

Модель интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению состоянием строительных конструкций зданий

*Д.т.н., профессор В.З. Величкин;
старший преподаватель Т.Н. Солдатенко**

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: состояние строительных конструкций; функция принадлежности; нечеткая логика; интеллектуальная поддержка принятия решений

Задачи управления техническим состоянием зданий и их строительных конструкций претерпевают в настоящее время существенное изменение. Для ремонтно-строительного производства, осуществляемого управляющими организациями, наблюдаются тенденции, основные из которых приведены на схеме рис. 1.

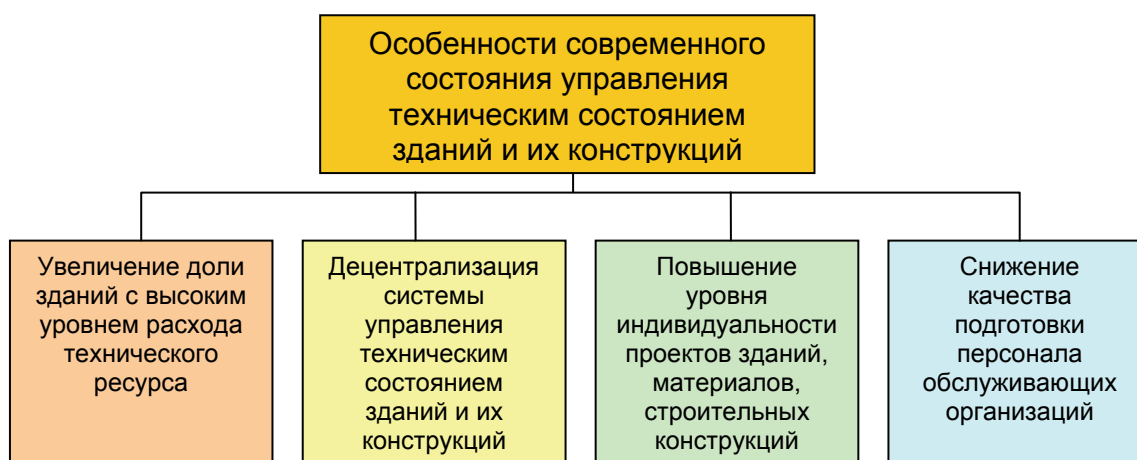


Рисунок 1. Основные особенности состояния системы управления техническим состоянием зданий и их строительных конструкций

Указанные на рис. 1 особенности являются причинами того, что растет уровень неопределенности принятия соответствующих решений по управлению техническим состоянием строительных конструкций. Также это явление обусловлено [1, 2]:

- неполным соответствием учитываемых на этапе проектирования расчетных схем и расчетных ситуаций реальной работе строительных конструкций;
- неоднородностью прочностных, деформационных, структурных, теплозащитных, акустических, химических и других свойств материалов, используемых в строительных конструкциях, а также свойств, определяющих их стойкость к внешним воздействиям и долговечность;
- неопределенностью и возможной изменчивостью условий эксплуатации здания, зависящих от технологических процессов, которые в нем осуществляются, а также от внешних факторов (недостатки тепло- и энергоснабжения, погодные аномалии и т.п.);
- отсутствием достаточного объема статистических данных о свойствах новых материалов и строительных конструкций здания, проявляющихся в процессе строительства и последующей эксплуатации здания;
- неопределенной результативностью применяемых методов противодействия негативным факторам.

Эти особенности необходимо учитывать при планировании работы управляющих организаций, отвечающих за состояние зданий, в том числе при определении фактического технического состояния зданий [3, 4]. Для снятия неопределенности ситуации разработано несколько подходов [5, 6, 7]. Одним из наиболее перспективных направлений в повышении эффективности управления техническим состоянием строительных конструкций в условиях неопределенности является применение интеллектуальных систем поддержки принятия решений управляющей организации [8, 9]. Под интеллектуальными системами поддержки принятия решений в статье понимается такая система Величкин В.З., Солдатенко Т.Н. Модель интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению состоянием строительных конструкций зданий

поддержки принятия решений, в которой используются методы искусственного интеллекта [10, 11, 12]. В статье рассматривается вариант построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений, в рамках которого применяются методы поддержки принятия решений, основанные на применении методов нечеткой логики при оценивании состояния строительных конструкций [13, 14]. Основными отличиями рассмотренного подхода от известных является совместный учет двух факторов неопределенности – нечеткости принятия решения по управлению на основе ретроспективных данных о состоянии строительной конструкции здания и нечеткости получения текущей информации при применении инструментальных и экспертных методов оценок текущего технического состояния конструкций. Это позволяет снизить общий уровень неопределенности ситуации, получить более точные управляющие решения.

Такой подход является актуальным для современного состояния системы эксплуатации зданий, поскольку позволяет существенно повысить эффективность процесса принятия решений о проведении необходимых управляющих воздействий по сравнению с другими известными методами [15, 16]. Объектом рассмотрения в настоящей статье выступают строительные конструкции зданий. Предметом исследования является процесс формирования решений управляющей организации по управлению техническим состоянием строительных конструкций зданий с применением интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Практическая значимость получаемых результатов состоит в том, что при рассмотренном подходе создаются предпосылки к автоматизации процесса подготовки и принятия решений по управляющим воздействиям, адекватным целям деятельности управляющей организации по обеспечению необходимой долговечности строительных конструкций. Перейдем к изложению существа предлагаемого подхода.

Математическая модель принятия решения в обслуживающей организации по управлению состоянием строительных конструкций зданий

Повысить точность формирования управляющих воздействий (достаточно дорогостоящих и трудоемких) возможно при совместном использовании накопленной (ретроспективной) информации, результатов текущего контроля и мониторинга состояния строительных конструкций, а также результатов экспертного заключения по эффективности применяемых мероприятий по обеспечению долговечности строительных конструкций [17, 18]. Обобщение разнородной информации и получение сложных логических выводов возможно на основе применения интеллектуальных систем поддержки принятия решений [10, 16, 19]. Однако их широкому распространению и внедрению в практику деятельности управляющих организаций препятствует недостаточная проработка вопросов моделирования принимаемых решений в условиях существенной неопределенности. На преодоление этого недостатка и нацелена данная статья. Рассмотрим модель принятия решения по выбору управляющего решения по управлению техническим состоянием строительной конструкции.

Предположим, что состояние строительной конструкции характеризует один параметр (показатель некоторого свойства). Обозначим его через x . В случае нескольких параметров состояния можно осуществить их свертку. Один из возможных способов свертки множества параметров состояния в скалярную величину рассмотрен в работе [13]. Полагается, что параметр состояния x строительной конструкции доступен для наблюдения и измерения инструментальными и экспертными методами. Предположим, что для параметра x установлено некоторое множество его состояний, которые составляют вектор $X = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$. Например, для строительных конструкций нормативными документами вводится пять уровней состояния – от работоспособного (исправного) до аварийного (согласно ГОСТ Р 53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», СП 13-102-2003. «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений», ВСН 57-88(р). Положение по техническому обследованию жилых зданий). Пусть также возможные мероприятия по воздействию на исследуемую строительную конструкцию представляют собой вектор $Y = \langle y_1, y_2, \dots, y_m \rangle$. Каждому из состояний x_i ($i = 1(1)n$) должно быть заранее сопоставлено одно или несколько возможных управляющих воздействий y_j , $y_j \in Y$ ($j = 1(1)m$). Соответствие состояний строительной конструкции возможным управляющим мероприятиям y_j ($j = 1(1)m$) должно быть задано некоторым правилом P . Это можно пояснить схемой на рис. 2.

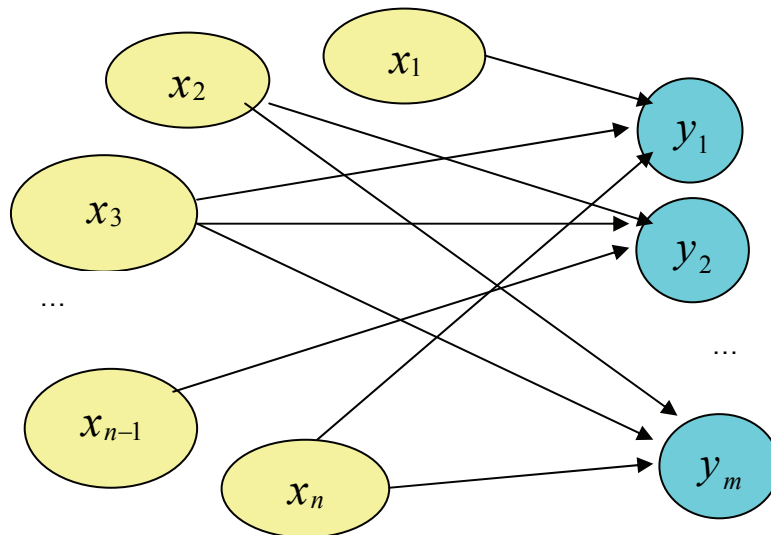


Рисунок 2. Экспертно установленные правила соответствия управляющих воздействий на строительную конструкцию возможным ее состояниям

Таким образом, можно сформировать множество управляющих воздействий $U = \langle u_1, u_2, \dots, u_K \rangle$, в состав которого входят элементы структуры выбора конкретного воздействия при зафиксированном в ходе контроля состоянии x_f строительной конструкции. Решения по управлению u_i ($i = 1(1)n$) должны формироваться системой поддержки принятия решений управляющей организации. Будем полагать, что неизвестность ситуации управления характеризуется вектором $\Omega = \langle \omega_1, \omega_2 \rangle$ частных условий неопределенности. Условие ω_1 характеризует неопределенность соответствия каждого u_i ($i = 1(1)K$) конкретному состоянию x из-за ограниченности исходных данных для описания изменения состояния строительной конструкции, особенно нового типа, в условиях эксплуатации здания и его реакции на возможные управляющие воздействия. Условие ω_2 характеризует неопределенность определения фактического состояния x_f параметра x при выполнении инструментального или экспертного контроля строительной конструкции при мониторинге состояния здания специалистами управляющей организации. Учтем неопределенность типа ω_1 введением нечеткого описания состояния строительной конструкции здания с помощью лингвистической переменной \tilde{x} . В этом случае можно записать [13,20,21]:

$$\tilde{x} = \{x, \mu_x\}, \tag{1}$$

где μ_x – функция принадлежности лингвистической переменной \tilde{x} .

В данной работе с учетом соотношения (1) предлагается соответствие P характеризовать знанием, определяемым продукционным правилом типа «ЕСЛИ ..., ТО» [15, 21]. Таким образом, интеллектуальное принятие решения по управлению состоянием строительной конструкции представляет собой операцию импликации

$$u^* : (\tilde{x} \rightarrow \tilde{y}) / P. \tag{2}$$

Рассмотрим теперь ситуацию, связанную с фактором ω_2 . Предположим, что из-за особенностей системы контроля получить точную количественную оценку x_f текущего состояния строительной конструкции здания нет возможности. При этом результат контроля q_f строительной конструкции представляет собой один из термов q множества Q термов значения контролируемого параметра. Например, если нечеткое значение \tilde{x} контролируемого параметра x имеет значение «высокий», то термы q указанного значения могут иметь вид «умеренно высокий», «сравнительно высокий», «не очень высокий», «очень высокий» и т.д. В этом случае параметр x строительной конструкции может быть оценен по косвенным признакам, например, в виде: «значение параметра довольно высокое», при этом

указывается уровень принадлежности результата контроля к одному из термов. Поэтому для каждого термина q лингвистической переменной x необходимо по результатам ретроспективной информации построить его функцию принадлежности (ФП). При сделанных допущениях модель принятия решения по использованию мероприятия y_f по управлению состоянием строительной конструкции здания можно представить следующим образом:

$$u^*(y_f) = W(q_f, P, y_f / \omega_1, \omega_2), \quad (3)$$

где P – правило соответствия воздействия y_f фактическому состоянию q_f строительной конструкции с учетом неопределенностей двух типов.

В этом случае результат оценки z_f технического состояния строительной конструкции по контролируемому параметру x с учетом двух видов неопределенности представляет собой результат пересечения двух функций принадлежности – ФП параметра x_f , характеризующей продукционное правило (2), и ФП результата \tilde{q}_f текущего контроля технического состояния строительной конструкции. Максимальное значение полученной в ходе этого объединения ФП нечеткой переменной \tilde{z}_f будет представлять собой значение итоговой ФП оценки фактического состояния строительной конструкции. Это заключение представлено соотношением [15, 16]:

$$\mu(\tilde{z}_f) = \text{height}(\tilde{q}_f \cap \tilde{x}_f) = \sup_{x_f \in X} \min(\mu(q_f), \mu(x_f)). \quad (4)$$

Значение показателя, представленное в выражении (4), будем называть α -уровнем результата \tilde{z}_f контроля состояния строительной конструкции. После этого в соответствии с продукционным правилом (2) и управлением u^* следует определить предполагаемый вид управляющего воздействия y_f на строительную конструкцию по параметру x . Управление u^* для строительной конструкции должно наиболее полно соответствовать фактическому состоянию x_f исследуемой строительной конструкции здания.

Последовательность действий по принятию решения об управляющем воздействии на состояние строительной конструкции, характеризующее параметром x , для рассматриваемого случая представлена на схеме рис. 3.

Таким образом, при получении решения по управлению состоянием строительной конструкции используются элементы искусственного интеллекта, поэтому система, реализующая эту процедуру, может быть отнесена к классу интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Рассмотрим расчетный пример, характеризующий применимость разработанной в статье методики.

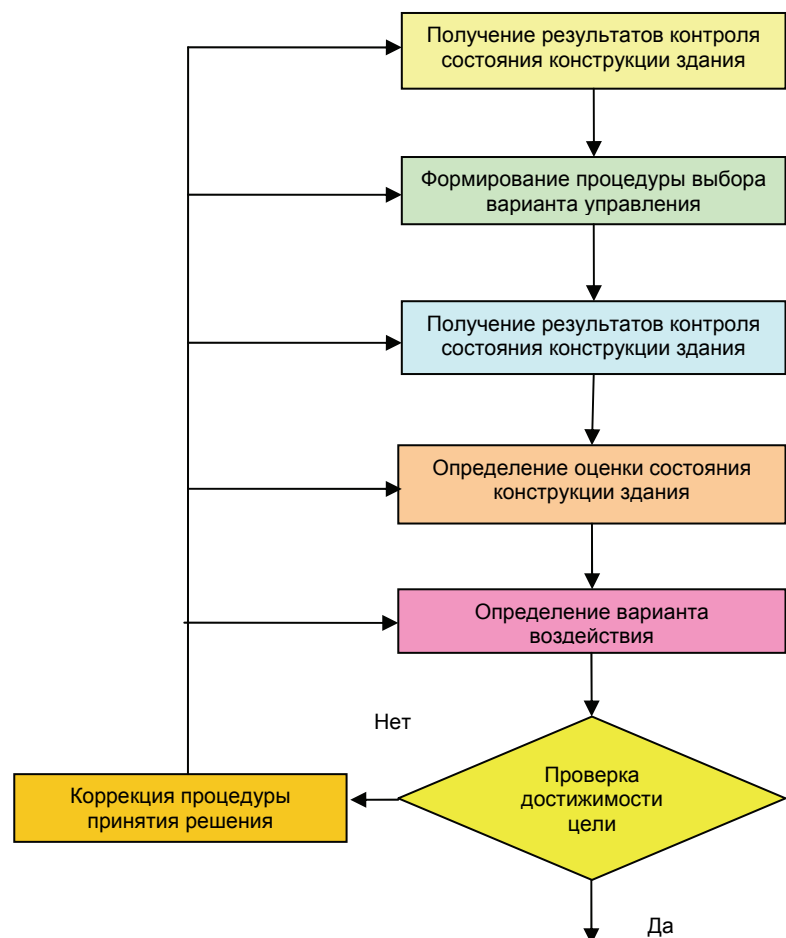


Рисунок 3. Этапы подготовки и принятия решения по выбору управляющего воздействия на состояние строительной конструкции здания

Расчетный пример

Постановка задачи.

Данное здание является примером нарушения правил эксплуатации, выражающегося в несвоевременной защите стены здания от повышенного увлажнения, вызванного повреждениями кровли (рис. 4). Параметром x ее состояния является остаточный ресурс надежности в годах эксплуатации [22]. К множеству возможных управляющих воздействий относятся укрепление конструкции, разборка части стены здания; снос здания и т.д. [23]. Предполагается, что по результатам анализа ретроспективной информации определено, что предусмотренные пределы изменения параметра x находятся в пределах интервала $[0; 4]$ (лет). При этом эксперт описывает данный параметр как лингвистическую переменную: «остаточный ресурс».



Рисунок 4. Фото поврежденной стены здания

Для числового описания данного параметра используется колоколообразная функция принадлежности с показателями: $b = 2,2$ (года) и $c = 0,4$.

Экспертный вывод предполагает возможное для данной нечеткой величины управляющее воздействие, имеющее также колоколообразную функцию принадлежности с параметрами $b = 100$ и $c = 50$. Уровень воздействий в данном случае может определяться стоимостью проводимых мероприятий, например, в долях процентов от стоимости полной замены строительной конструкции. Тогда значения нечеткой переменной, характеризующей управление состоянием строительной конструкции, может иметь пределы изменения $[0; 100]$.

Особенности системы контроля строительной конструкции здания не позволяют получить точное значение параметра x . Текущее значение параметра строительной конструкции оценивается экспертно по косвенным признакам. Для каждого из возможных состояний строительной конструкции вводятся термы q , имеющие вид: «остаточный ресурс очень низкий», «остаточный ресурс низкий», «остаточный ресурс удовлетворительный» и т.д. Для каждого из указанных термов экспертным способом определена на основе ретроспективной информации соответствующая ФП. При исследовании текущего состояния стены эксперты получили вывод о том, что $q_f = 1,8$ (года), где q_f – оценка значения остаточного ресурса строительной конструкции. Для расчетов используется допущение о том, что терму «остаточный ресурс низкий» соответствует колоколообразная ФП со следующими показателями: координата максимального значения ФП равна 1,8 года; коэффициент концентрации равен 0,1.

Необходимо:

подготовить обоснованный вариант решения по интеллектуальному управлению состоянием строительной конструкции (поврежденной стены здания).

Решение задачи.

Рассмотрим два варианта постановки задачи.

Первый вариант задачи состоит в том, что результат q_f контроля строительной конструкции рассматривается как четкое число. Принятие решения для этого результата приведено на графике рис. 5. Синяя стрелка показывает способ реализации продукционного правила P для данного результата контроля.

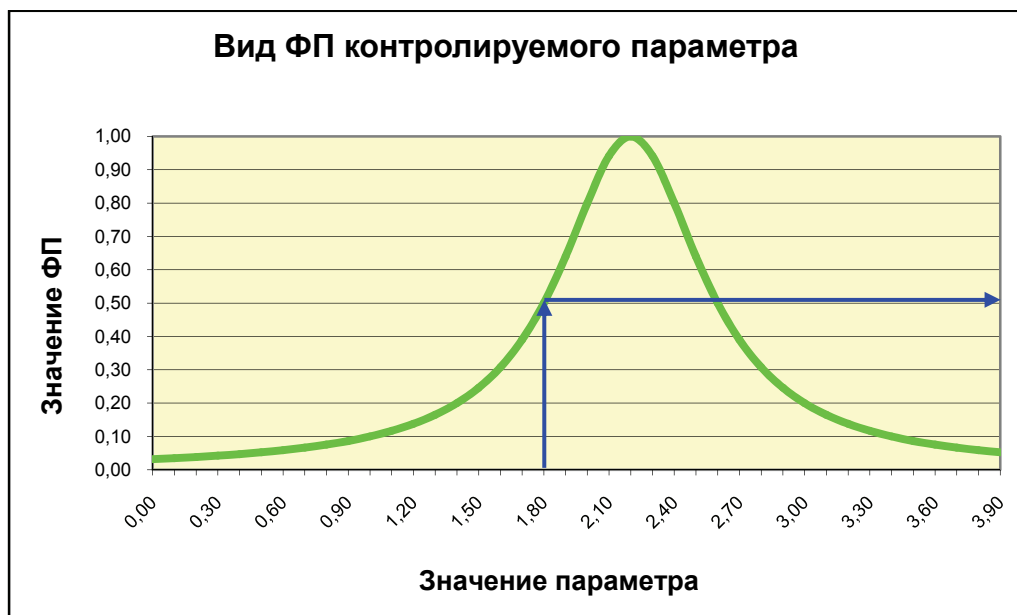


Рисунок 5. Вид ФП для значения параметра состояния «остаточный ресурс»

Идея осуществления процедуры интеллектуального выбора управляющего решения представлена на графике рис. 6.

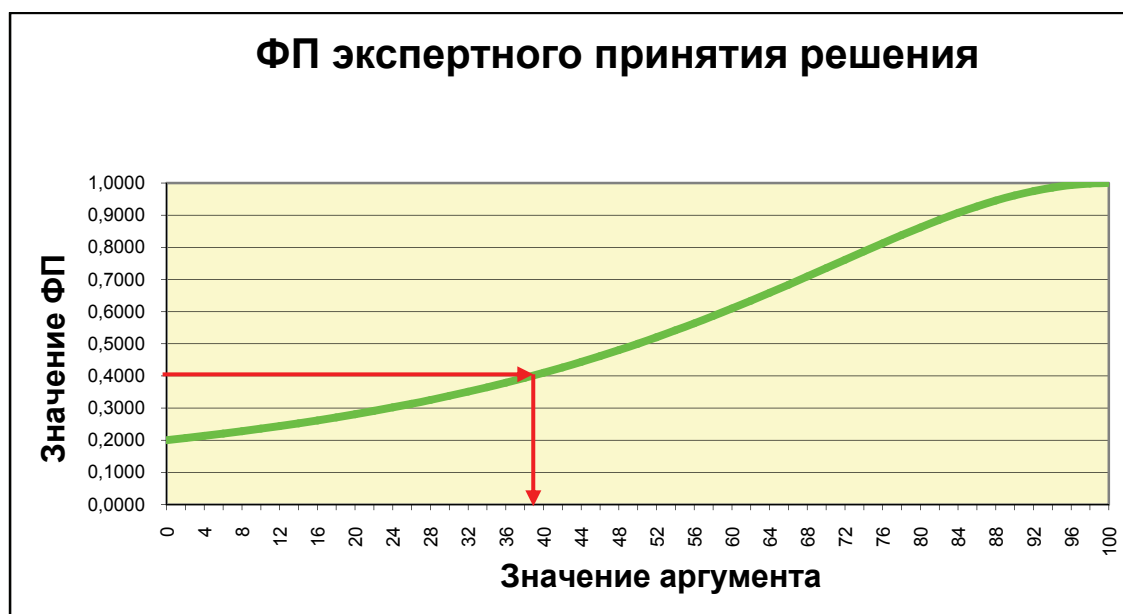


Рисунок 6. Вид ФП для возможных управляющих воздействий

Красная стрелка на графике рис. 6 определяет управляющее воздействие с экспертно установленным приемлемым уровнем затрат на осуществление управления при зафиксированном текущем состоянии строительной конструкции. Это состояние выражено четким значением q_f параметра, равным 1,8 года.

Рассмотрим теперь второй вариант решения задачи. Параметр состояния стены представляет собой нечеткую величину с несколькими термами. Как и в первом примере, изменение параметра x «остаточный ресурс» находится в пределах интервала $[0; 4]$ года. Однако теперь результат \tilde{q}_f оценивания состояния строительной конструкции характеризуется термом «Остаточный ресурс низкий», имеющим соответствующую ФП. Этот результат представлен на графике рис. 7.



Рисунок 7. Вид ФП для значения \tilde{q}_f термина «Остаточный ресурс низкий»

Получим теперь оценку z_f на основе реализации правила пересечения двух нечетких множеств в соответствии с выражением (4). Данное действие отражено на рис. 8.



Рисунок 8. Вид ФП для оценки состояния конструкции при нечетком контроле

Значения ФП результата контроля представляют собой минимальные значения для двух рассматриваемых ФП при одних и тех же числовых значениях параметра состояния конструкции. Итоговая ФП имеет на рис. 8 вид зависимости, представленной графиком красного цвета. Максимальное значение этой итоговой ФП соответствует уровню α . Для выбора управляющего воздействия исходная ФП (см. рис. 6) отсекается на уровне α [16, 21]. Итоговая ФП интеллектуального решения представлена на рис. 8 (график зеленого цвета).

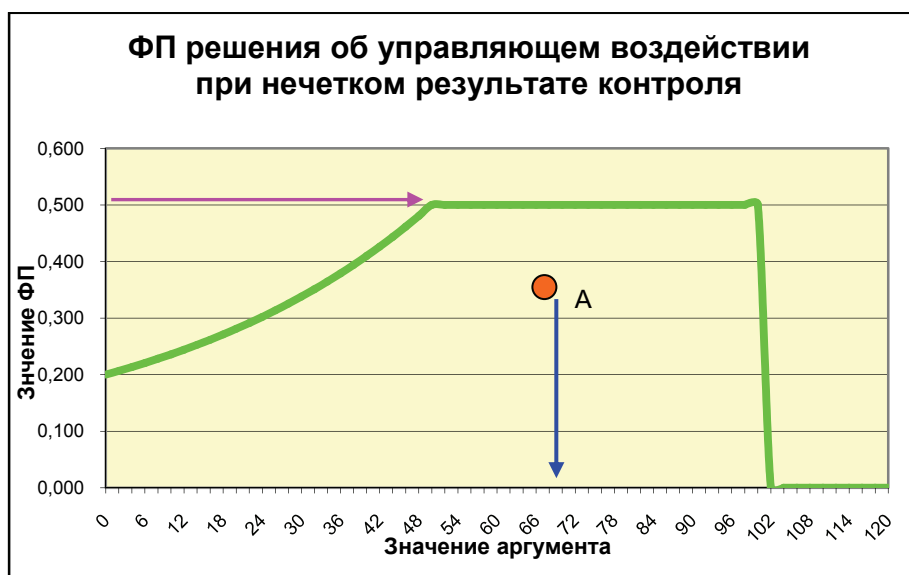


Рисунок 8. Вид итоговой ФП для принятия решения об управлении состоянием конструкции при нечетком контроле

Для определения четкого аргумента управления состоянием конструкции можно воспользоваться методом «центра тяжести» [16, 21]. В данном случае точка «А» на рис. 8 соответствует «центру тяжести» ФП принятия решения. Синяя стрелка, начало которой находится в «центре тяжести», определяет целесообразное решение по управлению состоянием конструкции. Сравнение ФП получаемых решений для двух вариантов задачи по управлению состоянием строительной конструкции (рис. 6 и рис. 8) показывает, что снижение уровня определенности контроля состояния приводит к повышению цены необходимых воздействий. Это соответствует реальной ситуации экспертного оценивания состояния строительной конструкции, когда снижается уверенность эксперта в формулировании вывода при «размывании» условий получения экспертного заключения и он предпочитает «подстраховаться», выбирая более эффективный способ воздействия на строительную конструкцию, который является при этом более дорогим.

Выводы

На основе представленного материала можно сделать следующие выводы. Используя аппарат нечеткой логики, можно построить модель интеллектуального принятия решения по управлению состоянием строительных конструкций зданий. Основными элементами модели являются описания нечеткого продукционного вывода и нечеткого контроля состояния строительной конструкции здания, при формировании которых используются инструментальные средства и знания экспертов. Получаемые при моделировании рекомендации позволяют более точно определять расходы на эксплуатацию зданий за счет учета существенных неопределенностей, характерных для такого типа объектов.

Анализ известных работ, посвященных управлению состоянием строительных конструкций зданий, показал, что в рассматриваемых методах и моделях не в полной мере учитывается неопределенность результатов текущего контроля фактического состояния конструкций и принятия управляющего решения, обусловленная рядом объективных факторов, включая ограниченность имеющейся ретроспективной информации. Выходом из создавшегося положения является совершенствование систем поддержки принятия решений в направлении обобщения знаний и опыта экспертов с результатами инструментального и визуального контроля строительных конструкций.

В статье обоснована актуальность разработки моделей интеллектуального принятия решений по управлению состоянием строительных конструкций зданий на основе использования математического аппарата нечеткой логики. С помощью предлагаемого подхода снижается уровень неопределенности при определении эксплуатационных воздействий на строительные конструкции зданий для обеспечения их требуемой долговечности. Кроме этого, формируются предпосылки автоматизации сложной логической обработки экспериментальных и экспертных данных. Критерием принятия решения по выбору адекватного мероприятия для обеспечения необходимого ресурса строительной конструкции здания выступает конечное заключение о фактическом состоянии исследуемой строительной конструкции здания и возможностях обеспечения ее долговечности.

Данный подход может найти практическое применение в управляющих организациях, осуществляющих поддержание работоспособного состояния зданий.

Величкин В.З., Солдатенко Т.Н. Модель интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению состоянием строительных конструкций зданий

Литература

1. Рогонский В. А., Костиц А. И., Шеряков В. Ф. Эксплуатационная надежность зданий и сооружений. СПб.: Стройиздат СПб, 2004. 272 с.
2. Ройтман А. Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий. М.: Стройиздат, 1985. 175 с.
3. Соколов В. А., Синяков Л. Н., Страхов Д. А. Обследование и испытание зданий и сооружений. Поверочные расчеты: Метод. Указания. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 68 с.
4. Kim Y. W., Kim S. C. Cost analysis of information technology-assisted quality inspection using activity-based costing // Construction Management & Economics. 2011. Vol. 29. No. 2. Pp. 163-172.
5. Englund S., Sorensen J., Sorensen B. Evaluation of Repair and Maintenance Strategies for Concrete Coastal Bridges on a Probabilistic Basis // ACJ Materials Journal. 1999. Vol. 96. No. 2. Pp. 160-166.
6. Солдатенко Т. Н. Программа обслуживания комплекса жизнеобеспечения здания, оптимальная по нескольким критериям // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. №2(120). С. 81-86.
7. Соколов В. А. Построение решения для оценки технического состояния конструктивных систем зданий и сооружений с использованием вероятностных методов распознавания // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 6. С. 48-57.
8. Терелянский П. В. Системы поддержки принятия решений. Опыт проектирования: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2009. 127 с.
9. Головина Е. Ю. Корпоративные информационные системы и методы их разработки. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 94 с.
10. Антамошин А. Н., Близнава О. В., Бобов А. В., Большаков А. А. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами. М.: Горячая линия Телеком, 2006. 160 с.
11. Ereemeev A., Kurilenko I., Varshavskiy P. Application of Temporal Reasoning and Case-based Reasoning in Intelligent Decision Support Systems // Supplement to International Journal «Information technologies & knowledge». 2009. Vol. 3. Pp. 9-16.
12. Liu K. F. R. A Possibilistic Petri Net Model for Diagnosing Cracks in RC Structures // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2003. Vol. 18. Pp. 426-439.
13. Солдатенко Т. Н. Модель идентификации и прогноза дефектов строительной конструкции на основе нечеткого анализа причин их появления // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 7(25). С. 52-61.
14. 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. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. Pp. 401-412.
15. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184 с.
16. Асаи К., Ватада Д., Иван С. Прикладные нечеткие системы: пер. с япон. М.: Мир, 1993. 368 с.
17. Уткин В. С., Уткин Л. В. Экспертный метод определения физического износа зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2000. № 1. С. 48.
18. 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.
19. Averkin A. N., Titova N. V., Agrafonova T. V. Synthesis of distributed fuzzy hierarchical model in decision support systems in fuzzy environment // Proceeding of the 5 th EUSFLAT Conference. Ostrava, Czech Republic: 2007. Vol. 1. Pp. 377-379.
20. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 167 с.
21. Алексеев А. А., Кораблев Ю. А., Шестопапов М. Ю. Идентификация и диагностика систем: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 352 с.
22. Мирошниченко А. С. Обследование и оценка остаточных ресурсов строительных конструкций. Уч. Пособие. М.: МИКХиС, 2004. 65 с.
23. Гроздов В. Т. Техническое обслуживание строительных конструкций зданий и сооружений. СПб.: Издательство дом KN+, 2001. 140 с.

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

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

Величкин В.З., Солдатенко Т.Н. Модель интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению состоянием строительных конструкций зданий