

рованном режиме определять необходимые затраты на ТО и ремонты и корректировать ранее принятые плановые и управленческие решения, исходя из их реального ресурсного обеспечения.

Получено 18.05.2002

УДК 658.012.1 : 624.01

Ю.В.ЖУРАВЛЕВ

*Харьковский государственный технический университет
строительства и архитектуры*

С.Д.ГОРБУНОВ, канд. техн. наук

Харьковская государственная академия городского хозяйства

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Рассматривается подход к разработке автоматизированной системы принятия решений, в основе которой заложены элементы теории искусственного интеллекта. Предметной областью является технология производства железобетонных изделий, основой математической модели – экспертные лингвистические правила.

При обследовании железобетонных конструкций, осуществляемых в связи с реконструкцией здания, неразрушающие методы являются единственно возможными методами контроля качества.

Понимая под качеством продукции строительной индустрии совокупность свойств, обеспечивающих возможность использования этой продукции в соответствии с назначением, отметим, что в готовых железобетонных изделиях (ЖБИ) контролируют показатели, которые обеспечивают восприятие действующих на конструкцию нагрузок: прочность, жесткость и трещиностойкость.

На сегодняшний день отсутствуют аналитические зависимости и простые инженерные методики, которые позволяли бы учесть основные технологические факторы, влияющие на трещиностойкость ЖБИ.

На Харьковском ДСК-1 и Куряжском ДСК проводились исследования влияния основных производственных факторов на трещиностойкость изделий путем опроса специалистов. Необходимо отметить, что высококвалифицированные технологи-эксперты достаточно легко – без применения методов математического моделирования, определяют причину возникновения трещин. При принятии решения они используют лингвистические правила типа “ЕСЛИ - ТО - ИНАЧЕ”, в которых выражены их знания, личный опыт, система предпочтений. В условиях информационной “зашумленности” строительного производства, неопределенности входных параметров технологических

процессов разработка информационно-советующих систем, использующих знания технологов-экспертов и обеспечивающих интеллектуальную поддержку при принятии решений, представляется актуальной и своевременной.

Среди методов технической диагностики наибольшее распространение получили байесовский подход, метод фазового интервала, методы логического программирования, искусственные нейронные сети. Однако эти методы не предусматривают работу с лингвистическими переменными и правилами, которые составляют основу базы знаний интеллектуальных систем принятия решений (ИСПР) и значениями которых являются слова или предложения естественного человеческого языка, т.е. *качественные термы*.

Опираясь на качественные термы, составляющие основу ИСПР, можно осуществлять анализ сложных технических систем, к которым относятся технологические процессы производства стройматериалов, в частности, кассетная технология производства ЖБИ.

Опрос экспертов выявил следующие производственные факторы (лингвистические переменные d_i) – параметры регулирования, снижающие трещиностойкость панелей и стеновых перегородок в кассетной технологии производства ЖБИ:

d_1 – напряженное состояние кассетной установки при ее закрытии и формовке; d_2 – передача напряженного состояния на изделие при усадке бетона на конечном этапе тепловой обработки и при распалубливании; d_3 – неправильный состав бетона (завышенное В/Ц, более высокая по ОК пластичность бетонной смеси и др.); d_4 – низкое качество цемента (низкая активность, медленные сроки его твердения); d_5 – несоблюдение параметров арматурных каркасов (диаметр арматуры, смещение плоских сеток плит перекрытий в процессе бетонирования); d_6 – недопустимо высокие скорости нагрева и остывания изделий в процессе тепловлажностной обработки (ТВО); d_7 – чрезмерное отклонение температуры изотермы от заданной при ТВО; d_8 – применение материалов, не соответствующих проекту (песок, щебень); d_9 – состояние кассетной установки; d_{10} – недостаточная прочность бетона.

Предложенная классификация производственных факторов трещинообразования, по общему мнению участвующих в опросе экспертов, направлена на определение комплекса мероприятий по устранению дефектов ЖБИ в процессе их производства.

Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_j\}$ – множество параметров состояний ЖБИ, влияющих на принятие решения. Тогда задача выявления причин трещинообразования, с математической точки зрения, может быть представлена, как поиск отображения:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_j\} \rightarrow d \in D = \{d_1, d_2, \dots, d_i\}, \quad (1)$$

Смысловая интерпретация параметров состояний и соответствующие множества лингвистических переменных (терм-множества) приведены ниже:

x_1 – тип изделия $\{x_1^1 = \text{перекрытие (пр)}, x_1^2 = \text{внутренняя перегородка сплошная (впс)}, x_1^3 = \text{внутренняя перегородка с отверстием (впо)}\}$;
 x_2 – условия работы $\{x_2^1 = \text{несущая (н)}, x_2^2 = \text{ненесущая (нн)}\}$; x_3 – местоположение трещины $\{x_3^1 = \text{через все изделие (чв)}, x_3^2 = \text{в верхней части (вч)}, x_3^3 = \text{в средней части (сч)}, x_3^4 = \text{в нижней части (нч)}\}$; x_4 – вид трещины $\{x_4^1 = \text{вертикальная (в)}, x_4^2 = \text{горизонтальная (г)}\}$; x_5 – направление раскрытия $\{x_5^1 = \text{верхнее (вр)}, x_5^2 = \text{нижнее (нж)}, x_5^3 = \text{равномерное (рм)}\}$; x_6 – ширина трещины $\{x_6^1 = \text{мелкая (мл)}, x_6^2 = \text{средняя (ср)}, x_6^3 = \text{крупная (кр)}\}$; x_7 – длина трещины $\{x_7^1 = \text{короткая (кр)}, x_7^2 = \text{средняя (ср)}, x_7^3 = \text{длинная (дл)}\}$; x_8 – глубина трещины $\{x_8^1 = \text{мелкая (мл)}, x_8^2 = \text{средняя (ср)}, x_8^3 = \text{глубокая (гл)}\}$.

Использование нечетких терм-множеств позволяет выстраивать базы знаний ИСПР, отображающие причинно-следственные связи между входными и выходными переменными. В общем виде фрагмент базы знаний имеет вид, представленный в таблице.

Математической моделью ИСПР выступает система нечетких логических уравнений, связывающих функции принадлежности выходных переменных с входными переменными – параметрами состояния. Нечеткие логические уравнения получаются путем замены лингвистических термов функциями принадлежности и замены логических операций “И” и “ИЛИ” операциями нахождения минимума и максимума

соответственно. В качестве примера, ниже приведены нечеткие логические уравнения для выявления причин трещинообразования, которые соответствуют фрагменту базы знаний, приведенной в таблице.

Фрагмент базы знаний в общем виде

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	D
впс	н	вч	г	вр	мл	кр	мл	d_1
впс	нн	нч	г	-	ср	кр	-	d_1
Пр	нн	сч	-	мл	кр	ср	-	d_2
впс	н	вч	в	-	мл	кр	ср	d_2
...
впс	нн	чв	-	рм	мл	кр	мл	d_{10}
впо	нн	нч	в	-	ср	-	-	d_{10}

$$\mu^{d_1}(D) = \mu^{впс}(x_1) \cdot \mu^n(x_2) \cdot \mu^{вч}(x_3) \cdot \mu^g(x_4) \cdot \mu^{вр}(x_5) \cdot \mu^{мл}(x_6) \cdot \mu^{кр}(x_7) \cdot \mu^{мл}(x_8) \vee \mu^{впс}(x_1) \cdot \mu^{нн}(x_2) \cdot \mu^{нч}(x_3) \cdot \mu^g(x_4) \cdot \mu^{ср}(x_6) \cdot \mu^{кр}(x_7);$$

$$\mu^{d_2}(D) = \mu^{пр}(x_1) \cdot \mu^{нн}(x_2) \cdot \mu^{сч}(x_3) \cdot \mu^{мл}(x_5) \cdot \mu^{кр}(x_6) \cdot \mu^{ср}(x_7) \vee \mu^{впс}(x_1) \cdot \mu^n(x_2) \cdot \mu^{вч}(x_3) \cdot \mu^в(x_4) \cdot \mu^{мл}(x_6) \cdot \mu^{кр}(x_7) \cdot \mu^{ср}(x_8); \quad (2)$$

.....

$$\mu^{d_{10}}(D) = \mu^{впс}(x_1) \cdot \mu^{нн}(x_2) \cdot \mu^{чв}(x_3) \cdot \mu^{рм}(x_5) \cdot \mu^{мл}(x_6) \cdot \mu^{кр}(x_7) \cdot \mu^{мл}(x_8) \vee \mu^{впо}(x_1) \cdot \mu^{нн}(x_2) \cdot \mu^{нч}(x_3) \cdot \mu^в(x_4) \cdot \mu^{ср}(x_6);$$

Причина трещинообразования определяется ИСПР по терму из множества d_i с максимальной степенью принадлежности.

Система принятия решений позволяет в реальном масштабе времени корректировать технологический процесс производства ЖБИ по критерию "трещиностойкость", влияя, в конечном счете, на качество изделий.

Оценка адекватности рекомендаций ИСПР оценивалась по методике, предложенной в [3]. Если $\{D_i\}$ ($i = 1 \dots k$) – вектор нечетких значений параметров состояния, вычисленных системой, а $\{D_i^*\}$ ($i = 1 \dots k$) – вектор нечетких значений, определяющий экспертные суждения относительно значений этих параметров, то для нахождения меры близости этих нечетких векторных значений в ИСПР применяется соотношение:

$$\xi = \bigwedge_{i=1..k} \xi_i^{\beta_i} = \bigwedge_{i=1..k} \left[\bigvee_{d_i \in D} \mu_{D_i^*}(x_j) \wedge \mu_{D_i}(x_j) \right]^{\beta_i}, \quad (3)$$

где β_i – вес i -го параметра регулирования, определяется по методу парных сравнений. Мера сходства рекомендаций ИСПР с решениями экспертов при контрольном испытании системы составила 0,74 по первым двум производственным факторам, выявленным экспертами и 0,78 – по всем остальным. Экспертами отмечено, что вырабатываемые системой рекомендации при оценке качества ЖБИ хорошо соотносятся с их собственными представлениями и оценками. ИСПР может применяться в советующем режиме производства ЖБИ по касетной технологии.

Программный продукт реализован в интегрированной среде создания приложений для Windows-Builder C++ v4.0. Функционирует на базе IBM PC/AT и совместимых ПЭВМ не ниже 80486DX2 с объемом ОЗУ не менее 8 МБ и объемом дискового пространства – не менее 16 МБ.

1. Панкевич О.Д., Масевская И.В. Автоматизация принятия решений при определении причин трещин кирпичных конструкций // Будівельні конструкції. – 2001. – Вип. 54. – С.528-534.

2. Вендров А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем: Центр информационных технологий (www.citforum.ru).

3. Максименко А.А. Учет достоверности экспертных суждений при выполнении нечетких выводов // Тезисы докл. Всероссийской межвузовской науч.-тех. конф. студентов и аспирантов. – Зеленоград: МИЭТ, 1999. – С.128.

Получено 18.05.2002