

## ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

В. Е. Белоусов, Д. Н. Черников

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

Поступила в редакцию 22.02.2014 г.

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы, связанные с обеспечением высокой достоверности результатов исследования надёжности зданий с использованием итеративно-фрагментарного подхода с переходом от исключительно количественных оценок к качественным с формированием программной поддержки экспертных механизмов.

**Ключевые слова:** недвижимость, вариант, надёжность, достоверность, исследование.

**Annotation.** The questions connected with maintenance of high reliability of results of research of reliability of buildings with use of the iterative-fragmentary approach with transition from exclusively quantitative estimations to qualitative with formation of program support of expert mechanisms are considered.

**Keywords:** the real estate, a variant, reliability, reliability, research.

Для обеспечения высокой достоверности результатов исследования надёжности зданий и сооружений будем исходить из следующих предположений: все оценки, получаемые от экспертов и лиц, принимающих решения (ЛПР), должны отражать не только количественные, но и качественные оценки, а процедуры обработки такой информации должны учитывать качественный характер оценок надёжности объектов недвижимости.

Однородность таких критериев можно обеспечить следующим приёмом: множество возможных значений каждого из критериев надёжности объектов представляется небольшим набором (1–10) лингвистических оценок, естественным образом упорядоченных по предпочтительности. Содержательный смысл известных оценок «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «плохо» должен быть подробно и чётко раскрыт для каждого критерия с учётом его специфики. Для удобства анализа этих словесных оценок их можно описать числовыми, причём число должно быть тем больше, чем оценка предпочтительнее [1].

Возможные значения критериев можно представить либо конечным набором целых или натуральных чисел, либо отрезком числовой прямой (в этом случае критерии оказываются балльными, однако в дальнейшем их шкала считается всего лишь порядковой).

Таким образом, множество значений критериев  $Z$  состоит из чисел, а множество  $m$ -мерных числовых векторов  $Z^m$  с компонентами из  $Z$  будет отражать критериальное пространство  $R_m$ . Тогда составленный из оценок по всем частным критериям надёжности обобщённый показатель будет характеризоваться точкой пространства  $Z^m$ . Любую точку из  $Z^m$  можно считать векторной оценкой некоторого варианта систем (в смысле надёжности) – реального или же гипотетического. Надёжность варианта эксплуатации зданий и сооружений полностью характеризуется его векторной оценкой, то предпочтения удобно описывать вначале в критериальном пространстве  $Z^m$ .

Для моделирования предпочтений в соответствии с утверждённым «качественным» подходом можно использовать четыре бинарных отношения [2]: строгого предпочтения

$P: z'Pz''$  – векторная оценка  $z'$  строго предпочтительнее, чем  $z''$ ; безразличия  $I: z'Iz''$  – векторные оценки  $z'$  и  $z''$  одинаковы по предпочтительности; нестрогого предпочтения  $R: z'Rz''$  – векторная оценка  $z'$  не менее предпочтительна, чем  $z''$ ; несопоставимости  $N: z'Nz''$  – векторные оценки  $z'$  и  $z''$  не сравнимы по предпочтительности, т. е. не верно ни  $z'Rz''$ , ни  $z'Pz''$ , ни  $z'Iz''$ .

В критериальном пространстве  $Z^m$  можно задать отношение Парето:

$z'R^0z''$ , когда  $z'_i \geq z''_i$  для всех  $i = 1, \dots, m$ ;

если хотя бы одно из этих неравенств является строгим, то  $z'R^0z''$ ; если же все они обращаются в равенства, то  $z'Iz''$ .

Отношение  $R^0$  является частичным квазипорядком, имеющим следующий смысл: если один из вариантов не хуже другого по каждому критерию, то надежность первого объекта не ниже, чем второго [3]. Если ограничиться только этим отношением, то и многие варианты объектов из  $X$  в итоге окажутся несравнимыми по надёжности. Поэтому необходимо расширить отношение  $R^0$ , для чего привлечём информацию о важности критериев.

Для построения конкретной процедуры исследования надёжности необходимо оперировать строгими и чёткими определениями понятий равенства и превосходства. Обозначим через  $\tilde{z}^{it}$  векторную оценку, полученную из  $z = (z_1, \dots, z_m)$  перестановкой её компонент  $z_i$  и  $z_t$ . Тогда возможны следующие случаи:

– «Критерии  $W_i$  и  $W_t$  равноважны» в случае если две векторные оценки  $z$  и  $\tilde{z}^{it}$  одинаковы по предпочтительности:  $zI^\omega \tilde{z}^{it}$ .

– «Критерий  $K_i$  важнее, чем  $K_t$  ( $\omega = i > t$ )», в случае если векторная оценка  $z$ , у которой  $z_i > z_t$ , предпочтительнее, чем  $\tilde{z}^{it}$ :  $zP^\omega \tilde{z}^{it}$ .

Таким образом, большую оценку предпочтительнее иметь по более важному критерию, а для равноважных критериев взаимная перемена их значений предпочтительность не изменяет [4].

Пусть даны два непересекающихся множества критериев:

$$\{K_j / i \in A\}, \{K_j / i \in B\}, \quad (1)$$

где  $A$  и  $B$  – подмножества множества номеров критериев  $M = \{1, \dots, m\}$ .

Введём векторные оценки:

$$z, \tilde{z}^{A,B}, \quad (2)$$

где  $z_i = z_t$  при  $i, t \in A$  или  $i, t \in B$ , а  $\tilde{z}^{A,B}$  получена из  $z$  заменой координат  $z_i, i \in A$ , на  $z_t, t \in B$ , и наоборот.

Тогда, множества критериев (1) равноважны» ( $\omega = A \sim B$  или же  $B \sim A$ ) если всякие две векторные оценки (2) одинаковы по предпочтительности:  $zI^\omega \tilde{z}^{A,B}$ .

Из двух множеств критериев (2) первое важнее второго» ( $\omega = A > B$ ) если из всяких двух векторных оценок (2) при  $z_i > z_t, i \in A, t \in B$ , первая предпочтительнее второй ( $zP^\omega \tilde{z}^{A,B}$ ).

Пусть эксперт упорядочил по важности все критерии и их множества. Информацию о важности обозначим  $\Omega$  (задаёт во времени всех непустых подмножеств множества номеров критериев отношение нестрогого превосходства в важности  $\succ$ , а в критериальном пространстве  $Z^m$  – отношение некоторого предпочтения):

$$R^\Omega = T_r CI \left[ R^0 U \left( U_{\omega \in \Omega} R^\omega \right) \right], \quad (3)$$

где  $R^\omega$  – одно из отношений  $I^\omega$  или  $P^\omega$ , порождённое сообщением  $\omega \in \Omega$ , согласно определениям 1–4;  $R^0$  – отношение Парето,  $T_r CI$  – операция транзитивного замыкания.

Согласно (3),  $z'R^\Omega z''$  выполняется тогда и только тогда, когда найдутся  $p$  векторных оценок  $z^1, \dots, z^p$  и  $p+1$  символов  $\omega \in \{0\} \cup \Omega$  таких, что:

$$z'R^\omega z^1, z^1 R^{\omega^2} z^2, \dots, z^p R^{\omega^{p+1}} z'' \quad (4)$$

(для разных пар векторных оценок  $z^1, z^2$  число  $p$ , векторные оценки  $z^v$  и символы  $\omega^v$  могут быть, конечно, разные). Когда в (4) все  $R^\omega$  суть  $I^\omega$ , то  $z'I^\Omega z''$ . Если же хотя бы одно  $R^\omega$  есть  $P^\omega$ , то  $z'P^\Omega z''$ .

Таким образом, информация о важности критериев  $\Omega$  расширяет отношение Парето до отношения  $R^\Omega$  (частичный квазипорядок [4]). Поскольку множество вариантов объектов недвижимости конечно, то для построения  $R^\Omega$  можно сузить  $Z^m$  если оставить в нём лишь векторные оценки, состоящие из оценок вариантов по тому или иному частно-

му критерию, тогда для построения  $R^\Omega$  можно воспользоваться матричным представлением  $R^\omega$  и свести операцию  $T_r CI$  к операции возведения в степень булевских матриц, эффективно выполняемой на ЭВМ.

При этом, качественная информация  $\Omega$  существенно проще и достовернее, чем информация о коэффициентах важности критериев эффективности и надёжности  $\alpha_1, \dots, \alpha_m$ ; она порождает лишь отношение важности  $\succ$ , а для такого отношения, как это ни удивительно, согласованные с ним коэффициенты важности:

$$A \succ B \Leftrightarrow \sum_{i \in A} \alpha_i \geq \sum_{i \in B} \alpha_i$$

вообще могут не существовать.

Относительную компетентность отдельных экспертов  $\mathcal{E}_k$  и их групп будем описывать отношением превосходства в компетентности  $>$  и равенства в компетентности на множестве возможных групп экспертов из  $\{\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_k, \dots, \mathcal{E}_h\}$ . На основе информации, полученной от каждого эксперта  $\mathcal{E}_k$ , строится отношение нестрогого предпочтения  $R^k$  во множестве вариантов объектов  $X$ . На основе этих данных необходимо построить агрегированное отношение нестрогого превосходства надёжности  $\hat{R}$ .

Для решения поставленной задачи наиболее предпочтительным выступает экспертный опрос, основанный на идеях построения медианы набора ранжировок информационного ресурса [5]. Введём меру удалённости для квазипорядков на множестве  $X$ . Для этого можно использовать методику Хемминга, т. е. расстояние  $D(R', R'')$  исчислять как сумму поразрядных несовпадений в матрицах смежности отношений  $R', R''$ :

$$D(R', R'') = \sum_{\mu, \nu=1}^n |p'_{\mu\nu} - p''_{\mu\nu}|,$$

где, например  $\|p'_{\mu\nu}\|$  – матрица смежности  $R'$ .

Для частичного квазипорядка  $R$  на  $X$  можно определить расстояние  $D(R, R^k)$  до каждого экспертного квазипорядка  $R^k$ . Расстояния для некоторых  $R^k$  могут оказаться равными. Поэтому если ввести в рассмотре-

ние упорядоченные по убыванию числа  $\Delta^1(R), \dots, \Delta^{g(R)}(R)$ , полученные вычёркиванием повторяющихся чисел среди расстояний  $D(R, R^1), \dots, D(R, R^h)$ , то  $g(R) \leq h$ . Например,  $\Delta^{g(R)}(R)$  – наименьшее из  $h$  чисел  $D(R, R^h)$ , а  $\Delta^1(R)$  – наибольшее. Пусть  $\dot{Y}(\mathcal{X}, R)$  множество (группа) экспертов  $\mathcal{E}_k$ , для которых расстояние от  $R$  до  $R^k$  равно  $\Delta^x(R)$ .

Введём на множестве квазипорядков  $R$  на  $X$  отношение «большой близости» (точнее, «не меньшей близости»)  $Q$  к квазипорядкам  $R^1, \dots, R^k : R'QR''$  справедливо при выполнении одного из следующих условий:

$$\Delta^1(R') \prec \Delta^1(R''); \Delta^1(R') = \Delta^1(R''),$$

$$\dot{Y}(1, R') \prec \dot{Y}(1, R'');$$

$$\Delta^1(R') = \Delta^1(R''), \dot{Y}(1, R') = \dot{Y}(1, R''),$$

$$\Delta^2(R') \prec \Delta^2(R'') \text{ и т. д.}$$

Отношение  $Q$  является полным квазипорядком, так что по нему можно сравнивать любые квазипорядки  $R'$  и  $R''$ , т. е. либо один из них ближе к  $R^1, \dots, R^h$ , чем другой, либо удалены одинаково. Поэтому искомым агрегированным частичным квазипорядком  $\hat{R}$  является тот, который расположен от  $R^1, \dots, R^h$  не дальше, чем любой иной квазипорядок  $R$  на  $X$ , т. е. для которого выполнено  $\hat{R}QR$  ( $\hat{R}$  – квазипорядок, наибольший по  $Q$  среди всех частичных квазипорядков на  $X$ ).

Исследование надёжности вариантов строительных объектов в соответствии с разработанной методикой проводится в следующем порядке:

**Этап 1.** Подготовка исходных данных. Формируются: множество вариантов объектов  $X = \{x_1, \dots, x_r, \dots, x_h\}$ ; множество возможных состояний внешней среды  $Y = \{y_1, \dots, y_s, \dots, y_q\}$ ; набор частных критериев надёжности  $W = \{W_1, \dots, W_i, \dots, W_m\}$  с общей порядковой или балльной шкалой; – экспертная группа  $\{\mathcal{E}_1, \dots, \mathcal{E}_k, \dots, \mathcal{E}_h\}$  специалистов, привлекаемых для оценки вариантов объектов недвижимости по частным критериям надёжности; – каждый эксперт  $\mathcal{E}_k$  оценивает эффективность и надёжность вариантов объек-

тов при различных состояниях внешней среды, т.е. указывает значения  $W_i(x_r, y_s / \mathcal{E}_k)$  в их общей шкале.

**Этап 2.** Оценка важности критериев. Каждый эксперт  $\mathcal{E}_k$  производит сравнение относительной важности критериев и групп критериев; на основе этой информации  $\Omega(\mathcal{E}_k)$  во множество всех непустых подмножеств набора частных критериев эффективности и надёжности  $W$  вводится отношение важности – полный квазипорядок; который, в свою очередь, порождает в критериальном пространстве  $Z^m$  отношение нестрогого предпочтения  $R^k$ .

**Этап 3.** Оценка возможности состояний внешней среды. Каждый эксперт  $\mathcal{E}_k$  сравнивает по возможности достоверности события, формируемые из отдельных состояний среды, и тем самым задаёт на  $X$  качественную вероятность. На основе отношения  $R^k$  и качественной вероятности во множестве  $X$  вариантов объектов недвижимости вводится отношение нестрогого предпочтения  $R^k$ .

**Этап 4.** Оценка компетентности экспертов. На основе сведений, запрашиваемых от ЛПР, или в результате самооценивания экспертов

формируются отношения нестрогого превосходства в компетентности  $\geq$ . Затем на основе частичных квазипорядков  $R^1, \dots, R^k, \dots, R^h$  и отношения  $\geq$  строится ближайший частичный квазипорядок  $\hat{R}$ , дающий агрегированное частичное ранжирование вариантов объектов.

**Этап 5.** Отыскание недоминируемых вариантов объектов недвижимости. Из множества  $X$  выделяются варианты объектов недвижимости, недоминирующие по отношению строгого превосходства в надёжности  $\hat{P}$ : вариант  $x^*$  называется недоминируемым, если не существует другого варианта  $x \in X$ , более эффективного, т.е. ни для одного  $x \in X$  не должно выполняться  $x \hat{P} x^*$ . Множество всех недоминируемых вариантов  $X^*$  есть решение задачи оценки надёжности объектов недвижимости согласно предложенной методике.

**В результате проведенных исследований** разработан комплекс программных средств на базе информационно-аналитической системы управления теплоснабжением (ИАСУ-ТС). Синтезированные программные модули для экспертного ввода параметров внешней коррозии систем теплоснабжения объектов недвижимости представлены на рис. 1. Аналити-

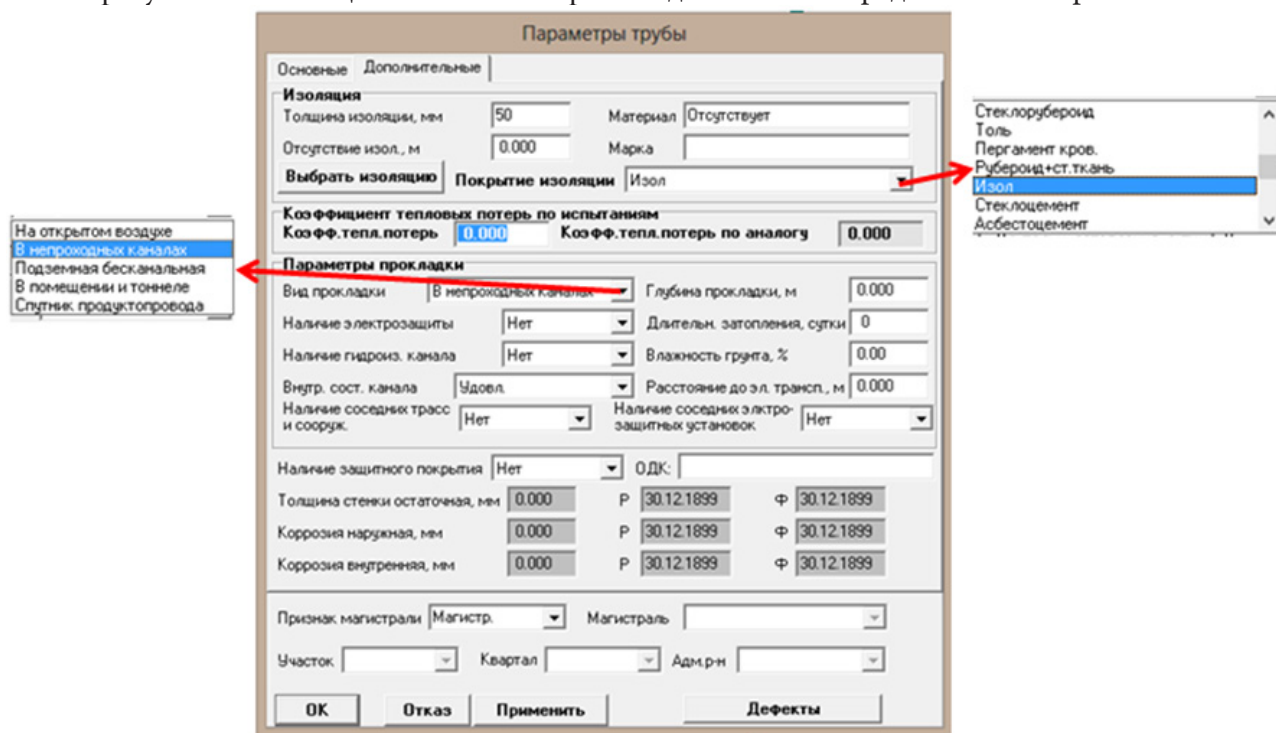


Рис. 1. Разработанный модуль для ввода в программу ИАСУ-ТС данных по внешней коррозии участков труб объектов недвижимости



ческая оценка эффективности разработанных мероприятий по повышению надежности объектов теплоснабжения зданий и сооружений составила 11 %.

Возможности широкого практического использования разработанных механизмов могут быть обеспечены при наличии заранее разработанных массивов решающих правил экспертной системы, особенно в виде лингвистических переменных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баркалов С. А. Механизм комплексной оценки объектов в системах организационного управления / С. А. Баркалов, Е. А. Власова // ВЕСТНИК Воронежского государствен-

ного технического университета. – Т. 5. – № 4, 2009. – С. 147–151.

2. Никифоров А. Д. Управление качеством. Учебное пособие для вузов. – М. : Дрофа, 2004. – 720 с.

3. Воронов А. А. Исследование операций и управление. М. : Наука, 1970. – 128 с.

4. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учебник для студ. Вузов. – 9-е изд., стер / Е. С. Вентцель. // – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 576 с.

5. Десятирикова Е. Н., Белоусов В. Е. Модель ценности информационного ресурса системы управления экономической системой. Вестник Воронежского государственного университета. №2, 2012г.

**Белоусов Вадим Евгеньевич** – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Тел.: (4732) 76-40-07, E-mail: belousov@vgasu.vrn.ru

**Belousov V. E.** – candidate of Technical Sciences, head of the department of automation of technological processes and manufactures of the Voronezh state architecturally-building university. Тел.: (4732) 76-40-07, E-mail: belousov@vgasu.vrn.ru

**Черников Дмитрий Николаевич** – аспирант Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Тел.: (4732)76-40-07, E-mail: chernikov@vgasu.vrn.ru

**Chernikov D. N.** – graduate student, Voronezh state architecturally-building university. Тел.: (4732) 76-40-07, E-mail: chernikov@vgasu.vrn.ru