

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 Ω (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^ω – одно из отношений I^ω или P^ω , 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 ω^v могут быть, конечно, разные). Когда в (4) все R^ω суть I^ω , то $z'I^\Omega z''$. Если же хотя бы одно R^ω есть P^ω , то $z'P^\Omega z''$.

Таким образом, информация о важности критериев Ω расширяет отношение Парето до отношения R^Ω (частичный квазипорядок [4]). Поскольку множество вариантов объектов недвижимости конечно, то для построения R^Ω 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^Ω можно воспользоваться матричным представлением R^ω и свести операцию $T_r CI$ к операции возведения в степень булевских матриц, эффективно выполняемой на ЭВМ.

При этом, качественная информация Ω 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-

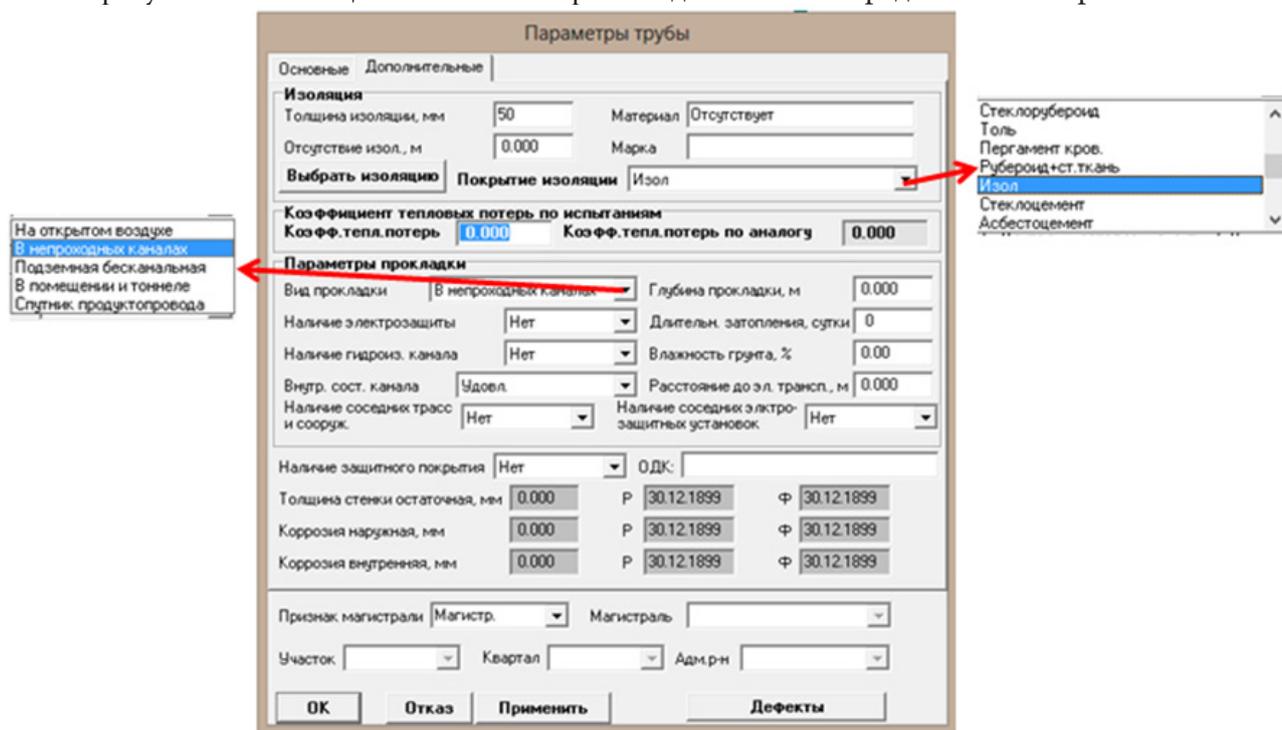


Рис. 1. Разработанный модуль для ввода в программу ИАСУ-ТС данных по внешней коррозии участков труб объектов недвижимости

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