

3. *Vecherskaya S.E.* Upravlenie slozhnost'yu biznisa na operatsionnom urovne // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2016. Vyp. 3. S. 45–50.
4. *Vecherskaya S.E.* KPI v upravlenii effektivnost'yu nekommercheskoj organizatsii // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. Vyp. 4. S. 13–17.
5. *Vylegzhanina A.O.* CRM-sistemy: uchebnoe posobie. M.: Direkt-Media, 2016. 99 s.
6. *Efromeeva E.V., Lelaev M.I., Efromeev N.M.* Aktual'nost' vnedreniya CRM-sistem // Problemy Nauki. 2016. № 8 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnost-vnedreniya-crm-sistem-1> (data obrashcheniya: 06.05.2020).
7. *Ivanova O.V.* Formirovanie effektivnoj sistemy upravleniya otnoshenij s klientami v gostinictse // European Science. 2018. № 4 (36). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-effektivnoj-sistemy-upravleniya-otnosheniy-s-klientami-v-gostinictse> (data obrashcheniya: 06.05.2020).
8. *Kazakova A.N., Fajzullina A.G.* Konceptsiya CRM i CRM sistemy na predpriyatiyakh // Simvolnauki. 2016. № 1-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-crm-i-crm-sistemy-na-predpriyatiyah> (data obrashcheniya: 06.05.2020).
9. *Ledeneva S.V., Gavrilenko T.Yu.* Obzor rynka CRM-sistem // International Journal of Professional Science. 2019. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-rynka-crm-sistem> (data obrashcheniya: 06.05.2020).
10. *Mullagaliev A.R.* Osobennosti konkurentsii na rynke gostinichnykh uslug // Rossijskoe predprinimatel'stvo. 2010. № 10-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-konkurentsii-na-rynke-gostinichnykh-uslug> (data obrashcheniya: 06.05.2020).
11. Press-tsentr Instituta problem predprinimatel'stva "Issledovanie rynka CRM Rossii" // Institut problem predprinimatel'stva. URL: <https://ipp.spb.ru/news/company/ipp-issledovalinok-CRM-v-rossii> (data obrashcheniya: 06.05.2020).
12. *Skobkin S.S.* Marketing i prodazhi v gostinichnom biznese: uchebnyk dlya vuzov. 2-e izd., ispr. i dop. M.: Yurajt, 2020. 197 s.
13. *Fedoryaka A.M.* Osnovnye napravleniya razvitiya marketingovoy deyatel'nosti na predpriyatiyakh industrii gostepriimstva // Rossijskie regiony: vzglyad v budushchee. 2018. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-razvitiya-marketingovoy-deyatelnosti-na-predpriyatiyah-industrii-gostepriimstva> (data obrashcheniya: 06.05.2020).
14. *Donald F.* Blumberg. Managing High-Tech Services Using a CRM Strategy. [S. l.]: CRC Press, 2016. 376 p.

DOI: 10.25586/RNUV9187.20.02.P.107

УДК 681.3

В.А. Чертов, А.В. Падалко

---

АЛГОРИТМ РАНЖИРОВАНИЯ ПРОЕКТОВ  
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

---

Показана возможность ранжирования проектов по обеспечению экологической безопасности строительных работ на основе использования аппарата поиска решений на семантических сетях. Разработан алгоритм ранжирования проектов данного типа, реализующий этот подход.  
*Ключевые слова:* проект, экологическая безопасность, строительство, ранжирование, семантическая сеть, алгоритм.

V.A. Chertov, A.V. Padalko

## ALGORITHM FOR RANKING PROJECTS TO ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY OF CONSTRUCTION WORKS

The possibility of ranking projects to ensure the environmental safety of construction works based on the use of the device for searching solutions on semantic networks is shown. An algorithm for ranking projects of this type has been developed that implements this approach.

*Keywords:* project, environmental safety, construction, ranking, semantic network, algorithm.

*Введение*

В настоящее время проблема обеспечения экологической безопасности строительных работ, выполняемых при возведении зданий и сооружений, приобретает особую актуальность. Согласно действующему законодательству [4; 5] она решается на конкурсной основе путем выбора наилучшего проекта из числа представленных на конкурс. Подводя итоги конкурса, комиссия должна не только выставить оценки конкурирующим проектам, но и объяснить подателям проектных заявок, на каком основании выбран или отклонен тот или иной проект. Практическая реализация конкурсной схемы требует привлечения современных компьютерных технологий, формализующих процесс ранжирования и помогающих должностным лицам принимать обоснованные решения. Однако на этом пути возникают определенные трудности. Во-первых, показатели проектов по обеспечению экологической безопасности строительных работ (в дальнейшем – ПОЭБСР) выражаются не только числовыми, но и качественными категориями. Во-вторых, связи между показателями реальных проектов не всегда удается выразить в виде математических уравнений, вместе с тем они достаточно адекватно задаются с помощью словесных выражений. В-третьих, критерии предпочтительности ПОЭБСР зачастую задаются в виде экспертных указаний по недопустимости или желательности того или иного параметра проекта. Традиционно для парирования отмеченных трудностей использовался экспертный подход. Однако он страдает субъективизмом и зачастую порождает протекционизм.

Указанные обстоятельства вынуждают изыскивать новые подходы к решению задачи ранжирования ПОЭБСР, которые, с одной стороны, позволяли бы использовать количественные оценки, а с другой – допускали адекватный учет экспертной информации, характеризующей качественные стороны проектов. Наиболее полно таким требованиям отвечает аппарат поиска решений на семантических сетях [1; 2; 3]. Цель статьи заключается в разработке алгоритма ранжирования ПОЭБСР, реализующего этот подход.

*Теоретические предпосылки*

Для рассматриваемых проектов наряду с количественными выделим группу качественных показателей, существенных с точки зрения выбора предпочтительного варианта проекта, и перечислим их возможные лингвистические значения. Используя эти показатели, сформируем высказывания, адекватно описывающие существо проектов. Среди таких высказываний могут оказаться как допустимые, так и недопустимые. К недопустимым

отнесем высказывания либо не имеющие смысла в данной проблемной области, либо не удовлетворяющие условиям конкурса. Все остальные высказывания считаются допустимыми. Сами высказывания будем формализовывать с помощью семантической сети вида

$$\dots (X_{i-1} r_1 R_{i-1}) r_2 (x_1^{R_{i-1}} \vee, \dots, \vee x_n^{R_{i-1}}) \wedge (X_i r_1 R_i) r_2 (x_1^{R_i} \vee, \dots, \vee x_n^{R_i}) \wedge \\ \wedge (X_{i+1} r_1 R_{i+1}) r_2 (x_1^{R_{i+1}} \vee, \dots, \vee x_n^{R_{i+1}}) \dots \quad (1)$$

где  $X_{i-1}, X_i, X_{i+1}$  – показатели проекта;  $R_{i-1}, R_i, R_{i+1}$  – ярус сети;  $r_1$  – отношение «принадлежать ярусу»;  $r_2$  – отношение «быть значением»;  $x_1^{R_{i-1}}, x_i^{R_i}, x_i^{R_{i+1}}$  – значения показателей проекта соответствующего яруса;  $\wedge$  – знак конъюнкции (логическое И);  $\vee$  – знак дизъюнкции (логическое ИЛИ).

Эта сеть для  $i$ -го яруса читается следующим образом: «показатель проекта  $X_i$ , принадлежащий ярусу  $R_i$ , принимает одно из  $n$  значений  $x_1^{R_i}$  или  $x_2^{R_i}$  или  $x_3^{R_i}, \dots$ , или  $x_n^{R_i}$ ».

Ранжирование проектов на такой сети будем осуществлять путем фиксации требуемых значений показателей и указания тех показателей, значения которых необходимо определить. Искомые значения показателей будем определять в два этапа. Вначале выявим допустимые проекты, то есть проекты, значения показателей которых удовлетворяют предъявленным (нормативным) требованиям. Затем (если решение неоднозначное) с помощью критерия предпочтения определим наиболее рациональный проект из числа допустимых. Иными словами, реализуется классическая двухэтапная схема принятия сложного решения, когда вначале определяются допустимые решения, а затем (если это возможно) определяется наилучшее решение.

Поясним сказанное на примере. Введем характеристики, описывающие некоторый класс ПОЭБСР, и укажем их возможные значения:  $X_1$  – тип проекта: инвестиционный –  $x_1^1$ ; бюджетный –  $x_2^1$ ;  $X_2$  – цель проекта: реконструкция старых очистных сооружений –  $x_1^2$ ; снос старых очистных сооружений и строительство новых –  $x_2^2$ ;  $X_3$  – место реализации проекта: центральный район городского округа –  $x_1^3$ ; вне территории городского округа –  $x_2^3$ ;  $X_4$  – соответствие региональным экологическим программам: полностью соответствует –  $x_1^4$ ; соответствует частично –  $x_2^4$ ; не соответствует –  $x_3^4$ ;  $X_5$  – наличие разрешительных документов, требуемых законодательством, для начала реализации проекта: полный комплект –  $x_1^5$ ; неполный комплект –  $x_2^5$ ; отсутствуют (находятся в стадии проработки) –  $x_3^5$ ;  $X_6$  – потребный объем финансирования: 100–200 тыс. у.е. –  $x_1^6$ ; 200–400 тыс. у.е. –  $x_2^6$ ;  $X_7$  – наличие независимой экологической экспертизы: «да» –  $x_1^7$ , «нет» –  $x_2^7$ ;  $X_8$  – степень готовности к реализации: полная –  $x_1^8$ , частичная –  $x_2^8$ ;  $X_9$  – уровень природоохранных технологий, используемых для реализации проекта: новые –  $x_1^9$ ; апробированные –  $x_2^9$ ; смешанные –  $x_3^9$ ;  $X_{10}$  – ожидаемая прибыль от реализации проекта: не менее 100–200 тыс. у.е. –  $x_1^{10}$ ; примерно 200–400 тыс. у.е. –  $x_2^{10}$ ; примерно 400–600 тыс. у.е. –  $x_3^{10}$ ; отсутствует –  $x_4^{10}$ .

Таким образом, для описания ПОЭБСР вводится десятиярусная семантическая сеть, каждый ярус которой соответствуют одному из десяти показателей  $X_1$ – $X_{10}$ . Сами показатели могут принимать по одному из двух, трех или четырех возможных значений.

Семантическая сеть  $P$ , описывающая всю совокупность возможных вариантов ПОЭБСР в объеме введенных показателей и их значений, выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
 P = & (X_1 r_1 R_1) r_2 (x_1^1 \vee x_2^1) \wedge (X_2 r_1 R_2) r_2 (x_1^2 \vee x_2^2) \wedge \\
 & \wedge (X_3 r_1 R_3) r_2 (x_1^3 \vee x_2^3) \wedge (X_4 r_1 R_4) r_2 (x_1^4 \vee x_2^4 \vee x_3^4) \wedge \\
 & \wedge (X_5 r_1 R_5) r_2 (x_1^5 \vee x_2^5 \vee x_3^5) \wedge (X_6 r_1 R_6) r_2 (x_1^6 \vee x_2^6) \wedge \\
 & \wedge (X_7 r_1 R_7) r_2 (x_1^7 \vee x_2^7) \wedge (X_8 r_1 R_8) r_2 (x_1^8 \vee x_2^8) \wedge \\
 & \wedge (X_9 r_1 R_9) r_2 (x_1^9 \vee x_2^9 \vee x_3^9) \wedge (X_{10} r_1 R_{10}) r_2 (x_1^{10} \vee x_2^{10} \vee x_3^{10} \vee x_4^{10}). \quad (2)
 \end{aligned}$$

Часть этой сети, на каждом ярусе которой отсутствуют знаки « $\vee$ », назовем полной синтагмой. Иными словами, полная синтагма – это часть  $P$ , выделенная из нее путем назначения конкретных значений показателей  $X_1$ – $X_{10}$ . Очевидно, что каждой такой синтагме  $P_k$  ( $k = \overline{1; 13824}$ ) соответствует один из возможных вариантов проекта рассматриваемого типа, описанный в объеме введенных показателей и их конкретных значений. Например, полной синтагме

$$\begin{aligned}
 P_k = & (X_1 r_1 R_1) r_2 (x_1^1) \wedge (X_2 r_1 R_2) r_2 (x_2^2) \wedge (X_3 r_1 R_3) r_2 (x_3^3) \wedge \\
 & \wedge (X_4 r_1 R_4) r_2 (x_1^4) \wedge (X_5 r_1 R_5) r_2 (x_2^5) \wedge (X_6 r_1 R_6) r_2 (x_2^6) \wedge \\
 & \wedge (X_7 r_1 R_7) r_2 (x_2^7) \wedge (X_8 r_1 R_8) r_2 (x_2^8) \wedge (X_9 r_1 R_9) r_2 (x_2^9) \wedge \\
 & \wedge (X_{10} r_1 R_{10}) r_2 (x_2^{10}) \quad (3)
 \end{aligned}$$

соответствует следующий вариант проекта: «готовый инвестиционный проект, направленный на снос старых очистных сооружений и строительство новых, полностью соответствующий приоритетным федеральным программам, с неполным комплектом разрешительной документации, без независимой экспертизы, с потребным объемом финансирования – 200–400 тыс. у.е. и ожидаемой прибылью – примерно 200–400 тыс. у.е.».

Для ранжирования проектов введем следующий критерий: лучшим из числа допустимых считается проект, заданный полной синтагмой  $P_k$ , который ближе всех находится к некоторому эталонному проекту, заданному полной синтагмой  $E$ . За меру близости проектов, заданными синтагмами  $P_k$  и  $E$ , примем величину  $\rho(P_k, E)$ , равную числу несовпадающих значений одноименных компонентов  $x_i^{R_i}$ . Нетрудно проверить, что такая мера удовлетворяет аксиомам метрики и имеет простой смысл: чем меньше несовпадающих значений одноименных показателей эталонного и оцениваемого проектов, тем меньше отличаются эти проекты. Формально можно записать

$$P_{opt} = Arg \min_{P_k \in P_{dop}} \rho(P_k, E), \quad (4)$$

где  $P_{dop}$  – допустимые по условию конкурса проекты.

Допустимыми будем считать проекты, в полных синтагмах которых нет недопустимых комбинаций значений показателей  $X_1$ – $X_{10}$ . Предположим, что в нашем примере недопустимыми являются следующие сочетания значений показателей проекта:

$$(X_1 r_2 x_2^1) \wedge [X_{10} r_2 (x_1^{10} \vee x_2^{10} \vee x_3^{10})] - \quad (5)$$

прибыль от реализации бюджетного проекта;

$$(X_1 r_2 x_1^1) \wedge (X_7 r_2 x_2^7) - \quad (6)$$

отсутствие независимой экологической экспертизы на момент представления инвестиционного проекта к рассмотрению;

Чертов В.А., Падалко А.В. Алгоритм ранжирования проектов...

$$(X_1 r_2 x_1^1) \wedge (X_{10} r_2 x_4^{10}) - \quad (7)$$

отсутствии прибыли от реализации инвестиционного проекта.

Тогда допустимыми будут все варианты проектов, описываемые сетью (1), в полных синтагмах которых отсутствуют фрагменты вида (5)–(7). На практике формирование таких фрагментов осуществляется исходя из действующих нормативных документов и условий конкурса.

Эталонные проекты  $E$  формулируются специалистами административных органов, осуществляющих формирование и финансирование экологических программ региона, с учетом содержания этих программ, конкретной экологической обстановки в регионе и других факторов.

#### Алгоритм ранжирования

Разработанный с учетом сказанного алгоритм ранжирования ПОЭБСР представлен на рисунке 1. В соответствии с этим алгоритмом поставленная задача решается пошагово.

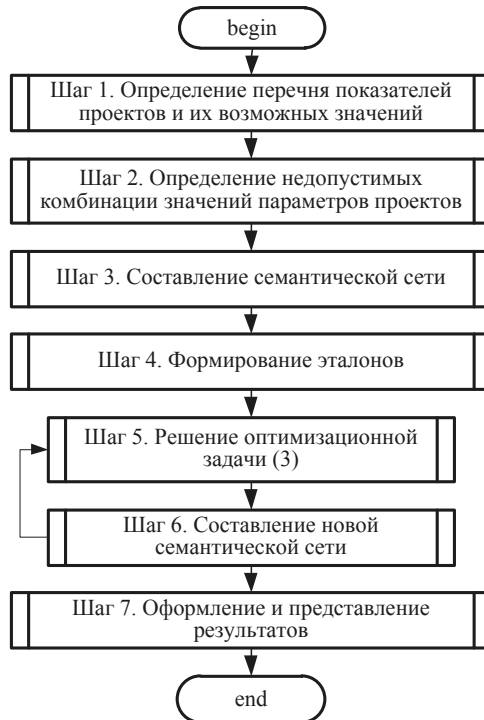


Рис. 1. Алгоритм ранжирования проектов по обеспечению экологической безопасности строительных работ

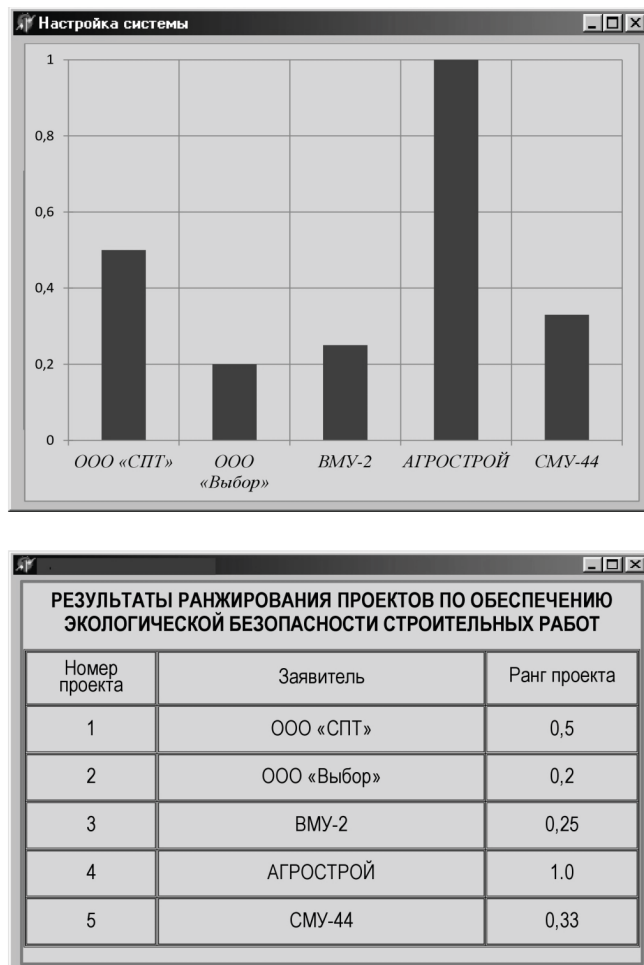
На *первом шаге* определяется перечень показателей, характеризующих проекты данного класса, и задаются возможные значения этих показателей.

На *втором шаге*, отталкиваясь от нормативных документов, формируются недопустимые комбинации значений параметров проектов и осуществляется их запись в виде семантических лексем, подобных (5)–(7).

На *третьем шаге* составляется многоярусная семантическая сеть, подобная сети (2), описывающая всю совокупность проектов, представленных на конкурс и подлежащих ранжированию.

На *четвертом шаге* с помощью экспертов формируется эталонный проект  $E$  и составляется его полная лексема.

На *пятом шаге* решается оптимизационная задача (4), по результатам которой из всех проектов, представленных на конкурс, выбирается оптимальный вариант  $P_{opt}$ , которому присваивается ранг  $R = 1,0/\text{номер цикла}$ .



**Рис. 2.** Пример выходного интерфейса алгоритма ранжирования проектов по обеспечению экологической безопасности строительных работ

На *шестом шаге* производится удаление полной лексемы этого проекта из исходной семантической сети, формируется новая семантическая сеть и осуществляется переход к предыдущему шагу. Цикл повторяется до тех пор, пока не будет исчерпан весь перечень проектов, представленных на конкурс.

На *седьмом шаге* осуществляется оформление представления результатов лицу, принимающему решение. Пример выходного интерфейса для случая ранжирования пяти проектов показан на рисунке 2.

#### Заключение

Предложенный алгоритм ранжирования проектов по обеспечению экологической безопасности строительных работ отличается от известных аналогов тем, что основан на аппарате поиска решений на семантических сетях. Это позволило совместить количественные оценки проектов с экспертными данными, характеризующими их качественные стороны.

Показано, что, вводя на семантических сетях соответствующую метрику, можно не только осуществлять формализованное описание проектов данного типа, но и производить их ранжирование по критерию минимума отклонения от эталонных требований.

Основные трудности компьютерной реализации такого подхода связаны с разработкой подробных и однозначных классификаторов понятий данной проблемной области, формулированием базовых аксиом и правил вывода, составлением алгоритмов ведения эффективного диалога с пользователем, а также с необходимостью владения современными технологиями и языками программирования. Естественно, что отмеченные обстоятельства сдерживают внедрение этого подхода в практику проектных работ, однако не являются непреодолимым заслоном на этом пути.

#### Литература

1. *Башмаков А.И., Башмаков И.А.* Интеллектуальные информационные технологии: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 304 с.
2. *Новосельцев В.И.* Информационная технология выбора природоохранного проекта на основе логико-лингвистического подхода // *Экология и промышленность России.* 2004. Ноябрь. С. 12–15.
3. *Новосельцев В.И.* Теоретические основы системного анализа. 2-е изд., испр. и перераб. М.: Майор, 2013. 536 с.
4. Об охране окружающей среды: федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Об экологической экспертизе: федеральный закон от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

#### Literatura

1. *Bashmakov A.I., Bashmakov I.A.* Intellektual'nye informatsionnye tekhnologii: uchebnoe posobie. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2005. 304 s.
2. *Novosel'tsev V.I.* Informatsionnaya tekhnologiya vybora prirodookhrannogo proekta na osnove logiko-lingvisticheskogo podkhoda // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* 2004. Noyabr'. S. 12–15.
3. *Novosel'tsev V.I.* Teoreticheskie osnovy sistemnogo analiza. 2-e izd., isprav. i pererab. M.: Maior, 2013. 536 s.
4. Ob okhrane okruzhayushchej sredy: federal'nyj zakon ot 10 yanvarya 2002 g. № 7-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy "Konsul'tantPlyus".
5. Ob ekologicheskoy ekspertize: federal'nyj zakon ot 23 noyabrya 1995 g. № 174-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy "Konsul'tantPlyus".