

РАНЖИРОВАНИЕ ПРОЕКТОВ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

© 2020 В. А. Чертов, В. И. Буянов, А. В. Падалко

Воронежский государственный технический университет (Воронеж, Россия)

Показана возможность решения задачи ранжирования проектов по обеспечению экологической безопасности строительных процессов на основе использования аппарата поиска решений на семантических сетях. Разработан алгоритм, реализующий этот подход.

Ключевые слова: проект, экологическая безопасность, строительство, ранжирование, семантическая сеть, алгоритм.

Введение. В настоящее время проблема ранжирования проектов по обеспечению экологической безопасности строительных процессов (в дальнейшем – ПОЭБСП), выполняемых при возведении зданий и сооружений приобретает особую актуальность. Согласно действующему законодательству [1, 2] она решается на конкурсной основе путем реализации типового цикла, который начинается с момента обращения заявителя (строительного предприятия, организации) в государственный орган, ответственный за осуществление экологических программ региона, и завершается утверждением или отклонением проекта. 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 такой схемы требует привлечения современных компьютерных технологий, формализующих процесс ранжирования и помогающих должностным лицам принимать обоснованные решения. Однако на этом пути возникают определенные трудности.

Традиционно для решения подобных задач используется экспертный подход. Однако такой подход страдает субъективизмом и зачастую порождает протекционизм. Применение математического аппарата не всегда приемлемо поскольку: а) показателями ПОЭБСП выступают не только числовые, но

и качественные показатели; б) связи между показателями реальных ПОЭБСП не всегда удается выразить в виде математических уравнений, вместе с тем они достаточно адекватно задаются с помощью словесных выражений; в) часть критериев оценки и ранжирования ПОЭБСП выражаются не числами, а качественными формулировками в виде экспертных указаний по предпочтительности, недопустимости или желательности того или иного варианта проекта.

Отмеченные обстоятельства вынуждают изыскивать новые подходы к решению задачи ранжирования ПОЭБСП, которые, с одной стороны, позволяли бы использовать их количественные оценки, а, с другой стороны, допускали адекватный учет экспертной информации, характеризующей их качественные стороны. Наиболее полно таким требованиям отвечает аппарат поиска решений на семантических сетях [3-5]. Цель статьи – показать возможность применения этого аппарата для решения проблемы ранжирования ПОЭБСП и предложить алгоритм, реализующий этот подход.

Теоретические предпосылки. Для рассматриваемых ПОЭБСП наряду с количественными выделим группу качественных показателей, существенных с точки зрения ранжирования 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 счи-

Чертов Вячеслав Алексеевич – Воронежский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент, cva.57@yandex.ru.

Буянов Виктор Иванович – Воронежский государственный технический университет, ст. преподаватель.
Падалко Александр Васильевич – Воронежский государственный технический университет, аспирант.

таются допустимыми. Сами высказывания, будем формализовывать с помощью семантической сети вида:

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

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.

Эта сеть для яруса с номером i читается следующим образом: «показатель проекта X_i , принадлежащий ярусу R_i , принимает одно из значений $x_1^{R_i} \vee \dots \vee x_n^{R_i}$ ».

Ранжирование проектов на такой сети осуществляется 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 упрощенном примере. Введем характеристики, описывающие некоторый класс ПОЭБСП, 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 – требуемый 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 ПОЭБСП вводится десяти ярусная 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. Естественно, что для описания реальных проектов такого объема данных недостаточно, однако, учитывая иллюстративный характер примера, можно ограничиться таким объемом информации.

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

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

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:

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

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 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 несовпадений значений одноименных показателей эталонного и оцениваемого проектов, тем меньше отличаются эти проекты. Формально можно записать:

$$P_{opt} = \underset{P_k \in P_{dop}}{\text{Arg min}} \rho(P_k, E), \tag{4}$$

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:

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

– прибыль от реализации бюджетного проекта;

$$(X_1 r_2 x_1^1) \wedge (X_7 r_2 x_2^7) \tag{6}$$

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

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

– отсутствие 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 проектов по обеспечению экологической безопасности строительных производств представлен на рисунке 1.

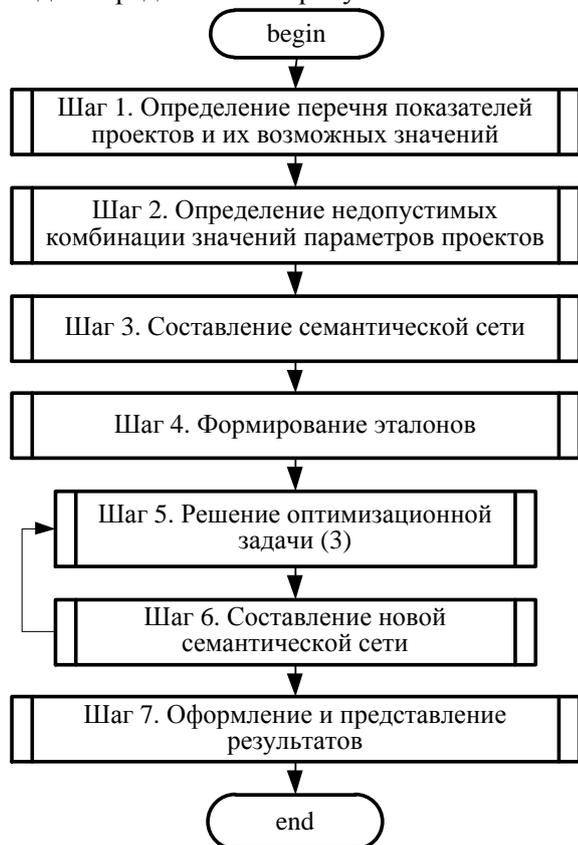


Рисунок 1. Алгоритм ранжирования проектов по обеспечению экологической безопасности строительных процессов

В соответствии с этим алгоритмом поставленная задача решается пошагово.

На *первом шаге* определяется перечень показателей, характеризующих проекты данного класса, и задаются возможные значения этих показателей. При этом ориентируются на критерии полноты, адекватности и определенности.

На *втором шаге*, отталкиваясь от действующих 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 $R = 1,0/\text{номер цикла}$.

На *шестом шаге* производится удаление полной лексемы этого проекта из исходной семантической сети, формируется новая семантическая сеть и осуществляется переход к предыдущему шагу. Такой 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 в таблице 1.

Таблица 1
Результаты ранжирования проектов по обеспечению экологической безопасности строительных процессов (пример)

Номер проекта	Заявитель	Ранг проекта
1	ООО «СПТ»	0,5
2	ООО «Выбор»	0,2
3	ВМУ-2	0,25
4	АГРОСТРОЙ	1.0
5	ПромСтройКонтракт	0,33

Заключение. Предложенный в статье подход к ранжированию проектов по обеспечению экологической безопасности строительных процессов отличается от известных эвристических подходов тем, что основан на аппарате поиска решений на семантических сетях. Это позволило перейти от числового к понятийному представлению ранжируемых проектов и расширило сферу приложения теории принятия решений за пределы применимости классических (численных) методов. Показано, что, используя аппарат семантических сетей и, вводя на этих сетях соответствующую метрику, можно осуществлять формализованное описание проектов данного типа, производить их оценку и ранжирование по критерию минимума их отклонения от эталонных требований. Основные трудности компьютерной реализации такого подхода связаны с разработкой подробных и однозначных класси-

фикаторов 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. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (2002 г.).
2. Федеральный закон «Об экологической экспертизе» (1995 г.).
3. Башмаков А. И. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. Пособие / А. И. Башмаков, И. А. Башмаков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 304 с.
4. Новосельцев В. И. Теоретические основы системного анализа / В. И. Новосельцев; изд. 2-е, исправленное и переработанное. – М: Майор, 2013. – 536 с.
5. Новосельцев В. И. Информационная технология выбора природоохранного проекта на основе логико-лингвистического подхода / В. И. Новосельцев // Экология и промышленность России, ноябрь 2004. – С. 12-15.

RANKING OF PROJECTS TO ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY OF CONSTRUCTION PROCESSES

© 2020 V. A. Chertov, V. I. Buyanov, A. V. Padalko

Voronezh state technical University (Voronezh, Russia)

It is shown that it is possible to solve the problem of ranking projects to ensure environmental safety in construction processes based on the use of the device for searching solutions on semantic networks. An algorithm has been developed that implements this approach.

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