

С. Ф. Чалий, І. Б. Прібильнова

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

СИТУАЦІЙНА МОДЕЛЬ КОРИСТУВАЦЬКОГО ВИБОРУ В РЕКОМЕНДАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

Предметом вивчення в статті є процеси побудови рекомендацій споживачами щодо вибору товарів та послуг, які реалізуються в рекомендаційних системах на основі врахування вибору схожих користувачів та відповідних властивостей товарів. Особливість таких процесів, полягає в тому, що при побудові рекомендацій враховуються інтереси схожих користувачів, але недостатньо уваги приділяється зміні патернів поведінки таких користувачів з часом. **Мета** полягає в розробці ситуаційного представлення користувацького вибору у вигляді багат шарового графу, кожний шар якого відображає об'єкту складову, а послідовність шарів – часову складову ситуації, що дозволяє врахувати зміни об'єктів інтересу споживачів. **Задачі:** виділити особливості вибору об'єктів користувачами рекомендаційних систем з урахуванням явного та зворотного неявного зв'язку; розробити ситуаційну модель користувацького вибору, що враховує зміни інтересів споживачів. **Методами**, що використовуються, є: методи побудови рекомендацій щодо вибору товарів та послуг на основі колаборативної фільтрації, методи побудови рекомендацій на основі контентної фільтрації. Отримані такі **результати**. Виділені особливості графового представлення взаємодії «користувач-об'єкт» з урахуванням об'єктного та часового аспектів в рекомендаційних системах. Розроблено графову багат шарову ситуаційну модель користувацького вибору, яка враховує зміну потреб у виборі товарів та послуг у часовому аспекті. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: Запропоновано ситуаційну модель користувацького вибору в рекомендаційній системі у вигляді багат шарового графу. Кожен шар моделі задається дводольним графом, вершини якого відповідають користувачам та об'єктам їх інтересу. Такий шар відображає зв'язок між користувачами та об'єктами на визначеному інтервалі часу. Ваги дуг графу відображають кількість вибраних користувачами об'єктів або рейтингову оцінку цих об'єктів для неявного або явного зворотного зв'язку відповідно. Послідовність шарів графу визначає зміну вподобань споживачів з часом. Зв'язки між шарами графу задаються через зв'язки між відповідними споживачами. Запропонована модель користувацького вибору дає можливість виділити ситуацію, в якій був здійснений вибір споживачами, схожими на поточного користувача рекомендаційної системи. Така ситуація характеризується підмножиною пар «користувач-об'єкт». Відібрана підмножина пар в подальшому може бути використана для проведення колаборативної фільтрації, що дає можливість підвищити точність рекомендацій на основі врахування зміни інтересів споживачів у часі.

Ключові слова: рекомендаційна система, рекомендації на основі контенту, рекомендації на основі близькості користувачів, багат шаровий граф.

Вступ

Рекомендаційні системи забезпечують підтримку рішень користувача у комплексному інформаційному середовищі. Вони використовуються в першу чергу в системах електронної комерції [1] для того, щоб спростити споживачеві вибір товарів та послуг згідно їх інтересів та побажань з урахуванням обмежень персональних знань споживачів щодо цих товарів [2].

Такі системи оперують із двома категоріями сутностей: користувач та об'єкт [3]. Користувачі отримують рекомендації та представляють вхідні дані (наприклад, рейтинги товарів) для побудови цих рекомендацій.

Об'єкти визначаються в залежності від предметної області. В якості об'єктів можуть розглядатися товари, фільми, конференції, сайти, тощо. Об'єкти можуть бути складеними та відповідати групам товарів та послуг.

В залежності від наявної інформації про користувачів та об'єкти та з урахуванням особливостей предметної області для побудови рекомендацій використовують два базових підходи: відбір об'єктів на основі схожості споживачів або на основі схожості характеристик цих об'єктів [4].

В першому випадку застосовуються модифікації алгоритму колаборативної фільтрації [5]. Сутність такої фільтрації полягає у виявленні латентних фак-

торів, що пов'язують користувача та вибрані ним об'єкти. Отримані фактори використовуються для пошуку схожих споживачів та побудови рекомендацій на основі інформації про їх вибір.

Другий підхід базується на фільтрації контенту. В даному випадку відбір об'єктів виконується на основі схожості їх характеристик [5, 6]. В якості рекомендації клієнт отримує перелік об'єктів, що мають схожі характеристики з об'єктами, які він вибирав раніше.

Перелік характеристик цих об'єктів залежить від предметної області. Наприклад, при відборі фільмів враховуються імена акторів, режисерів, жанр, тощо.

В рамках таких підходів визначається залежність між об'єктами або користувачами. Для побудови такої залежності необхідно попередньо відібрати схожих споживачів та об'єкти, що потребує розробки відповідних моделей та методів.

Недоліки існуючих підходів пов'язані із тим, що вони узагальнюють як поведінку користувачів, так властивостей об'єктів. Однак поведінка користувачів може бути нетиповою і, як і властивості об'єктів, змінюється з часом]. Наприклад, інтерес користувача до тих чи інших об'єктів може змінюватись в залежності від його матеріального стану, властивості аналогічних товарів змінюються при виході нових моделей [7]. Нетиповою також є поведінка нових користувачів, внаслідок відсутньої або недостатньої

інформації про ситуації, в яких вони вибирали об'єкти [5].

Зазначене свідчить про те, що при побудові рекомендацій необхідно враховувати контекст вибору споживачів [8]. Останній визначає ситуацію, в якій було зроблено вибір тих чи інших об'єктів. Ситуація характеризується як поточними інтересами користувачів, такі поточними властивостями об'єктів.

Таким чином, проблема використання ситуаційних моделей для підвищення точності рекомендацій щодо об'єктів інтересу споживачів є актуальною.

Метою статті є розробка ситуаційного представлення користувацького вибору у вигляді багатопарового графу, кожний шар якого відображає об'єкту складову, а послідовність шарів – зміни вибору об'єктів користувачами у часі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- виділити особливості вибору об'єктів користувачами рекомендаційних систем з урахуванням явного та неявного зв'язку;
- розробити ситуаційну модель користувацького вибору у вигляді багатопарового графу, що дозволяє врахувати зміни споживацьких інтересів.

Ситуаційна модель користувацького вибору

Запропонована ситуаційна модель базується на ідеї багатоаспектного опису умов прийняття та реалізації рішень [9, 10].

Кожна ситуація вибору споживача може бути розглянута у аспекті схожості характеристик товару, які вибирає споживач, а також у аспекті схожості споживачів.

В даній роботі розглядається user-based модель вибору споживача.

Ситуаційна модель вибору споживача має вигляд багатопарового дводольного графу. Кожен шар задає зв'язок між користувачами та об'єктами на визначеному інтервалі часу. Послідовність шарів визначає зміни інтересів користувачів з часом.

Вершини кожного шару графу підрозділяються на дві підмножини: вершини $User_i^k$, що відповідають споживачам; вершини $Item_j^k$, що відповідають об'єктам інтересу цих споживачів.

Оскільки послідовність шарів задає поведінку споживача (в сенсі зміни рішень про вибір тих чи інших об'єктів з часом), то зв'язок шарів доцільно реалізувати через вершини $Item_j^k$, що відповідають об'єктам.

Слід зазначити, що для випадків постійного у часі вибору об'єктів споживачами зв'язок шарів може бути задано через вершини $User_i^k$. Така можливість може виникнути, наприклад, у випадку, якщо в якості користувача виступає підприємство, що закупляє значну кількість товарів.

У кожному шарі графу задаються зв'язки між користувачами та об'єктами. Типи дуг шару залежать від типу зворотного зв'язку (явного або неявного) в рекомендаційній системі.

Явний зворотний зв'язок означає, що користувач виставляє оцінку для об'єктів.

Неявний зв'язок задається через вибір споживача.

Наприклад, в результаті вибору користувачем конкретного товару встановлюється неявний зв'язок між цим користувачем та товаром.

Зазначимо, що при побудові рекомендацій доцільно враховувати як явний, так і неявний зворотний зв'язок.

З одного боку, явний зв'язок дає можливість більш точно оцінити об'єкт на основі значення рейтингу.

З іншого боку, рейтинг не завжди відповідає справжнім інтересам користувача. Зокрема, відомі випадки шахрайства при присвоєнні рейтингу товарам. Мета такого шахрайства полягає в просуванні товарів окремих виробників. Такі випадки повинні відфільтровуватись рекомендаційною системою. Це можна зробити з урахуванням неявного зворотного зв'язку.

Неявний зворотний зв'язок є менш інформативним, але більш релевантним порівняно з явним. Він виникає при покупці тих чи інших товарів. Тобто з одного боку його релевантність підтверджується фактом витрачання коштів споживачем.

З іншого боку, для такого зв'язку відсутня рейтингова деталізація привабливості об'єкту, має місце лише бінарна оцінка «купив - немає інтересу».

Тому у випадку неявного зворотного зв'язку можна додатково враховувати ті сторінки з інформацією про об'єкти (товари), а також про категорії або групи цих товарів, які переглядав користувач.

На основі розглянутих властивостей явного та неявного зворотних зв'язків в рекомендаційних системах доцільно виділити такі типи дуг між вершинами $User_i^k$ та $Item_j^k$ у кожному шарі графової ситуаційної моделі користувацького вибору:

– $Rating_{ij}^k$ у випадку явного зворотного зв'язку, тобто при наявності оцінки споживача для конкретного об'єкту;

– $Quantity_{ij}$, тобто кількість покупок об'єктів користувачем у випадку неявного зворотного зв'язку.

Зазначимо, що у даному випадку для неявного зворотного зв'язку ми не розглядаємо відношення між вершинами $User_i^k$ та $Item_j^k$, що відповідають кількості переглядів сторінки з інформацією про товар, або групу товарів. Такі перегляди відображають послідовність пошуку потрібних об'єктів споживачем і тому вони не завжди завершуються покупкою.

З іншого боку, послідовність переглядів задає зв'язки між характеристиками об'єктів, які впливають на вибір споживача.

Такі зв'язки доцільно врахувати у item-based моделі вибору об'єктів.

Кожен шар графу містить інформацію про вибір споживачів на апріорно визначеному інтервалі часу,

наприклад за день або тиждень продажів. Узагальнену схему одного шару графу ситуаційної моделі наведено на рис. 1.

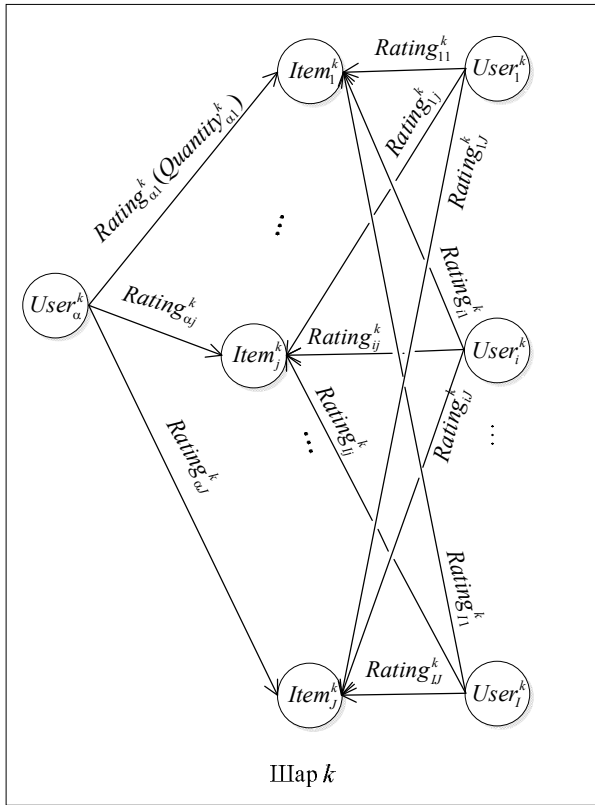


Рис. 1. Один шар ситуаційної графової моделі вибору користувача

Приклад одного шару ситуаційного графу для випадку з явним зворотнім зв'язком наведено на рис. 2.

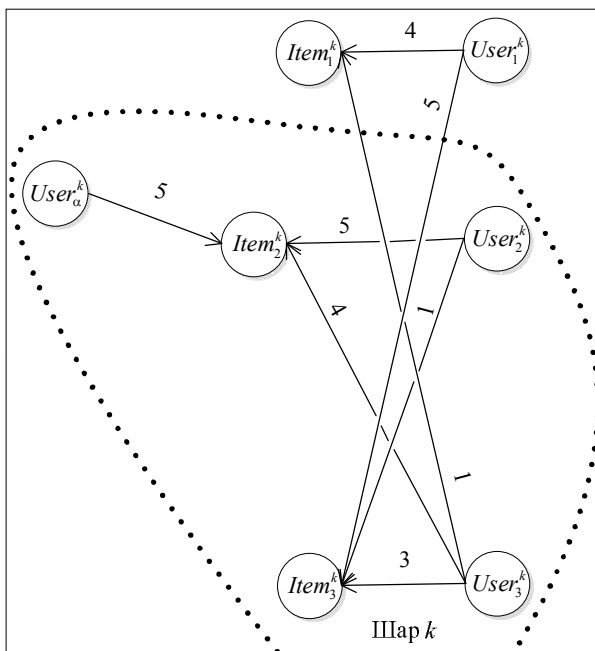


Рис. 2. Приклад одного шару ситуаційної графової моделі вибору користувача для випадку з явним зворотнім зв'язком

У даному прикладі вага дуг графу відповідає рейтингам об'єктів. Дуги з нульовим рейтингом на графі не представлені.

Із наведеного на рис. 2 прикладу видно, що користувач рекомендаційної системи $User_\alpha^k$ поставив рейтинг 5 об'єкту $Item_2^k$. Перший споживач не зацікавився цим об'єктом. Тому його інтереси не є схожими на інтереси користувача $User_\alpha^k$. Другий та третій споживачі оцінили об'єкт $Item_2^k$. Тобто їх вибір є схожим із вибором $User_\alpha^k$. Схожі користувачі відділені на рис. 2 за допомогою точкової лінії. Ці користувачі також оцінили об'єкти $Item_1^k$ та $Item_3^k$, які можуть бути в подальшому рекомендовані споживачеві $User_\alpha^k$.

Як видно з даного прикладу, для одного шару відбір схожих споживачів може бути виконаний за традиційно, за допомогою алгоритму колаборативної фільтрації.

Для врахування патернів зміни інтересів споживача використовується декілька шарів графу. Зв'язки між шарами графу задаються через зв'язки між об'єктами та в цілому відображають послідовність зміни уподобань для групи схожих користувачів. Вони задають динамічну складову ситуаційної моделі.

Багатшаровий граф, на якому базується ситуаційна модель, містить у собі множину вершин V , шарів K , а також дуг між вершинами одного шару E_V і вершинами декількох шарів E_V :

$$G = \{V, E_V, K, E_V\}. \quad (1)$$

Множина вершин графу для одного шару складається із підмножин користувачів $User$ та об'єктів $Item$:

$$V = \{User, Item\}.$$

Множина дуг одного шару відображає вибір користувача:

$$E_V \subseteq User \times Item.$$

Шари $k \in K$ графу зв'язані дугами, що поєднують ідентичні об'єкти за умови, що ці об'єкти були вибрані або оцінені користувачами. У випадку явного зворотного зв'язку множина дуг між шарами визначається таким чином:

$$E_V = \{Item_j^{k-1}, Item_j^k : \forall j \forall k \exists Rating_{ij}^k\}. \quad (2)$$

Багатшаровий граф (1) дає можливість описати ситуацію користувацького вибору споживача у вигляді множини пар «користувач - об'єкт», причому ці пари відбираються як в об'єктному аспекті для кожного шару графу, так і в часовому аспекті для послідовності шарів.

В результаті для побудови рекомендацій може бути використана лише підмножина об'єктів, що відповідає інтересам схожих споживачів на деякому

інтервалі часу. Останній задається підмножиною шарів, що характеризують ситуацію споживацького вибору.

Множина пар $G_\alpha \subseteq G$, що характеризує ситуацію вибору та використовується для побудови рекомендацій α – користувачеві у випадку явного зворотного зв'язку має вигляд:

$$G_\alpha = \left\{ \left(User_i^k, Item_j^k \right) \mid \exists m : \forall i \left| Rating_{im}^k - Rating_{\alpha m}^k \right| \leq \varepsilon \right\}, \quad (3)$$

де ε – максимально допустима відмінність між значеннями рейтингів для схожих користувачів.

Набір G_α на кожному k – шарі повинен задовольняти умові (4), що характеризує як об'єктний, так і часовий аспекти:

$$\forall k \forall j \ Rating_{ij}^k \geq Rating_{\alpha m}^k \mid \left| Rating_{ij}^k - Rating_{\alpha j}^{k-l} \right| \leq \phi, l = \overline{1, k-1}. \quad (4)$$

Дана умова по об'єктному аспекту визначає, що на кожному шарі відбираються лише ті $Item_j^k$, чий рейтинг не менший, ніж рейтинг $Rating_{\alpha m}^k$ користувача $User_\alpha^k$, що він виставив для спільного з іншими користувачами об'єкту.

По часовому аспекту для даного набору виконується умова безперервності рейтингів. Тобто відмінність більше ніж ϕ рейтингу на поточному k – му шарі від рейтингу на шарі $k-l$ свідчить про зміну інтересу користувачів. Це означає, що інтерес споживачів до j – го об'єкту почав формуватись на

шарі $k-l+1$. Тобто цей шар є першим шаром ситуації.

Оскільки кожен шар описує вибір споживачів на апіорно визначеному інтервалі, то шар $k-l+1$ відповідає першому інтервалу часу для ситуації споживацького вибору.

Слід зазначити, що аналогічний пошук може бути здійснено для декількох послідовностей шарів. Фізичний сенс такого пошуку пов'язаний із необхідністю видачі рекомендацій у випадку циклічної (наприклад, сезонної) зміни об'єктів інтересу споживачів.

Висновки

Запропоновано ситуаційну модель користувацького вибору в рекомендаційній системі у вигляді багатощарового графу.

Кожен шар моделі представлений дводольним графом, що визначає зв'язок між користувачами та об'єктами інтересу цих користувачів на визначеному інтервалі часу. Цей зв'язок відображає вибір об'єктів користувачами у випадку неявного зворотного зв'язку, або ж оцінку цих об'єктів у випадку явного зворотного зв'язку. Послідовність шарів графу задається за допомогою зв'язків між об'єктами та визначає зміну їх вподобань протягом часу.

Практична перевага розробленої моделі полягає в тому, що вона дає можливість виділити ситуацію вибору об'єктів інтересу користувачів з урахуванням як об'єктного, так і часового аспектів, що дає можливість динамічно змінювати рекомендований користувачеві перелік об'єктів з урахуванням змін вподобань у часі схожих на нього користувачів.

REFERENCES

1. Rashid A. M., Albert I., Cosley D., Lam S. K., Konstan J. A. (2002). Getting to know you: learning new user preferences in recommender systems. Proceedings of the international conference on intelligent user interfaces, 127–34.
2. Schafer J. B., Konstan J., Riedl J. (1999). Recommender system in ecommerce. Proceedings of the 1st ACM conference on electronic commerce, 158–66.
3. Konstan J. A., Riedl J. (2012). Recommender systems: from algorithms to user experience. User Model User-Adapt Interact, 22, 101–23. DOI 10.1007/s11257-011-9112-x.
4. Джонс Т. (2014). Рекомендательные системы: Часть 1. Введение в подходы и алгоритмы. Developer Works. Available at: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/os-recommender1/os-recommender1-pdf.pdf> (accessed 01.03.2019).
5. Aggarwal C. C. Recommender Systems: The Textbook. New York: Springer, 2017. 498 p.
6. Resnick P., Varian H.R. (1997). Recommender system's. Communications of the ACM, 40(3), 56–58.
7. Чалий С.Ф., Лещинський В.О., Лещинська І.О. (2018). Моделювання контексту в рекомендаційних системах. Проблеми інформаційних технологій, 1(023), 21-26.
8. Чалий 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.
9. Чалий С.Ф., Прибыльнова І.Б. (2017). Побудова ситуаційного представлення знань на основі аналізу логів. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія : Системний аналіз, управління та інформаційні технології, 28(1250), 70-73.
10. Чалий С. Ф., Прибыльнова И.Б. (2016). Событийно-ситуационное моделирование темпоральных зависимостей. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: Матеріали п'ятої міжнародної науково-технічної конференції, 35.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І. В. Шостак,
Національний аерокосмічний університет "імені М. С. Жуковського "ХАІ", Харків
Received (Надійшла) 18.02.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.03.2019

Ситуационная модель пользовательского выбора в рекомендательной системе

С. Ф. Чалый, И. Б. Прибыльнова

Предметом изучения в статье являются процессы построения рекомендаций потребителями по выбору товаров и услуг, которые реализуются в рекомендательных системах на основе учета выбора похожих пользователей и соответствующих свойств товаров. Особенность таких процессов, заключается в том, что при построении рекомендаций учитываются интересы похожих пользователей, но недостаточно внимания уделяется изменениям паттернов поведения таких пользователей со временем. **Цель** состоит в разработке ситуационного представления пользовательского выбора в виде многослойного графа, каждый слой которого отражает объектную составляющую, а последовательность слоев - временную составляющую ситуации, что позволяет учесть изменения объектов интереса потребителей. **Задачи:** выделить особенности выбора объектов пользователями рекомендательных систем с учетом явной и неявной обратной связи; разработать ситуационную модель пользовательского выбора, учитывающую изменения потребительских интересов. Используемыми **методами** являются: методы построения рекомендаций по выбору товаров и услуг на основе коллаборативной фильтрации, методы построения рекомендаций на основе контентной фильтрации. Получены следующие **результаты**. Выделены особенности графового представления взаимодействия «пользователь-объект» с учетом объектного и временного аспектов в рекомендательных системах. Разработана графовая многослойная ситуационная модель пользовательского выбора, учитывающая изменение потребностей в выборе товаров и услуг во времени. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: Предложена ситуационная модель пользовательского выбора в рекомендательной системе в виде многослойного графа. Каждый слой модели задается двудольным графом, вершины которого соответствуют пользователям и объектам их интереса. Такой слой отражает связь между пользователями и объектами на определенном интервале времени. Весы дуг графа отражают количество выбранных пользователями объектов или рейтинговую оценку этих объектов для неявной или явной обратной связи соответственно. Последовательность слоев графа определяет изменение предпочтений потребителей со временем. Связи между слоями графа задаются через связи между соответствующими объектами. Предложенная модель пользовательского выбора дает возможность выделить ситуацию, в которой был осуществлен выбор потребителями, похожими на текущего пользователя рекомендательной системы. Такая ситуация характеризуется подмножеством пар «пользователь-объект». Отобранное подмножество пар в дальнейшем может быть использовано для проведения коллаборативной фильтрации, что позволяет повысить точность рекомендаций на основе учета изменения интересов потребителей во времени.

Ключевые слова: рекомендательная система, рекомендации на основе контента, рекомендации на основе близости пользователей, многослойный граф.

Situation model of the user choice in the recommender system

S. Chalyi, I. Pribylnova

The **subject matter** of the article is the process of building recommendations by consumers on the choice of goods and services, which are implemented in recommender systems based on taking into account the choice of similar users and the corresponding properties of goods. The peculiarity of such processes is that when building recommendations, the interests of similar users are taken into account, but not enough attention is paid to changes in the patterns of behavior of such users over time. The **goal** is to develop a situational presentation of a user choice in the form of a multi-layer graph, each layer of which reflects an object component, and the sequence of layers is a temporary component of the situation, which allows to take into account changes in the objects of consumer interest. **Tasks:** detail the features of the choice of objects by users of recommender systems, taking into account explicit and implicit feedback; develop a situational model of user choice, taking into account changes in consumer interests. **The methods** used are: methods for building recommendations on the choice of goods and services based on collaborative filtering, methods for building recommendations based on content filtering. The following **results** are obtained. The features of the graph representation of the "user-object" interaction are highlighted, taking into account the object and time aspects in recommender systems. A graphical multi-layered situational model of user choice has been developed, taking into account the changing needs in the choice of goods and services over time. **Conclusions.** The scientific novelty of the results is as follows: A situational model of user choice in a recommender system in the form of a multilayer graph is proposed. Each layer of the model is defined by a bipartite graph whose vertices correspond to users and objects of their interest. This layer reflects the relationship between users and objects at a certain time interval. Scales of arcs of a graph reflect the number of objects selected by users or the rating of these objects for implicit or explicit feedback, respectively. The sequence of layers of the graph determines the change in consumer preferences over time. Relationships between the layers of the graph are set through the connections between the respective objects. The proposed model of user choice makes it possible to highlight the situation in which the choice was made by consumers similar to the current user of the recommender system. This situation is characterized by a subset of user-object pairs. The selected subset of pairs can later be used to conduct collaborative filtering, which improves the accuracy of recommendations based on taking into account changes in consumer interests over time.

Keywords: recommendation system, recommendations based on content, recommendations based on user proximity, multi-layered graph.