виходячи із умови (11) для рівняння динаміки об'єкту в узагальненому вигляді (12).

При цьому отримуємо закон керування у вигляді

$$u = f^{-1}(\dot{x}_z, x_z, \lambda, t). \quad (14)$$

Структурний синтез законів управління з метою компенсації впливу збурень. Будемо вважати знайденим закон управління відповідно до використання

вищенаведеного методу. Тоді рівняння системи управління в лінійному випадку можна записати:

$$\bar{x} = W(D)(\bar{u} + \bar{\lambda}), \quad (15)$$

де  $\bar{u}$  – керуючий вплив, а  $\bar{\lambda}$  – збурення.

Ставиться задача пошуку закону управління:

$$\bar{u} = \bar{u}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{\lambda}, t), \quad (16)$$

який би надавав можливість компенсувати вплив збурення  $\bar{\lambda}$ . Синтез закону компенсації збурення виконується з використанням умови

$$\alpha = [\bar{e} \equiv 0] = \begin{cases} 1 \text{ при } \bar{x} = \bar{y}, \\ 0 \text{ при } \bar{x} \neq \bar{y}. \end{cases} \quad (17)$$

Поставлена задача може носити деякий оптимізаційний характер визначеного критерію (11) або (17). Будемо вважати, що при такій постановці:

$$e \equiv y - x \stackrel{\Delta}{=} 0 \text{ або } x \stackrel{\Delta}{=} y.$$

Модель об'єкта управління задається рівнянням (15). Виконуючи умову (17) отримуємо рівняння відносно невідомого  $\bar{u}$ :

$$\bar{y} - W(D)(\bar{u} + \bar{\lambda}) = 0,$$

звідки структура закону управління (рис. 4):

$$\bar{u} = W^{-1}(D)\bar{y} - \bar{\lambda}. \quad (18)$$

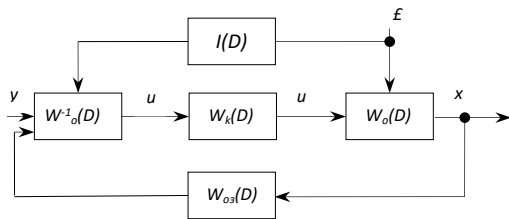


Рис. 4. Блок-схема інформантної системи управління

Для того, щоб управляти системою в заданих умовах треба відповідно відтворити завдання ( $\bar{y}$ ) та компенсувати збурення ( $\bar{\lambda}$ ). Якщо закон зміни збурення  $\bar{\lambda}(t)$  невідомий, або його не можна виміряти, то відповідно він не може бути внесений і в закон управління.

## Висновки

Викладені вище матеріали опису динамічних систем із змінюваною структурою при використанні структурного підходу, що дозволяє розчленувати систему на динамічну й структурну частини і формально описувати їх незалежно. Виконуючи наступний етап системної технології проведена структурна ідентифікація з використанням структурного підходу, який включає в себе завдання рівнянь зв'язків векторів входу й виходу та векторів входів й виходів сукупності елементів.

Використовуючи програмний комплекс у вигляді пакету прикладних програм «Factor» розглянута задача та проведена параметрична ідентифікація трьохзв'язної динамічної системи, яка описує динаміку руху транспортного засобу, як об'єкту керування. Наступним етапом системної технології є розв'язання задачі структурного синтезу законів керування прямолінійним рухом автомобіля, що дозволяє забезпечити рух об'єкта згідно необхідного програмного, яке визначається відповідно у завданні та вихідних змінних стану об'єкта.

Дана інформаційна технологія дозволяє на системному рівні розглядати процес управління безпечним рухом АТЗ, а також розглядати процес управління з точки зору системності та в взаємодії системи <людина>-<автомобіль> - <дорога> - <навколишнє середовище> .

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Підгорний М.В., Бойко В.В. Застосування інформаційної технології в системних дослідженнях процесів управління безпечним рухом автотранспортних засобів. *Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів*. Миколаїв: ТОВ «МПРО», 2018. С.50-54.
2. Тимченко А.А., Бойко В.В., Скоробрещук В.В. Аналітичний огляд задач та методів побудови моделей складних систем. *Індуктивне моделювання складних систем*. К.: Міжнар. ННЦ інформ. технологій та систем, 2010. – Вип. 2. С. 247–256.
3. Пухов Г.Е., Жук К.Д. Синтез многосвязных систем управления по методу обратных операторов: Институт кибернетики АН УССР, – К.:1966. – 219с.
4. Підгорний М.В., Бойко В.В., Лук'янченко О.М. Вирішення завдання керування розвантаженням системи електропостачання автомобіля. *Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів*. К.: НТУ, 2022. С. 165–168.
5. Снитюк В.С. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми: Навчальний посібник. – К.: «Маклаут», 2008. – 364 с.
6. Бойчук Л.М. Структурный синтез автоматических многоуровневых систем функционального управления динамическими объектами: Препринт 74-23. – К.: изд. Ин-та кибернетики АН УССР, 1974. – 64 с.

Received (Надійшла) 17.01.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.02.2023

## Information technology of system studies of safe vehicle traffic management processes

V. Boyko, M. Pidgorny

**Abstract.** The article is devoted to the substantiation and use of system information technology of building an effective method for solving the problems of managing the safe movement of motor vehicles. Constructions of complex control systems in the general scientific content reflect the relationship "part-whole" and "goal-means". Such a system is defined by a set of elements together with a set of connections between these elements. Using the software complex in the form of the "Factor" application program package, the problem was considered and parametric identification of a three-link dynamic system was carried out, which describes the dynamics of the vehicle as a control object. The integration of information technology provides an increase in the operational reliability of vehicles. This information technology makes it possible to consider the process of managing the safe movement of motor vehicles at the system level, as well as to consider the management process from the point of view of systemicity.

**Keywords:** technology, structure, dynamic controlled system, task, method, controls.