

О.Д.Панкевич, ассистент (Винницкий гос. тех. университет)
И.В.Маевская, к.т.н., доц. (Винницкий гос. тех. университет)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИН ПОЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН КИРПИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ БАЗ ЗНАНИЙ

Введение

Задача выявления причин появления трещин возникает при обследовании строительных конструкций. Правильное определение причин появления трещин на ранних этапах обследования конструкции значительно сокращает сроки и стоимость проектно-восстановительных работ. Например, если на этапе визуальных обследований удастся установить, что причиной возникновения трещины является температурная деформация конструкции, то отпадает необходимость в работах, связанных с проверкой фундаментов - отрывке шурфов, экспериментального определения характеристик основания и фундаментов, проведения соответствующих расчетов и т.п.

Задача определения причин возникновения трещин строительных конструкций является достаточно сложной; ее правильное решение возможно только при учете большого количества разнообразных факторов, таких как: тип конструкции; состояние конструкции; направление, ширина, местоположение трещины и т.п. Кроме того, на сегодня отсутствуют аналитические зависимости, связывающие внешние проявления трещины и причины ее возникновения. Заметим, что на этапе визуальных обследований опытные эксперты-диагносты достаточно легко определяют класс причин возникновения трещины, например, перегрузка статическая, неравномерная осадка здания, влияние температуры, без составления и решения каких-либо уравнений. При принятии решений они используют лингвистические правила типа «ЕСЛИ трещина - *вертикальная* И проходит *через всю стену* И раскрыта *к низу* И грунты - *неоднородные*, ТО причина - *неравномерная осадка фундамента*», в которых сконцентрированы теоретические знания и личный опыт диагностирования. Количество таких специалистов ограничено, поэтому возникает необходимость в разработке соответствующих экспертных диагностических систем.

В работе предлагается экспертная система, обеспечивающая интеллектуальную поддержку при определении причин возникновения трещин кирпичных конструкций зданий по результатам визуальных обследований. Основу системы составляют формализованные с помощью теории нечетких множеств [1] экспертные лингвистические правила.

Постановка задачи

Возможные причины возникновения трещин в кирпичных конструкциях будем классифицировать следующим образом:

d_1 - перегрузка статическая;

d_2 - перегрузка динамическая;

d_3 - особая перегрузка (землетрясения, взрывы);

d_4 - дефекты фундаментов или деформация основания;

d_5 - температурные деформации;

d_6 - связанные со свойствами материалов или нарушением технологии производства работ.

Приведенная классификация соответствует максимальной глубине диагностирования, которая может быть достигнута на этапе визуальных обследований. Исходной информацией, необходимой для определения причины возникновения трещины, служат значения следующих параметров состояния диагностируемого объекта: **x_1** - тип конструкции; **x_2** - условия работы конструкции; **x_3** - толщина горизонтальных швов; **x_4** - дефекты заполнения вертикальных швов; **x_5** - система перевязки; **x_6** - наличие непредусмотренных отверстий; **x_7** - дефекты армирования; **x_8** - кривизна конструкции; **x_9** - превышение допустимого отклонения от вертикали; **x_{10}** - увлажнение кладки; **x_{11}** - шелушение кладки; **x_{12}** - выветривание кладки; **x_{13}** - выщелачивание кладки; **x_{14}** - выкрошивание кладки; **x_{15}** - местонахождение трещины; **x_{16}** - направление трещины; **x_{17}** - направления раскрытия трещины; **x_{18}** - ширина трещины; **x_{19}** - длина трещины; **x_{20}** - последствия пожара; **x_{21}** - информация о землетрясениях, взрывах; **x_{22}** - наличие динамических нагрузок; **x_{23}** - скалывания под перемычкой; **x_{24}** - глубина трещины; **x_{25}** - смещение подпорной стены или стены подвала; **x_{26}** - аварии систем водо- и теплоснабжения; **x_{27}** - наличие водостоков и отмостки; **x_{28}** - наличие слабых грунтов; **x_{29}** - наличие воды в подвале; **x_{30}** - наличие поблизости емкостных сооружений; **x_{31}** - проведение строительных работ вблизи объекта; **x_{32}** - смещение балок, перемычек; **x_{33}** - необходимость осадочного шва; **x_{34}** - наличие осадочного шва; **x_{35}** -

наличие ранее неучтенных нагрузок; \mathbf{x}_{36} - наличие механических повреждений, уменьшающих расчетное сечение; \mathbf{x}_{37} - опирание балок и прогонов перекрытия без соответствующих конструктивных мероприятий; \mathbf{x}_{38} - недостаточная величина опирания балок, плит; \mathbf{x}_{39} - необходимость температурного шва; \mathbf{x}_{40} - наличие температурного шва; \mathbf{x}_{41} - выполнение работ зимой; \mathbf{x}_{42} - использование разнородных материалов. Определение значений указанных параметров легко осуществляется инженерами-строителями средней квалификации без использования специальных приборов и инструментов.

С математической точки зрения построение диагностической модели сводится к поиску отображения вида $\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_{42}\} \rightarrow \mathbf{D} \in \{\mathbf{d}_1, \dots, \mathbf{d}_6\}$, позволяющего произвольному диагностируемому объекту, заданного вектором \mathbf{X} , поставить в соответствие одну причину \mathbf{D} из множества $\{\mathbf{d}_1, \dots, \mathbf{d}_6\}$.

Модель принятия решений

Математическая модель определения причины возникновения трещины кирпичной конструкции здания представляет собой следующую систему соотношений [2]:

$$\mathbf{D} = f_{\mathbf{D}}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{y}_1, \mathbf{x}_{15}, \mathbf{x}_{16}, \mathbf{x}_{17}, \mathbf{x}_{18}, \mathbf{x}_{19}, \mathbf{y}_3);$$

$$\mathbf{y}_1 = f_{\mathbf{y}_1}(\mathbf{x}_3, \mathbf{x}_4, \mathbf{x}_5, \mathbf{x}_6, \mathbf{y}_2, \mathbf{x}_7, \mathbf{x}_8, \mathbf{x}_9, \mathbf{x}_{10});$$

$$\mathbf{y}_2 = f_{\mathbf{y}_2}(\mathbf{x}_{11}, \mathbf{x}_{12}, \mathbf{x}_{13}, \mathbf{x}_{14});$$

$$\mathbf{y}_3 = f_{\mathbf{y}_3}(\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_5, \mathbf{x}_{20}, \mathbf{x}_{21}, \mathbf{x}_{22}, \mathbf{x}_{23}, \mathbf{x}_{24}, \mathbf{y}_6, \mathbf{y}_7);$$

$$\mathbf{y}_4 = f_{\mathbf{y}_4}(\mathbf{x}_{25}, \mathbf{x}_{26}, \mathbf{y}_8, \mathbf{x}_{27}, \mathbf{x}_{28}, \mathbf{x}_{29}, \mathbf{x}_{30}, \mathbf{x}_{31}, \mathbf{x}_{32});$$

$$\mathbf{y}_5 = f_{\mathbf{y}_5}(\mathbf{x}_{35}, \mathbf{x}_{36}, \mathbf{x}_{37}, \mathbf{x}_{38});$$

$$\mathbf{y}_6 = f_{\mathbf{y}_6}(\mathbf{x}_{39}, \mathbf{x}_{40});$$

$$\mathbf{y}_7 = f_{\mathbf{y}_7}(\mathbf{x}_{41}, \mathbf{x}_{42});$$

$$\mathbf{y}_8 = f_{\mathbf{y}_8}(\mathbf{x}_{33}, \mathbf{x}_{34}),$$

где \mathbf{y}_1 - \mathbf{y}_8 - укрупненные параметры состояния,

$f(.)$ - логическим вывод, осуществляемый по нечетким базам знаний.

Укрупненные параметры состояния содержательно интерпретируются следующим образом: Y_1 - состояние конструкции; Y_2 - повреждения кладки; Y_3 - дополнительная информация; Y_4 - возможность осадки; Y_5 - возможность статической перегрузки; Y_6 - требования к температурному шву; Y_7 - возможность нарушения технологии строительного производства; Y_8 - требования к осадочному шву.

Иерархическая взаимосвязь между параметрами состояния и причиной возникновения трещины задана в виде девяти нечетких баз знаний. В качестве примера в табл. 1 приведен фрагмент нечеткой базы знаний верхнего уровня. Каждая строка базы знаний соответствует одному лингвистическому правилу типа «Если - то». Правила в базе знаний связаны логической операцией «ИЛИ», а все переменные в рамках одного правила связаны логической операцией «И». Символ «—» в табл. 1 означает, что соответствующая переменная исключена из данного правила. Общее количество правил в нечетких базах знаний [2] равно 151. Термы «короткая», «средней длины», «длинная», «очень длинная» и другие, используемые для лингвистической оценки параметров состояния, заданы в виде нечетких множеств с колоколообразными функциями принадлежности [3]. Алгоритм принятия решения по определению причины возникновения трещины кирпичной конструкции приведен в [2]. Этот алгоритм представляет собой последовательность нечетких логических выводов по выше приведенной системе соотношений.

Программная реализация

Описанная выше диагностическая модель положена в основу экспертной системы интеллектуальной поддержки принятия решений при определении причин возникновения трещин кирпичных конструкций зданий. Экспертная система реализована на базе программной оболочки FuzzyExpert [3]. Для работы системы требуется персональный компьютер с операционной системой Windows-95. Обмен информацией между пользователем и экспертной системой осуществляется через развитый графический интерфейс, что обеспечивает возможность ее использования инженерами-строителями без специальной подготовки в области теории нечетких множеств и компьютерных наук. В качестве иллюстрации на рис. 1 показано главное окно системы.

Экспериментальные исследования

Исследование адекватности проводилось на выборке, содержащей 89 объектов, расположенных в Винницкой, Житомирской, Николаевской и Хмельницкой областях. Совпадение компьютерного решения с действительными причинами появления трещин наблюдалось в 85 случаях; в остальных 4 случаях действительности причине соответствовало второе по рангу решение. Результаты тестирования системы приведены в табл. 2.

Заключение

В работе предложена экспертная система, обеспечивающая интеллектуальную поддержку принятия диагностических решений при определении причин возникновения трещин кирпичных конструкций зданий. В основу системы положены, формализованные в виде нечетких баз знаний, экспертные лингвистические правила. Безошибочность диагностирования системы превышает 95%, что позволяет рекомендовать ее для практического использования.

Литература

1. Zimmerman H.-J. Fuzzy Sets Theory - and Its Applications. 3rd ed.- Kluwer Academic Publisher, 1996.- 435p.
2. Панкевич О.Д., Штовба С.Д. Модель на основе нечетких баз знаний для диагностирования трещин кирпичных конструкций зданий // Вестник Винницкого политехнического института, 2000, №5.- С.14-21.
3. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999.- 320с.



Рисунок. Главное окно экспертной системы

Таблица 1. Фрагмент нечеткой базы знаний о причины трещины

x_1	x_2	y_1	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	y_3	D
—	несущая	—	на опорах	—	верхнее	—	—	перегрузка статическая	d_1
—	несущая	сильно ослабленное	на опорах	вертикальная	верхнее	—	—	отсутствует	d_1
стена с проемом	несущая	ослабленное	через всю конструкцию	косая	равномерное	волосая	очень длинная	перегрузка динамическая	d_2
—	—	—	между стенами	вертикальная	верхнее	—	—	перегрузка динамическая	d_2
стена глухая	несущая	—	между стенами	косая	верхнее	—	—	перегрузка особая	d_3
—	несущая	ослабленное	—	вертикальная	верхнее	волосая	короткая	перегрузка особая	d_3
стена с проемом	несущая	ослабленное	через всю конструкцию	косая	нижнее	большая	—	отсутствует	d_4
—	несущая	—	—	—	верхнее	—	—	дефекты фундаментов	d_4
стена глухая	несущая	—	нижний части	вертикальная	нижнее	большая	—	дефекты фундаментов	d_4
—	несущая	—	в верхней части	вертикальная	верхнее	—	—	влияние температуры	d_5
—	само-несущая	нормальное	в верхней части	косая	верхнее	мелкая	длинная	влияние температуры	d_5
перегородка с проемом	ненесущая	сильно ослабленное	в верхней части	косая	верхнее	мелкая	средней длины	свойства материалов	d_6
—	—	ослабленное	от монолитного включения	вертикальная	—	мелкая	—	свойства материалов	d_6

Таблица 2. Результаты тестирования системы

Причина трещины	Количество диагностируемых объектов	Безошибочность диагностирования
d_1 - перегрузка статическая	9	78 %
d_2 - перегрузка динамическая	5	100 %
d_3 - перегрузка особая	8	100 %
d_4 - деформация оснований или дефекты фундаментов	54	98 %
d_5 - температурная деформация	9	89 %
d_6 - связанная со свойствами материалов или нарушениями технологии производства работ	4	100 %
$d_1 — d_6$	89	95.5 %