

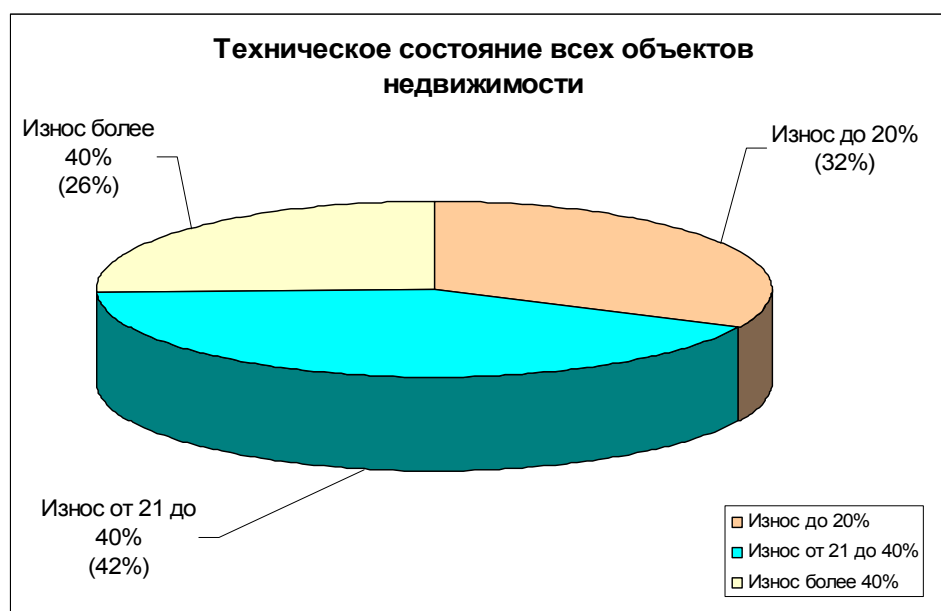
## Модель идентификации и прогноза дефектов строительной конструкции на основе результатов ее обследования

*Старший преподаватель Т.Н. Солдатенко\*,  
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

**Ключевые слова:** обследование строительных конструкций; функция принадлежности; нечеткая логика; лингвистические переменные; причины повреждений

### Введение

Характерной особенностью современного состояния объектов капитального строительства страны является значительная доля удельной составляющей зданий и сооружений со значительным уровнем износа [1]. Например, на конец 90-х годов в Санкт-Петербурге доля всех видов недвижимости с неудовлетворительным уровнем технического состояния составляла более 25%, а доля объектов, уровень которых приближается к неудовлетворительному, превышал 40% (рис. 1) [2].



**Рисунок 1. Уровень технического состояния недвижимости Санкт-Петербурга (по состоянию на конец 90-х годов XX века)**

Как правило, строительные конструкции зданий и сооружений со значительным сроком службы имеют те или иные повреждения. Выявление этих дефектов осуществляется при плановых и неплановых обследованиях технического состояния объектов [3]. Правильное определение возможных причин появления повреждений строительных конструкций, а также прогноз тенденций их изменения необходимы для принятия оптимальных решений по эксплуатационным воздействиям для поддержания работоспособного состояния зданий и сооружений [4].

Однако установление однозначной связи между фактом дефекта и причинами его появления на основе традиционных инструментальных методов представляет собой трудную, а в ряде случаев неразрешимую задачу [3]. Это обусловлено тем, что строительные конструкции отличаются высокой степенью сложности и неопределенности состояния, а также большим числом факторов, приводящих к их дефектам [5].

Одним из современных направлений решения этой проблемы является использование экспертной информации о фактическом техническом состоянии зданий и сооружений [6, 7, 8]. Перспективным является применение методов анализа, которые базируются на аппарате нечеткой логики [9, 10, 11]. Такой подход является актуальным для современного состояния системы эксплуатации зданий и сооружений, поскольку позволяет существенно упростить

Солдатенко Т.Н. Модель идентификации и прогноза дефектов строительной конструкции на основе результатов ее обследования

процессы принятия решений о планировании и проведении необходимых управляющих воздействий по сравнению с другими известными методами [12, 13] и автоматизировать их.

Объектом рассмотрения в настоящей статье выступают строительные конструкции зданий и сооружений. Предметом исследования являются логические заключения о причинах появления не только текущих, но и прогнозных дефектов конструкций на основе экспертной априорной информации, а также формирование на их основе необходимых эксплуатационных воздействий.

Практическая значимость получаемых результатов состоит в том, что при таком подходе могут быть сокращены затраты на обследование зданий и сооружений путем исключения мероприятий, не связанных с причинами появления дефектов строительных конструкций. Перейдем к изложению существа предлагаемого подхода.

### Математическая модель нечеткого вывода заключения о причинах дефекта строительной конструкции

В ходе обследования зданий и сооружений фиксируются дефекты строительных конструкций, а также параметры состояния конструкций, которые могут выступать в качестве предпосылок появления соответствующих дефектов. Предполагается, что между фактом появления конкретного дефекта строительной конструкции и предпосылками к нему существует некоторая взаимосвязь. Характер указанной связи определяют эксперты на основе имеющегося опыта и знаний, причем свое мнение они выражают в терминах естественного языка. Необходимо на основе полученных высказываний специалистов построить математическую модель, позволяющую определять причинно-следственные связи между дефектами строительных конструкций и факторами, влияющими на эти события. Результаты такого моделирования должны быть применимы для принятия решений по управлению техническим состоянием обследуемых зданий и сооружений. Модель, определяющую взаимосвязи между предпосылками и причинами появления тех или иных дефектов СК, можно представить схемой идентификации сложного объекта (рис. 2) [14].

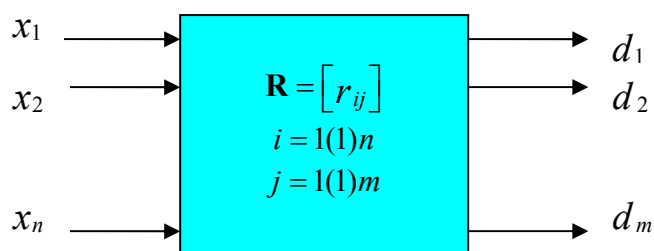


Рисунок 2. Структурная схема модели идентификации дефектов строительной конструкции:

$X = \{x_i\}$ ,  $i = 1(1)n$  – множество предпосылок появления дефектов строительной конструкции;  $n$  – общее число предпосылок;

$D = \{d_j\}$ ,  $j = 1(1)m$  – множество заключений по причинам дефектов строительной конструкции;  $m$  – число возможных экспертных заключений;

$R = [r_{ij}]$  ( $i = 1(1)n$ ;  $j = 1(1)m$ ) – матрица нечетких отношений между элементами множества  $X$  и множества  $D$ .

Отношения множеств  $X$  и  $D$  можно в общем виде представить в виде соотношения [15]:

$$D = X * R, \quad (1)$$

где символом (\*) обозначается применение правила композиции нечеткого вывода [15, 16].

Входы  $X$  модели (1) обследуемого объекта и ее выходы  $D$  будем рассматривать как лингвистические переменные (ЛП), которые оцениваются нечеткими терм-множествами с соответствующими функциями принадлежности (ФП). Например, входной переменной  $x$  в соотношении (1) может являться ЛП вида «Тип конструкции здания» и др. Термы ЛП  $x$  в этом случае представляют собой высказывания: «сплошная стена», «перегородка» и т.д. Выходной переменной  $d$  в модели идентификации (1) может быть ЛП вида «Причина возникновения

Солдатенко Т.Н. Модель идентификации и прогноза дефектов строительной конструкции на основе результатов ее обследования

дефекта» с терминами, соответствующими классам решений. Например, к ним могут относиться такие лингвистические построения, как «Возникновение дефекта по причине предпосылки 1», «Возникновение дефекта по причине предпосылки 2» и т.д. Эти термины также должны иметь свои ФП. Элементы матрицы  $\mathbf{R}$  формируются априорно на основе знаний и опыта эксперта. Соотношение (1) можно рассматривать в двух аспектах:

- во-первых, с применением «нисходящих» выводов, когда направление выводов является обратным по отношению к выводам для правил; этот подход может быть использован для исходного формирования модели (1) и разработки расчетной процедуры определения численной меры каждой из причин появления дефектов;
- во-вторых, при использовании «восходящих» выводов, когда выдвигаются гипотезы о значениях контролируемых параметров конструкций и оценивается возможность появления дефектов, соответствующих этим совокупностям входов; этот подход целесообразен при прогнозировании изменения состояния эксплуатируемых зданий и сооружений.

Рассмотрим решение сформулированной задачи.

### *Формирование модели идентификации строительной конструкции*

Система нечеткого вывода по результатам обследования строительной конструкции может быть представлена в виде схемы, представленной на рис. 3.



**Рисунок 3. Структура системы нечеткого вывода по результатам обследования строительной конструкции**

Блоки системы на рис. 2 выполняют следующие функции:

- блок «фаззификатор» преобразует вектор  $X$  четких значений параметров состояния конструкции в вектор  $\tilde{X}$  значений ФП признаков предпосылок дефектов конструкции, при этом используются ФП нечетких термов, описывающих  $X$ ;
- блок «нечеткая база знаний» представляет собой совокупность экспертных процедур импликации, которые приводят к получению нечеткого множества  $\tilde{D}$  выходных переменных модели (1);
- блок «дефаззификатор» преобразует нечеткое представление выходных параметров модели (1)  $\tilde{D}$  в четкое значение  $D$ .

Итак, сначала необходимо осуществить переход от конкретных значений  $X$  входных переменных модели (1) к значениям  $\tilde{X}$  их лингвистических переменных с помощью операции фаззификации (от англ. fuzzy – нечеткий) [13, 14].

Рассмотрим алгоритм осуществления операции фаззификации. Пусть  $\tilde{x}$  – ЛП входного параметра модели (1). Для этой ЛП вводятся термины  $a$ . Для них будем использовать колоколообразную функцию принадлежности. Эта ФП имеет два параметра:  $b$  – значение аргумента, соответствующее максимальному значению ФП и  $c$  – коэффициент концентрации [10,13]. Вычисление ФП каждого термина  $\mu_p(a(\tilde{x}))$  ЛП  $\tilde{x}$  «Параметр предпосылки» в данном случае осуществляется с помощью соотношения:

$$\mu_p(a(\tilde{x})) = \frac{1}{1 + \left( \frac{1}{1 + \frac{x-b}{c}} \right)^2}, \quad (2)$$

где  $b_a$  и  $c_a$  – параметры ФП соответствующего термина  $a_p(\tilde{x})$  ЛП  $\tilde{x}$ .

Введем вектор-столбец  $Q_1$  «индикатор выбора термина», который формирует эксперт. Его размерность равна  $k_x$  – числу термов переменной  $\tilde{x}$ . Элемент «1» в этом векторе соответствует выбранному терму, остальные элементы данного вектора – нулевые. Введем также две матрицы  $Q_2$  и  $Q_3$ , необходимые для автоматической реализации операции фаззификации. Размерности первой и второй матриц одинаковы и равны  $[k_x, 2]$ . Матрица  $Q_2$  состоит из единиц. Элементы матрицы  $Q_3$  формируются по правилу:

$$Q_3 = Q_1 \cdot Q_2 \quad (3)$$

Параметры  $g^*$  ФП термина, соответствующего единичному элементу вектора  $Q_1$ , определяются из соотношения:

$$g^* = \sum_{i=1}^k \prod_{j=1}^2 g_i \cdot q_{3ij}, \quad (4)$$

где  $g_i$  – соответствующий параметр ФП  $i$ -го термина ( $i = 1(1)k$ ) рассматриваемой ЛП входного параметра модели (1);

$k$  – количество термов для ЛП входного параметра модели (1).

Расчет параметров фаззификации осуществляется для каждого термина  $a_p(\tilde{x})$  с помощью соотношения (2), в которое вместо значения  $x$  подставляется значение параметра  $b_a^*$ , вычисляемого по формуле (4). Физический смысл описанного алгоритма фаззификации для ЛП входного параметра, имеющего три термина, поясняется графиками на рис. 4. Вертикальная красная линия означает выбор экспертом термина 3. Горизонтальная красная стрелка показывает способ определения значения ФП для термина 2 рассматриваемой ЛП «Параметр состояния СК».

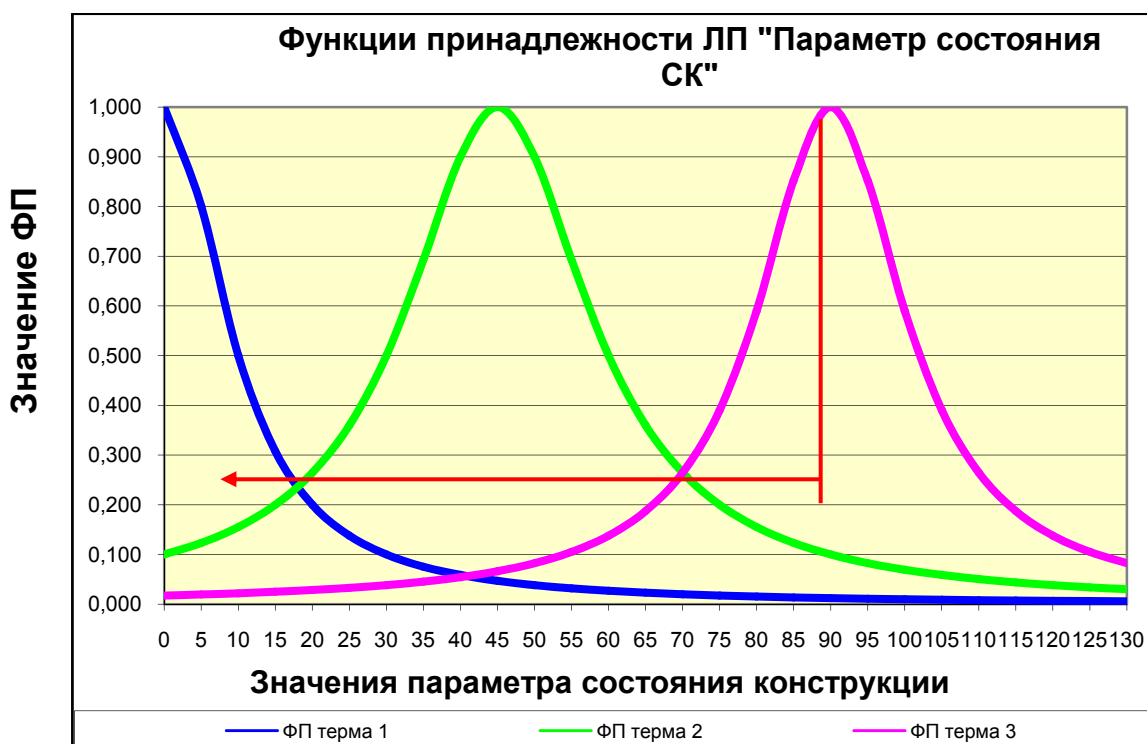


Рисунок 4. Способ выполнения фаззификации параметра строительной конструкции

После фаззификации необходимо осуществить описание зависимостей между лингвистическими переменными  $\tilde{x}$  ( $\tilde{x} \in \tilde{X}$ ) и  $\tilde{d}$  ( $\tilde{d} \in \tilde{D}$ ). Для этого используем операцию импликации  $\tilde{x} \rightarrow \tilde{d}$  (если —  $\tilde{x}$ , то  $\tilde{d}$ ) [14, 15]. В этой логической операции условием (антецедентом) выступает входная переменная  $\tilde{x}$  модели (1), а заключением (консеквентом) – выходная переменная  $\tilde{d}$  модели (1). В данном случае антецедент представляет собой утверждение типа « $x$  является глубоким», где «глубокий» – это терм лингвистической переменной  $\tilde{x}$ . При этом консеквентом для модели (1) может рассматриваться утверждение вида: « $D$  есть  $\tilde{d}$ », где  $\tilde{d} \in \tilde{D}$ .

Процедуру использования нечеткого логического вывода при использовании указанных продукционных правил разделим на два этапа: обобщение и заключение. На этапе обобщения логического вывода следует определить степень принадлежности всего антецедента правила. Для этого будем использовать оператор вычисления минимального значения степени принадлежности среди всех входных переменных  $\tilde{x}$  ( $\tilde{x} \in \tilde{X}$ ), которые формируют конкретное продукционное правило. Это объясняется тем, что в данном случае используемые входные переменные модели (1) объединяются оператором И. Поскольку применительно к одному и тому же результату – дефекту СК, обусловленному одной и той же причиной, – все продукционные правила объединены логической связкой ИЛИ, то будем применять оператор вычисления максимального значения степени принадлежности среди всех продукционных правил [15, 16].

На этапе заключения (логического вывода) будем вычислять значение консеквента. Исходными данными для этой процедуры служат значения степеней принадлежности антецедентов правил, полученные на предыдущем этапе, применительно к каждому из возможных результатов  $\tilde{d}$  ( $\tilde{d} \in \tilde{D}$ ). Результат нечеткого вывода при этом будет также нечетким. Он представляется соответствующим термом лингвистической переменной  $\tilde{d}$ . В данном случае следует применять правило выбора в качестве консеквента такого  $\tilde{d}^*$ , у которого максимальное значение функции принадлежности. С учетом перечисленных особенностей импликации  $\tilde{x} \rightarrow \tilde{d}$  нечеткая база знаний описывается с помощью операций  $\cup$  (ИЛИ) и  $\cap$  (И) в следующей компактной форме:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left[ \bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp}) \text{ с весом } w_{jp} \right] \rightarrow \tilde{D} = \tilde{d}_j, \quad j = 1(1)m. \quad (5)$$

Таким образом, нечеткая база знаний в форме соотношений (4) отображает опыт эксперта и его понимание причинно-следственных связей между предпосылками дефекта и его проявлением [15, 16]. Формирование нечеткой базы знаний может рассматриваться как аналог структурной идентификации, при которой формируется модель обследуемой строительной конструкции с параметрами, которые подлежат последующей подстройке при получении экспериментальных данных об объекте [14]. Переход от нечеткой базы знаний к системе нечетких логических выражений  $\tilde{D}$  в соответствии с выражением (4) будем осуществлять с помощью расчетного соотношения:

$$\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigvee_{p=1}^{k_j} (w_{pj} \cdot \bigwedge_{i=1}^n (\mu^{a_i^{jp}}(x_i))), \quad j = 1(1)m, \quad (6)$$

где  $\mu^{a_i^{jp}}(x_i)$  – ФП переменной  $x_i$  для нечеткого термина  $a_i^{jp}$  ( $j = 1(1)m$ ;  $p = 1(1)k_j$ ,  $i = 1(1)n$ );

$\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – ФП вектора признаков предпосылок дефектов строительной конструкции ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) для решения  $d_j$  ( $j = 1(1)m$ );

$\bigvee(\bigwedge)$  – операции максимизации (минимизации) соответствующих множеств значений рассматриваемых величин.

Подставляя в формулу (6) вектор  $X = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$  значений признаков предпосылок возникновения дефектов строительной конструкции, получаем следующее нечеткое множество выходной переменной:

$$\tilde{y} = \left( \frac{\mu^{d_1}(X)}{d_1}, \frac{\mu^{d_2}(X)}{d_2}, \dots, \frac{\mu^{d_m}(X)}{d_m} \right). \quad (7)$$

Правило выбора решения о причинах дефекта строительной конструкции в данном случае состоит в выполнении соотношения:

$$y = \arg \max_{\{d_1, d_2, \dots, d_m\}} (\mu^{d_1}(X), \mu^{d_2}(X), \dots, \mu^{d_m}(X)). \quad (8)$$

В ряде случаев при обследовании строительных конструкций результат, получаемый с помощью соотношения (8), оказывается вполне удовлетворительным (например, если задачей обследования является определение только предаварийных значений параметров конструкции). Когда необходимо конкретизировать полученный результат (перейти к его четкой форме представления), используется процедура дефаззификации (от англ. defuzzification – преобразование нечеткого множества в четкое представление). Указанная процедура осуществляется с помощью одного из известных методов (центра максимума, центра тяжести и др.) на основе анализа соответствующей функции принадлежности  $\tilde{D}$  [14, 15].

Для строительных конструкций можно выделить совокупность параметров состояния, которые влияют на дефекты СК, но слабо изменяются во времени. Вторая группа параметров состояния строительных конструкций, в силу ряда случайно действующих факторов, может изменяться во времени. Эту особенность можно использовать для прогнозирования состояния зданий и сооружений. Прогнозирование результатов обследования с использованием соотношений (5)...(8) включает в себя следующие этапы. Сначала решается задача идентификации взаимосвязи предпосылок дефектов конструкций и причин их появления на основе построения модели (1). При этом необходимо использовать все расчетные соотношения, рассмотренные выше. После этого для входных параметров необходимо установить закономерности их изменения во времени и получить прогнозные значения для соответствующих интервалов времени. На основе полученных результатов можно сформировать необходимые управляющие воздействия для обеспечения работоспособности зданий и сооружений. Рассмотрим применение предлагаемого подхода с помощью расчетного примера.

## Расчетный пример

### Постановка задачи

В качестве анализируемого повреждения строительной конструкции рассматриваются трещины. Наличие и характер трещин в конструкции устанавливаются при обследовании здания. При этом также измеряются параметры признаков предпосылок появления трещин. Кроме этого, имеются полученные экспертным способом правила импликации параметров конструкции в причины появления трещин. Необходимо осуществить прогноз возможности появления дефектов каждого из имеющихся типов в будущие интервалы времени.

### Исходные данные для задачи

Состояние строительной конструкции оценивается совокупностью параметров, приведенных в табл. 1. Для описания функций принадлежности нечетких термов параметров состояния строительных конструкций и причин их повреждений используется колоколообразная форма ФП. Возможные причины появления дефектов (трещин) и их термы приведены в табл. 2. Матрица знаний в форме априорно установленных возможностей появления дефектов в зависимости от значений параметров состояния строительных конструкций приведена в табл. 2. Все весовые коэффициенты соответствующих нечетких заключений принимаются равными единице:  $w_{ij} = w = 1$ .

Примечание. При формировании исходных данных использованы материалы, приведенные в [18]. Используемые числовые данные и правила импликации носят в данном примере иллюстративный характер.

## Решение задачи

Содержательный смысл используемых параметров, необходимые числовые значения и результаты расчетов фаззификации (для периода обследования  $t_1$ ) сведены в табл. 1.

База нечетких знаний для расчетного примера приведена в табл. 2.

Таблица 1

Название терма	Обознач. терма	Параметры ФП терма		Вектор $Q_1$	Матрица $Q_2$		Матрица $Q_3$		Результат фаззификации
		b	c						
ЛП $x_1$ – «Место расположения трещины»									
Через всю конструкцию	вк	0,000	0,100	0	1	1	0	0	0,322
Между стенами	мс	0,145	0,080	1	1	1	1	1	1,000
В местах примыкания	мп	0,290	0,200	0	1	1	0	0	0,655
От монолитного включения	мв	0,44	0,30	0	1	1	0	0	0,517
На опорах	оп	0,58	0,08	0	1	1	0	0	0,033
В верхней части конструкции	вч	0,73	0,10	0	1	1	0	0	0,029
На свободном поле	вв	0,87	0,20	0	1	1	0	0	0,071
На нижней части конструкции	нч	1,00	0,40	0	1	1	0	0	0,180
ЛП $x_2$ – «Внешний вид трещины»									
Вертикальная	в	0,000	10,000	1	1	1	1	1	1,000
Наклонная	н	45,000	15,000	0	1	1	0	0	0,100
Горизонтальная	г	90,000	12,000	0	1	1	0	0	0,017
ЛП $x_3$ – «Направление раскрытия трещины»									
Верхнее	вр	0,000	0,100	1	1	1	1	1	1,000
Равномерное	рр	0,500	0,300	0	1	1	0	0	0,265
Нижнее	нр	1,000	0,200	0	1	1	0	0	0,038
ЛП $x_4$ – «Ширина трещины»									
Волосная	вол	0,000	0,100	0	1	1	0	0	0,002
Мелкая	мел	2,000	2,000	1	1	1	1	1	1,000
Развитая	раз	5,500	2,000	0	1	1	0	0	0,246
Большая	бол	12,000	4,000	0	1	1	0	0	0,138
Крупная	кр	35,000	10,000	0	1	1	0	0	0,084

Таблица 2

№ п/п	Терм ЛП $x_1$	Терм ЛП $x_2$	Терм ЛП $x_3$	Терм ЛП $x_4$	Промежуточные значения ФП термов ЛП «Причина повреждения конструкции»	Термы ЛП «Причина повреждения конструкции»
1	оп	в	вр	вол	d1	Статические перегрузки конструкции
2	чв	к	вр	вол	d1	
3	оп	в	вр	др	d1	
4	вч	к	вр	др	d1	
5	вп	в	рр	др	d1	
6	мп	в	вр	вол	d1	
7	вч	в	вр	вол	d1	
8	оп	в	вр	вол	d1	

Солдатенко Т.Н. Модель идентификации и прогноза дефектов строительной конструкции на основе результатов ее обследования

№ п/п	Терм ЛП $X_1$	Терм ЛП $X_2$	Терм ЛП $X_3$	Терм ЛП $X_4$	Промежуточные значения ФП термов ЛП «Причина повреждения конструкции»	Термы ЛП «Причина повреждения конструкции»
9	мп	в	вр	вол	d2	Динамические перегрузки конструкции
10	чв	к	рр	вол	d2	
11	сп	в	вр	др	d2	
12	вч	к	вр	др	d2	
13	оп	в	вр	раз	d2	
14	мс	в	вр	раз	d2	Температурные деформации конструкции
15	вч	в	вр	кр	d5	
16	сп	к	рр	вол	d5	
17	вч	к	вр	др	d5	
18	сп	в	рр	бол	d5	
19	сп	в	рр	кр	d5	

Результаты расчета параметров модели (1) (для периода обследования  $t_1$ ) в соответствии с базой знаний (табл. 2) приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Терм ЛП $X_1$	Терм ЛП $X_2$	Терм ЛП $X_3$	Терм ЛП $X_4$	Промежуточные значения ФП термов ЛП «Причина повреждения конструкции»	Термы ЛП «Причина повреждения конструкции»	ФП термов ЛП «Причина повреждения конструкции»
1	0,033	1,000	1,000	0,002	0,002	Образование трещины в конструкции из- за статических перегрузок	0,071
2	0,322	0,100	1,000	0,002	0,002		
3	0,033	1,000	1,000	1,000	0,033		
4	0,029	0,100	1,000	1,000	0,029		
5	0,071	1,000	0,265	1,000	0,071		
6	0,655	1,000	1,000	0,002	0,002		
7	0,029	1,000	1,000	0,002	0,002		
8	0,033	1,000	1,000	0,002	0,002		
9	0,655	1,000	1,000	0,002	0,002	Образование трещины из-за динамических перегрузок	0,246
10	0,322	0,100	0,265	0,002	0,002		
11	0,071	1,000	1,000	1,000	0,071		
12	0,029	0,100	1,000	1,000	0,029		
13	0,033	1,000	1,000	0,246	0,033		
14	1,000	1,000	1,000	0,246	0,246	Образование трещины в конструкции из- за температурных деформаций	0,071
40	0,029	1,000	1,000	0,084	0,029		
41	0,071	0,100	0,265	1,000	0,071		
42	0,029	0,100	1,000	1,000	0,029		
43	0,071	1,000	0,265	0,138	0,071		
44	0,071	1,000	0,265	1,000	0,071		

Результаты прогнозирования появления повреждений строительных конструкций по каждой из возможных причин представлены в графической форме (рис. 5).



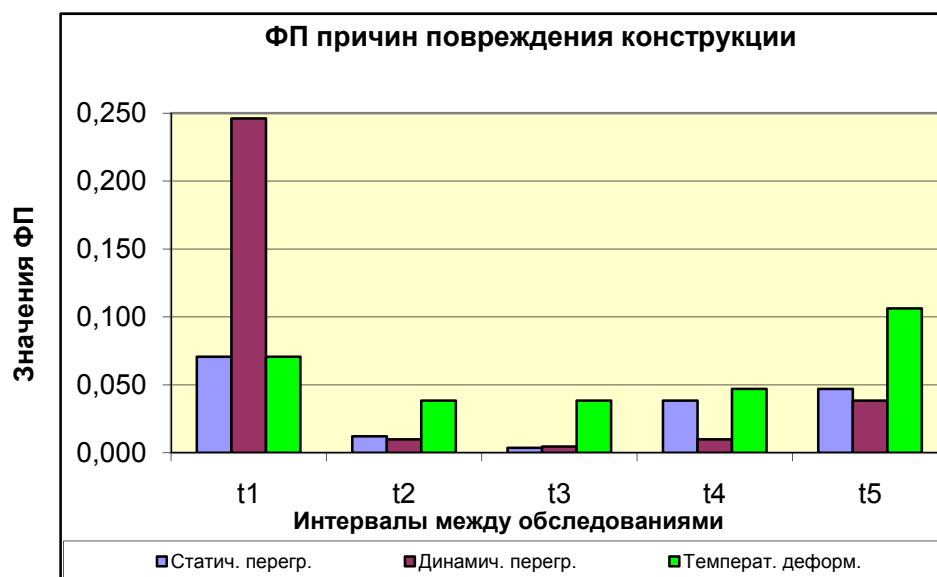


Рисунок 5.  
Значения ФП  
термов ЛП  
«Причина  
повреждения  
конструкции»

Из графиков, представленных на рис. 5, следует, что наиболее ожидаемой причиной повреждения конструкции в период  $t_1$  являются динамические перегрузки, а в периоды  $t_2$ ;  $t_3$ ,  $t_4$  и  $t_5$  – температурные деформации конструкции, причем с увеличением интервалов времени возможность этой причины возрастает.

### Выводы

На основе представленного материала можно сделать следующие выводы. Используя аппарат нечеткой логики, можно построить модель идентификации причин возникновения дефектов строительных конструкций различного типа. Одним из основных элементов модели является база нечетких знаний для определенных типов дефектов конструкций зданий и сооружений, при формировании которой используются знания и опыт строителей-экспертов. Данная модель позволяет осуществить прогнозирование появления повреждений зданий и сооружений по тем или иным возможным причинам. Получаемые прогнозы позволяют сократить расходы на обследования строительных объектов и дальнейшие эксплуатационные воздействия на них.

Анализ известных работ, посвященных обследованиям зданий и сооружений, показал, что в рассматриваемых методах и моделях не в полной мере учитывается неопределенность получаемых фактических данных о строительных конструкциях, обусловленная их высокой сложностью и большим числом факторов, приводящих к повреждениям. Выходом из создавшегося положения является использование знаний и опыта строителей-экспертов совместно с результатами инструментального и визуального контроля.

В статье обоснована актуальность разработки моделей идентификации и прогнозирования применительно к причинам возникновения повреждений строительных конструкций. С помощью предлагаемого подхода снижается уровень неопределенности при планировании эксплуатационных воздействий на здания и сооружения, а также создаются предпосылки автоматизации сложной логической обработки экспериментальных и экспертных данных. Критерием отбора мероприятий и соответствующих ресурсов, необходимых для конкретного обследования, выступает конечное заключение (консеквент) логического вывода о прогнозируемых причинах появления дефектов контролируемых зданий и сооружений. Данный подход может найти практическое применение в компаниях, на балансе которых имеются здания и сооружения.

## Литература

1. Рогонский В. А., Костриц А. И., Шеряков В. Ф. Эксплуатационная надежность зданий и сооружений. СПб. : Стройиздат СПб, 2004. 272 с.
2. Овчинникова С. К. и др. Технология управления недвижимостью города: Учеб. пособие. СПб. : Изд-во СПбГТУ, 1996. 64 с.
3. Обследование и испытание зданий и сооружений. Поверочные расчеты: Метод. указания / Сост. В.А. Соколов, Л.Н. Синяков, Д.А. Страхов. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 68 с.
4. Солдатенко Т. Н. Программа обслуживания комплекса жизнеобеспечения здания, оптимальная по нескольким критериям // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. №2(120). С. 81-86.
5. Ройтман А. Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий. М. : Стройиздат, 1985. 175 с.
6. Солдатенко Т. Н. Экспертно-статистический метод оценивания параметров управляющих воздействий на инженерные сети зданий в условиях неопределенности // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 5. С. 60-66.
7. Уткин В. С., Уткин Л. В. Экспертный метод определения физического износа зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2000. № 1. С. 48.
8. Shtovba S., Rotshtein A., Pankevich O., Fuzzy Rule Based System for Diagnosis of Stone Construction Cracks of Buildings // Advances in Computational Intelligence and Learning, Methods and Applications. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 2002. Pp. 401-412.
9. Соколов В. А. Диагностика технического состояния конструкций зданий и сооружений с использованием методов теории нечетких множеств // Инженерно-строительный журнал. 2010. №5(15). С. 31-37.
10. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М. : Мир, 1976. 167 с.
11. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. Рига : Зинатне, 1990. 184 с.
12. Liu K.F.R. A Possibilistic Petri Net Model for Diagnosing Cracks in RC Structures // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. vol. 18. 2003. Pp. 426-439.
13. Физдель И. А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения. 2-е изд. М. : Стройиздат, 1987. 336 с.
14. Алексеев А. А., Кораблев Ю. А., Шестопалов М. Ю. Идентификация и диагностика систем: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. М. : Издательский центр «Академия», 2009. 352 с.
15. Прикладные нечеткие системы: пер. с япон. / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иван и др.; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. М. : Мир, 1993. 368 с.
16. Ротштейн А. П., Кательников Д. И. Идентификация нелинейных объектов нечеткими базами знаний // Кибернетика и системный анализ. 1998. №5. С. 53-61.
17. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промзданий и сооружений. М. : НИИСК, 1989. 65 с.
18. Панкевич О. Д., Штовба С. Д. Діагностування тріщин будівельних констркцій за допомогою нечітких баз знань. Монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2005. 108 с.

*\*Тамара Николаевна Солдатенко, Санкт-Петербург, Россия*

*Тел. раб.: +7(812)297-59-49; эл. почта: soldatenko-tn@bk.ru*

doi: 10.5862/MCE.25.8

## Model of identification and prediction of building design defects on the basis of its inspection results

**T.N. Soldatenko,***Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia  
+7(812)297-59-49; e-mail: soldatenko-tn@bk.ru*

### Key words

inspection of building designs; accessory function; fuzzy logic; linguistic variables; damages reasons

### Abstract

Known methods of definition the reasons of building designs damages not to the full consider possibilities of expert estimations of their inspection results. In these methods forecasting of the defects reasons of buildings and structures in the future intervals of time is not provided, and also difficult algorithms of the logic analysis of the experimental and expert data that complicates its practical realization are used. The urgency of the offered approach consists in expansion of the problems solved at research of a condition of building designs and creation of effective procedures of work with indistinct knowledge bases.

The work purpose is decrease in level of uncertainty at identification and forecasting of defects of building designs. The purpose is reached by application of the device of fuzzy logic at the joint analysis of the expert aprioristic information and results of current tool control of a condition of buildings and constructions. It is offered to estimate possibility of detection of defects of certain types in the future intervals of time by means of the indistinct conclusions, the developed algorithms received at use and settlement procedures.

The offered approach has passed settlement approbation with reference to logic processing of the indistinct information on occurrence and development in time of cracks of building designs and has shown the working capacity. On the basis of these results conclusions are drawn on area and conditions of application of the developed algorithms and model.

### References

1. Rogonskiy V. A., Kostrits A. I., Sheryakov V. F. *Eksploatatsionnaya nadezhnost zdaniy i sooruzheniy* [Maintenance reliability of buildings and structures]. Saint-Petersburg : Stroyizdat SPb, 2004. 272 p. (rus)
2. Ovchinnikova S. K. i dr. *Tekhnologiya upravleniya nedvizhimostyu goroda: Ucheb. posobiye* [Management technology of urban realty: manual]. Saint-Petersburg : Izd-vo SPbGTU, 1996. 64 p. (rus)
3. *Obsledovaniye i ispytaniye zdaniy i sooruzheniy. Poverochnyye raschety: Metod. ukazaniya* [Investigation and testing of buildings and structures. Checking calculations: Guidelines]. Saint-Petersburg : Izd-vo Politekhn. un-ta, 2007. 68 p. (rus)
4. Soldatenko T. N. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU*. 2011. No. 2(120). Pp. 81-86. (rus)
5. Roytman A. G. *Nadezhnost konstruktivnykh eksploatiruyemykh zdaniy* [Reliability of exploited buildings structures]. Moscow : Stroyizdat, 1985. 175 p. (rus)
6. Soldatenko T. N. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 5. Pp. 60-66. (rus)
7. Utkin V. S., Utkin L. V. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo*. 2000. No. 1. Pp. 48. (rus)
8. Shtovba S., Rotshtein A., Pankevich O. Fuzzy Rule Based System for Diagnosis of Stone Construction Cracks of Buildings. *Advances in Computational Intelligence and Learning, Methods and Applications*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 2002. Pp. 401-412.
9. Sokolov V. A. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 5(15). Pp. 31-37. (rus)
10. Zade L. *Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i yeye primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy* [Concept of linguistic variable and its application to approximate solution making]. Moscow : Mir, 1976. 167 p. (rus)

11. Borisov A. N., Krumberg O. A., Fedorov I. P. *Prinyatiye resheniy na osnove nechetkikh modeley: Primery ispolzovaniya* [Decision making on the basis of fuzzy models: examples of application]. Riga : Zinatne, 1990. 184 p. (rus)
12. Liu K.F.R. A Possibilistic Petri Net Model for Diagnosing Cracks in RC Structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. vol. 18. 2003. Pp. 426-439.
13. Fizdel I. A. *Defekty v konstruktsiyakh, sooruzheniyakh i metody ikh ustraneniya* [Defects in structures, buildings and methods of their correction]. Moscow : Stroyizdat, 1987. 336 p. (rus)
14. Alekseyev A. A., Korablev Yu. A., Shestopalov M. Yu. *Identifikatsiya i diagnostika sistem: ucheb. dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy* [Identification and diagnostics of systems: textbook for students]. Moscow : Izdatelskiy tsentr «Akademiya», 2009. 352 p. (rus)
15. Asai K., Vatada D., Ivan S. i dr. *Prikladnyye nechetkiye sistemy* [Applied fuzzy systems]. Moscow : Mir, 1993. 368 p. (rus)
16. Rotshteyn A. P., Katelnikov D. I. *Kibernetika i sistemnyy analiz*. 1998. No. 5. Pp. 53-61. (rus)
17. *Rekomendatsii po otsenke sostoyaniya i usileniyu stroitelnykh konstruktsiy promzdaniy i sooruzheniy* [Guidelines on state estimate and reinforcement of industrial building structures]. Moscow : NIISK, 1989. 65 p. (rus)
18. Pankevich O. D., Shtovba Pp. D. *Diagnostuvannya trishchin budivelnykh konstrktsiy za dopomogoyu nechetkikh baz znan*. Monografiya. Vinnitsya : UNIVERSUM, 2005. 108 p. (ukr)

**Full text of this article in Russian: pp. 52-61**