

С. Ф. Чалий, В. О. Лещинський, І. О. Лещинська

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

## КОНЦЕПЦІЯ ФОРМУВАННЯ ПОЯСНЕНЬ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЗА ПРИНЦИПОМ БІЛОГО ЯЩИКУ

**Предметом** вивчення в статті є процеси формування пояснень в рекомендаційних системах. **Метою** є розробка концептуальної моделі формування пояснень в рекомендаційних системах за принципом білого ящика з тим, щоб користувач такої системи міг отримати пояснення щодо послідовності формування рекомендацій з урахуванням можливостей рекомендаційної системи. **Завдання:** виділити базові характеристики пояснень в інтелектуальних системах; розробити концептуальну схему побудови пояснень за структурним принципом; розробити концептуальну модель формування пояснень за принципом білого ящика. Використовуваними **принципами** є: структурний, або принцип білого ящика та функціональний, або принцип чорного ящика. Отримані наступні **результати**. Виділено базові характеристики пояснень в інтелектуальних системах, що дає можливість сформулювати пояснення при виведенні результату за принципом білого ящика та пояснення для інтерпретації отриманого результату за принципом чорного ящика. Розроблено концептуальну схему побудови пояснень, що зв'язує обмеження й умови вибору користувача із рейтинговим переліком товарів та послуг. Розроблено концептуальну модель формування пояснень за принципом білого ящика. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному. Запропоновано концептуальну модель побудови рекомендацій за принципом білого ящика, що враховує структурні обмеження та умови побудови рекомендацій. Обмеження визначаються через категорії та властивості об'єктів, а також через характеристики користувача. Умови задаються через послідовність взаємодії користувача із рекомендаційною системою, а також через результат вибору схожих користувачів. Модель забезпечує можливість формування загальної схеми побудови пояснень. Така схема дає можливість збільшити довіру користувача до отриманих рекомендацій за рахунок відображення послідовності побудови роботи рейтингового переліку товарів рекомендаційною системою.

**Ключові слова:** рекомендаційні системи, системи електронної комерції, пояснення; контекст прийняття рішення, формування рекомендацій, формування пояснень.

### Вступ

Рекомендаційні системи функціонують автономно або у складі систем електронної комерції та призначені для побудови списку товарів та послуг, що відповідають інтересам поточного користувача [1]. Загальна ідея побудови рекомендацій полягає у визначеності схожості товарів або користувачів та формування переліку товарів з аналогічними властивостями або переліку товарів, що є цікавими для схожих користувачів.

В якості вхідних даних для побудови рекомендацій використовуються рейтинги товарів, які формує користувач системи електронної комерції, або інформація про вибір споживачем тих чи інших товарів [2]. До рекомендованого персоналізованого переліку включаються товари зі схожими характеристиками та з високими рейтингами, або такі, що мають великий попит у схожих користувачів, вносяться. Така персоналізація пропозицій для конкретного споживача дає йому можливість спростити пошук важливих для нього об'єктів і, як наслідок, збільшує об'єми продажів у відповідній системі електронної комерції. Вказана перевага привела до широкого застосування рекомендаційних систем у сфері відео [3], на платформах продажу товарів онлайн [4], у готельному бізнесі [5, 6], тощо.

Однак на сьогодні при використанні рекомендаційних систем виникає проблема побудови рекомендованого переліку об'єктів у випадку неповноти або неточності інформації про вибір існуючих користувачів таких систем. Використання неточної інформації приводить до побудови не релевантних пропозицій товарів та послуг.

Така проблеми зазвичай виникає як при побудові рекомендацій для нових користувачів, так і у випадку штучного спотворення рейтингу товарів. Рекомендаційна система зазвичай не має інформації, або має мінімум інформації про покупки нових користувачів. Штучне спотворення даних про популярність товарів та послуг використовується злоумисниками з метою просування важливих для них об'єктів [7]. Отримані в результаті рекомендації не будуть відповідати інтересам користувача рекомендаційної системи.

Для вирішення цієї проблеми та формування релевантних рекомендацій такій ситуації використовуються пояснення, що описують спосіб отримання представлених рекомендацій. Пояснення дозволяють користувачеві краще зрозуміти, чи відповідають їхнім потребам товари із рекомендованого переліку [8]. Результатом використання рекомендацій є довіра і подальша лояльність споживача до системи електронної комерції [9], що дозволяє збільшити продажі на великих інтервалах часу. Існуючі підходи до побудови пояснень в системах електронної комерції базуються на методах побудови пояснень в експертних системах та набули інтенсивного розвитку протягом останніх десяти років [10].

В рамках запропонованих підходів виділені та деталізовані критерії оцінки пояснень [10], запропоновано враховувати прецеденти та обмеження при побудові пояснень [11]. Тобто показано, що пояснення є контекстно-орієнтованими але загальна концепція побудови пояснень в рекомендаційних системах з урахуванням контекстних обмежень потребує подальших досліджень. Перший крок розробки цієї концепції полягає у формалізації загаль-

ної схеми формування пояснень, що і свідчить про актуальність тематики даної статті.

**Метою статті є** розробка концептуальної моделі формування пояснень в рекомендаційних системах за принципом білого ящика. Така модель повинна зв'язати умови, результат та обмеження вибору користувача. Користувач має отримати пояснення щодо послідовності формування рекомендацій з урахуванням можливостей рекомендаційної системи. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі задачі: виділити базові характеристики пояснень в інтелектуальних системах; розробити концептуальну схему побудови пояснень за структурним принципом; розробити концептуальну модель формування пояснень за принципом білого ящика.

### Концептуальна модель формування пояснень за принципом білого ящика

Запропонована модель формування пояснень в рекомендаційній системі використовує базові характеристики пояснень в інтелектуальних системах.

Пояснення в інтелектуальних системах згідно особливостей їх функціонування можуть бути сформовані в таких ситуаціях: у процесі логічного виведення; у процесі інтерпретації результату роботи інтелектуальної системи [12]. Характеристики пояснень у таких ситуаціях представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Базові характеристики пояснень в інтелектуальній системі

Характеристики пояснення	Пояснення при виведенні результату	Пояснення для інтерпретації отриманого результату
Мета	Встановити, як отримано поточний результат	Виявити, чому отримано даний результат в інтелектуальній системі
Вхідні дані та умови формування	Залежності, що були використані при виведенні результату	Факти (події, об'єкти, тощо), що були використані для отримання результату в інтелектуальній системі
Результат	Підтвердження/відхилення гіпотези, яка була використана у процесі виведення	Відповідь на питання: чому дана множина фактів була використана для отримання результату в інтелектуальній системі

В першому випадку пояснення розглядається як частина процесів пошуку інформації й виведення результатів. Головна роль пояснення полягає у підтвердженні або відхиленні гіпотези, що є основою для процесу виведення. Іншими словами, пояснення дає можливість виявити: як було отримано даний висновок (або рекомендацію).

В другому випадку пояснення обумовлює спосіб використання результатів виведення. Пояснення дозволяє обґрунтувати отриманий результат або спосіб його використання. Тобто: чому, на основі яких фактів було отримано такий висновок, або чому ці факти потрібні для отримання відповідної рекомендації. В даному випадку різні варіанти використання стають зрозумілими для кінцевого користувача інтелектуальної системи.

Наведені характеристики пояснень свідчать про те, що у загальному випадку для їх побудови можуть бути використані адаптовані принципи білого та чорного ящиків, які широко застосовуються при тестуванні програмного забезпечення.

Згідно принципу білого ящика, при тестуванні враховується внутрішня структура програмної системи. Принцип чорного ящика базується на виділенні зв'язків: «входи - реакція системи» без врахування її внутрішньої структури. Принцип білого ящика також називають структурним, а принцип чорного ящика – функціональним. Відповідно для того, щоб отримати пояснення у процесі логічного виведення, доцільно використовувати принцип білого ящика, а для формування пояснень, що інтерпретують отриманий результат – принцип чорного ящика. Адаптація цих принципів до розробленої концепції побудови пояснень в рекомендаційній системі полягає у використанні інформації про об'єкти, тобто про товари та послуги, а також про користувача, й предметну область. Інформація про об'єкти та користувача відображає контекст вибору [13, 14] в рекомендаційній системі та представляється у такий спосіб:

- категоризація товарів та послуг за їх функціональними властивостями з точки зору користувача;
- інформація про якісні та кількісні характеристики товарів та послуг, що пропонуються рекомендаційною системою.

Користувач у рекомендаційній системі характеризується такими даними:

- персональні дані, що вводяться до системи при реєстрації; до таких даних зазвичай належать: ім'я, адреса, номер телефону, стать;
- інформація про поведінку користувача в рекомендаційній системі та пов'язаній системі електронної комерції, зокрема дані про переглянуті сторінки, кліки на цих сторінках, вибір фільтрів по характеристикам товарів та послуг;
- явний зворотний зв'язок у вигляді рейтингів, що користувач виставляє товарам та послугам;
- неявний зворотний зв'язок у вигляді інформації про покупки товарів користувачем.

Додаткова інформація та знання з предметної області характеризують рекомендаційну систему в цілому, товари, а також поведінку користувача. До такої інформації віднесемо наступні складові:

- перелік та характеристики функцій рекомендаційної системи;
- наукові концепції та моделі у предметній області, які пов'язані із способом використання запропонованих товарів та послуг;
- загальні особливості людської поведінки, що впливають на мотивацію користувача при виборі товарів та послуг.

Концептуальна схема побудови пояснень за принципом білого ящика враховує розглянуту структуру інформації про об'єкти та користувача в рекомендаційній системі. Дана схема представлена на рис. 1. Розглянемо обґрунтування цієї схеми.

Існуючі функції рекомендаційної системи визначають можливості виділити залежності, що були використані при побудові рекомендацій. Так, якщо

система не фіксує перехід користувача по сторінкам сайту електронної комерції, то історія його пошуків не може бути використана для побудови пояснень.

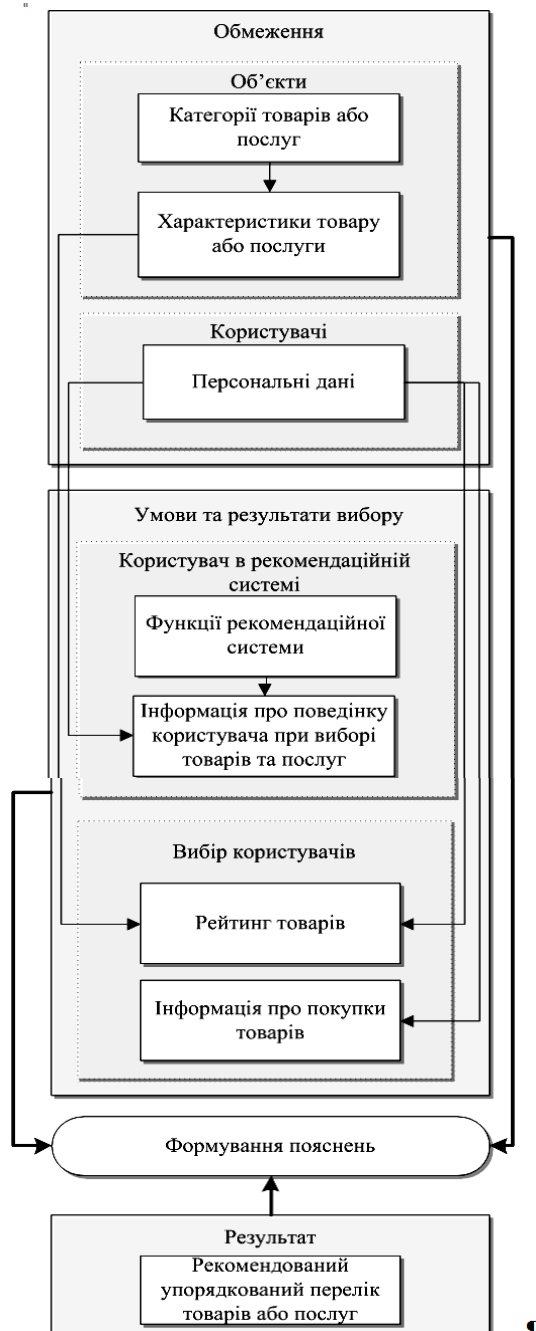


Рис. 1. Концептуальна схема побудови пояснень за принципом білого ящика

Концепції використання об'єктів у предметній області доповнюють характеристики товарів та послуг та дозволяють знайти такий зв'язок між вибором користувача та властивостями об'єктів його інтересу, який не може бути виявлений на основі аналізу характеристик товарів, характеристик споживача, а також бази покупок та виставлених користувачем рейтингів.

Розглянемо приклад такого зв'язку при виборі додаткових опцій зі схожими характеристиками для автомобіля. Наприклад, при реалізації опції попередження про перешкоди при паркуванні можуть бути використані ультразвукові датчики або камера. Ви-

бір опції залежить як від її вартості, так і від концепції подальшого застосування. Якщо планується приєднати причеп до авто, то ультразвукові датчики не будуть функціонувати коректно та встановлювати відстань до перешкоди. Загальні особливості людської поведінки дають можливість виявити вплив зовнішніх факторів на вибір користувача. Наприклад, при виборі одягу важливими є сезонний фактор, а також місце розміщення споживача.

Адаптований принцип білого ящика полягає у використанні моделей предметної області, моделей поведінки користувача та моделей рекомендаційної системи для побудови пояснень. Такі моделі дають можливість встановити зв'язок між вибором користувача та характеристиками товарів та послуг.

В цілому вказані моделі задають обмеження на вибір користувача. Моделі предметної області обмежують вибір користувача за рахунок способу використання товарів та послуг. Модель поведінки користувача в рамках рекомендаційної системи задає типові схеми вибору з урахуванням категорій товарів та їх розміщення на сторінках системи електронної комерції. Модель рекомендаційної системи охоплює її функції та задає обмеження на поведінку користувача.

Згідно схеми на рис. 1, при побудові пояснень щодо рекомендованого переліку товарів або послуг за структурним принципом в якості обмежень використовуються статичні на визначеному інтервалі часу характеристики товарів та дані користувача. Обмеження по категоріям та характеристикам товарів дає можливість не враховувати товари з іншими характеристиками та враховувати користувачів зі схожими персональними даними. Це дає можливість знизити розмірність задачі формування пояснень.

Умови вибору користувача відображають його поведінку з урахуванням екранних форм, які він використовує. Записи поведінки користувача дають можливість побудувати процесну або ситуаційну модель його вибору. Така модель відображає зв'язок вибору користувача з характеристиками товарів, його даними, а також із функціями рекомендаційної системи (або відповідної системи електронної комерції). Для побудови даної моделі на основі аналізу логів поведінки користувача зазвичай використовують методи інтелектуального аналізу процесів [15].

Зазначимо, що аналіз зв'язку вибору із функціями рекомендаційної системи дає можливість врахувати вплив її інтерфейсу на перелік відібраних об'єктів. В подальшому модель такого впливу може бути використана для удосконалення архітектури, функцій та інтерфейсу рекомендаційної системи.

Концептуальна модель  $W$  побудови пояснень в рекомендаційній системі за принципом білого ящика задає відображення умов  $S$  вибору користувача на рекомендований перелік  $R$  товарів та послуг з урахуванням обмежень вибору  $C$ . Дана модель має такий вигляд:

$$W : S \rightarrow R | C. \quad (1)$$

Обмеження  $C$  поєднує обмеження по характеристиках товарів  $C_g$  та по даним користувача  $C_u$ :

$$C = C_g \wedge C_u. \quad (2)$$

Для кожного товару  $g_i$  обмеження по характеристикам товарів  $C_{g_i}$  задаються через їх належність до певної категорії  $G^*$ , а також через значення їх властивостей. Тобто значення  $\gamma_i^j$  властивості  $j$  для товару  $g_i$  має належати до множини допустимих значень  $\Gamma^j$ :

$$\forall g_i = \{\gamma_i^j\} C_{g_i} = C_{g_i}^* \wedge C_{g_i}^{**}, \quad C_{g_i}^* = \text{true iff } g_i \in G^*, \quad (3)$$

$$C_{g_i}^{**} = \text{true iff } \forall i, j \gamma_i^j \in \Gamma^j.$$

Типову реалізацію обох обмежень на прикладі сайту elmir.ua наведено на рис. 2.



Рис. 2. Типова реалізація обмежень по категоріях об'єктів

Обмеження по користувачах задаються через схожі характеристики цих користувачів:

$$\forall u_k = \{\beta_k^l\} C_{u_k} = \text{true iff } \forall k, l \beta_k^l \in B^l, \quad (4)$$

де  $u_k$  – користувач;  $\beta_k^l$  – значення характеристики  $l$  користувача  $u_k$ ;  $B^l$  – множина допустимих значень характеристики  $l$ .

Отримана рекомендація має вигляд упорядкованого за важливістю для користувача переліку товарів або послуг:

$$R = \langle (g_1, r_1), \dots, (g_i, r_i), \dots, (g_l, r_l) : \forall i > 1 r_i > r_{i-1} \rangle, \quad (5)$$

де  $r_i$  – рейтинг товару  $g_i$ .

Умови  $S$  вибору користувача мають статичну та динамічну складову:

$$S = \{S_{dn}, S_{st}\}, \quad (6)$$

де  $S_{dn}$  – динамічна складова умов вибору користувачів, що відображається у вигляді послідовностей їх взаємодії з рекомендаційною системою;  $S_{st}$  – статична складова умов, що відображає результати вибору користувачів. Динамічна складова має вигляд послідовності подій. Кожна з цих подій фіксує

одну дію, яку виконав користувач рекомендаційної системи.

$$S_{dn} = \langle (d_1, f_1), \dots, (d_M, f_k) : f_i, f_j, f_k \in F \rangle, \quad (7)$$

де  $d_m$  – подія, що відповідає дії користувача;  $f_k$  – функція рекомендаційної системи.

Прикладами дій користувача є: вибір категорії товару; відбір товарів з потрібними властивостями шляхом кліків мишою (рис. 2). Статична складова представляється у двох формах: рейтинг або покупка. Рейтинг відображає явний зворотний зв'язок від користувача. Його перевага полягає в тому, що рейтинг зазвичай виставляється в балах і має декілька градацій. Але рейтинг не завжди є об'єктивним. Іноді він фальсифікується. Така ситуація зазвичай виникає при спробі збільшити продажі конкретного товару. При формуванні пояснень необхідно враховувати, що при формуванні рекомендацій використовуються товари з близькими рейтингами, а також покупки користувачів зі схожими персональними даними. Дані про покупки зазвичай трудно фальсифікувати. Однак в більшості випадків вони не мають градацій. Тобто використовується лише інформація про те, що було куплено одиницю товару.

## Висновки

Запропоновано концептуальну модель побудови рекомендацій за принципом білого ящика. Модель враховує обмеження та умови побудови рекомендацій, а також результуючий рекомендований список товарів та послуг. Обмеження задаються через категорії та властивості товарів та послуг, а також через характеристики користувача. Умови мають статичну й динамічну складові. Динамічна складова задається через послідовність взаємодії користувача із рекомендаційною системою. Статична складова задається через результат вибору схожих користувачів. Такий результат представлений рейтингами або покупками товарів та послуг.

В практичному сенсі дана модель задає загальну схему побудови пояснень, що показують користувачеві послідовність роботи рекомендаційної системи при побудові рейтингового переліку товарів та послуг. Також модель встановлює зв'язок між вхідними даними, що дає можливість визначити обмеження для відповідних методів побудови пояснень.

## REFERENCES

1. Adomavicius G. and Tuzhilin A. (2005), "Towards the Next Generation of Recommender Systems" A Survey of the State-of-the-Art and Possible Extensions, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, No. 17, pp. 634–749.
2. C. Aggarwal "Recommender Systems: The Textbook", New York: Springer, 2017, 498 p.
3. Bennet J. and Lanning S. (2007) "The Netflix Prize", Proceedings of KDD cup and workshop, available at : <http://www.netflixprize.com> (last accessed May 28, 2019).
4. Linden G., Smith B. and York J. (2003), "Amazon.com recommendations: Item-to-item collaborative filtering", Internet Computing, IEEE 7, 1, pp. 76–80.
5. Saga, R., Hayashi, Y., and Tsuji, H. (2008), Hotel Recommender System based on User's Preference Transition, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE/SMC 2008), 2437- 2442.
6. Jannach D., Gedikli F., Karakaya Z., Juwig O. (2012) Recommending Hotels based on Multi-Dimensional Customer Ratings. In: Fuchs M., Ricci F., Cantoni L. (eds) Inf. and Communication Technologies in Tourism 2012. Springer, Vienna, pp. 320-331.
7. I. Shilling "Attack detection for recommender systems based on credibility of group users and rating time series", <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196533> [Published: May 9, 2018].
8. S. Cleger-Tamayo, J. M. Fernandez-Luna, J. F Huete (2012) "Explaining neighborhood-based recommendations", In The 35th International ACM SIGIR conf. on Research and development in information retrieval, ACM, 2012, pp. 1063–1064.

9. N. Tintarev, J. Masthoff "Evaluating the effectiveness of explanations for recommender systems", in User Modeling and User-Adapted Interaction, 2012, № 22(4), pp.399–439.
10. N Tintarev, J Masthoff (2007). A Survey of Explanations in Recommender Systems. In G Uchuyigit (ed), Workshop on Recommender Systems and Intelligent User Interfaces associated with ICDE'07, pp. 801-810.
11. Cunningham, P., Doyle, D., Loughrey, J. (2003) An Evaluation of the Usefulness of Case-Based Reasoning Explanation. In: Case-Based Reasoning Research and Development: Proce. ICCBR. Nu. 2689 in LNAI, Trondheim, Springer, pp. 122–130.
12. Aamodt, A. (1991). A Knowledge-Intensive, Integrated Approach to Problem Solving and Sustained Learning. Ph.D. thesis, Norwegian Institute of Technology, Department of Computer Science, Trondheim, available at <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.141.503&rep=rep1&type=pdf>, (last accessed May 28, 2019).
13. Чалый С.Ф., Лещинський В.О., Лещинська І.О. (2018). Моделювання контексту в рекомендаційних системах. Проблеми інформаційних технологій, 1(023), 21-26.
14. Чалый С.Ф., Лещинський В.О., Лещинська І.О. (2018). Інтеграція локальних контекстів споживачів в рекомендаційних системах на основі відношень еквівалентності, схожості та сумісності. Process mining Materials of the VII International Scientific Conference «Information-Control System and Technologies», 142-144.
15. Чалый С.Ф., Прибильнова І.Б. (2017). Побудова ситуаційного представлення знань на основі аналізу логів. Вісник НТУ "ХПИ". Серія : Системний аналіз, управління та інформаційні технології, 28(1250), 70-73.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 22.03.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.05.2019

### Концепция формирования объяснений в рекомендательных системах по принципу белого ящика

С. Ф. Чалый, В. А. Лещинский, И. А. Лещинская

**Предметом** изучения в статье являются процессы формирования объяснений в рекомендательных системах. **Целью** является разработка концептуальной модели формирования объяснений в рекомендательных системах по принципу белого ящика с тем, чтобы пользователь такой системы мог получить пояснение для последовательности формирования рекомендаций с учетом возможностей рекомендательной системы. **Задачи:** выделить базовые характеристики объяснений в интеллектуальных системах; разработать концептуальную схему построения объяснений по структурному принципу; разработать концептуальную модель формирования объяснений по принципу белого ящика. Используемыми **принципами** являются: структурный, или принцип белого ящика и функциональный, или принцип черного ящика. Получены следующие **результаты**. Выделены базовые характеристики объяснений в интеллектуальных системах, что дает возможность сформировать объяснения при выводе результата по принципу белого ящика и объяснения для интерпретации полученного результата по принципу черного ящика. Разработана концептуальная схема построения объяснений, которая связывает ограничения и условия выбора пользователя с рейтинговым списком товаров и услуг. Разработана концептуальная модель формирования объяснений по принципу белого ящика. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем. Предложена концептуальная модель построения рекомендаций по принципу белого ящика, учитывающая структурные ограничения и условия построения рекомендаций. Ограничения определяются через категории и свойства объектов, а также через характеристики пользователя. Условия задаются через последовательность взаимодействия пользователя с рекомендательной системой, а также по результатам выбора похожих пользователей. Разработанная модель обеспечивает возможность формирования общей схемы построения объяснений. Такая схема дает возможность увеличить доверие пользователя к полученным рекомендациям за счет пояснения последовательности построения работы рейтингового перечня товаров рекомендательной системой.

**Ключевые слова:** рекомендательные системы, системы электронной коммерции, объяснение; контекст принятия решений, формирование рекомендаций, формирования объяснений.

### The concept of Designing explanations in the recommender systems based on the white box

Chalyi, V. Leshchynskiy, I. Leshchynska

The **subject matter** of the article is the processes of formation of explanations in the recommender systems. The **goal** is to develop a conceptual model for forming explanations in the recommendation systems on the basis of the white box, so that the user of such a system could get an explanation for the sequence of the formation of recommendations, taking into account the capabilities of the advisory system. **Tasks:** to highlight the basic characteristics of explanations in intelligent systems; to develop a conceptual scheme for constructing explanations according to a structural principle; to develop a conceptual model for forming explanations based on the principle of a white box. The **principles** used are: structural or the principle of a white box and functional, or the principle of a black box. The following **results** are obtained. The basic characteristics of explanations in intelligent systems are given, which gives the opportunity to formulate explanations for outputting the result on the principle of a white box and an explanation for interpreting the resulting result on the basis of the black box. The conceptual scheme of construction of explanations is developed, which links the constraints and conditions of the choice of the user with the rating list of goods and services. The conceptual model of explanation formation based on the principle of a white box is developed. **Conclusions.** Scientific novelty of the results is as follows. A conceptual model for constructing recommendations based on the principle of a white box is proposed, taking into account structural constraints and the conditions for constructing recommendations. Restrictions are determined by the categories and properties of the objects, as well as by the characteristics of the user. The conditions are set through the sequence of interaction of the user with the advisory system, as well as the results of the selection of similar users. The developed model provides the opportunity to formulate a general scheme for constructing explanations. Such a scheme provides an opportunity to increase the user's trust in the recommendations received by explaining the sequence of construction of the rating list of goods by the recommender system.

**Keywords:** recommender systems, e-commerce systems, explanation; the context of decision-making, the formation of recommendations, the formation of explanations.