

Кашеварова Галина Геннадьевна (Пермь). Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН. Заведующая кафедрой «Строительные конструкции и вычислительная механика» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (614010, Пермь, ул. Куйбышева, 109. ПНИПУ) Эл. почта: ggkash@mail.ru.

Тонков Юрий Леонидович (Пермь). Старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции и вычислительная механика» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (Пермь, Комсомольский просп., 29), главный специалист технического отдела АО «ВНИИ Галургии» (Пермь, ул. Сибирская, 94). Эл. почта: 95081@mail.ru.

Kashevarova Galina G. (Perm). Professor, Dr.Sc., Corresponding Member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Head of department "Building constructions and computational mechanics" Of FGBOU VO "Perm National Research Polytechnic University; Russia, 614010, Perm, ul. Kuibyshev, 109. PNRPU). E-mail: ggkash@mail.ru.

Tonkov Yuri L. (Perm). Seniorlecturer of the Department of building structures and computational mechanics at the Perm National Research Polytechnic University (Perm, Komsomolsky av., 29), the main specialist of the Technical department of the JSC VNII of Halurgy (Perm, Sibirskaya, 94). E-mail: 95081@mail.ru.

© Кашеварова Г.Г., Тонков Ю.Л., 2022.
Academia. Архитектура и строительство, № 2, стр. 85–91.

Экспертная система для практической диагностики строительных конструкций

Внедрение интеллектуальных технологий в экспертную деятельность инженера-строителя мотивировано необходимостью передачи знаний опытных экспертов специалистам разной квалификации для расширения и укрепления их профессиональных возможностей. Экспертные системы (ЭС), имитирующие логику рассуждений опытного человека-эксперта, включающие знания, накопленные и описанные в научной, методической литературе и нормативных документах, расширяют профессиональные возможности специалистов и позволяют принимать эффективные решения о категории технического состояния строительных объектов. В данной статье представлены пользовательский интерфейс разработанной ЭС для практической диагностики строительных конструкций и пример практической реализации на реальном промышленном предприятии. Реализована возможность выявлять и контролировать автоматизированным способом причинно-следственную связь между признаками и техническим состоянием конструкций, обеспечивающая поддержку решения инженера-обследователя в вопросе определения категории технического состояния конструкций.

Ключевые слова: техническая диагностика, экспертная система, строительные конструкции, интеллектуальные системы.

Expert System for Practical Diagnostics of Building Structures

The introduction of intelligent technologies into the expert activity of a civil engineer is motivated by the need to

transfer the knowledge of experienced experts to specialists of various qualifications in order to expand and strengthen their professional capabilities. Expert systems (ES), imitating the reasoning logic of an experienced human expert, including knowledge accumulated and described in scientific, methodological literature and regulatory documents, expand the professional capabilities of specialists and allow making effective decisions on the category of technical condition of construction objects. The article presents the user interface of the developed ES for practical diagnostics of building structures and an example of practical implementation at a real industrial enterprise. The ability to identify and control in an automated way the cause-and-effect relationship between the features and the technical condition of structures has been implemented, which provides support for the decision of the survey engineer in determining the category of the technical condition of structures.

Keywords: technical diagnostics, expert system, building structures, intelligent systems.

Введение

Наиболее эффективный способ обеспечения конструктивной безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений – это регулярная техническая диагностика, жёсткий независимый контроль величины риска аварии на стадии их эксплуатации. Нормативной основой технической диагностики эксплуатируемых строительных объектов в мире являются

многочисленные международные государственные стандарты и своды правил, представленные институтами стандартов Российской Федерации и других стран, а также научные публикации, учебные пособия и методическая литература. Но «знания» по диагностике технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, содержащиеся в этих документах, – фрагментарны, разрознены и не содержат чёткие стратегии принятия решений. Практически отсутствует рассмотрение технического состояния конструкций с позиций закономерностей системного целого и иерархического учёта влияющих факторов. Эксперт, проводящий диагностику, должен установить наиболее значимые характеристики из выбранного набора параметров, характеризующих состояние конструкции. Шкала ГОСТ включает всего четыре категории технического состояния (КТС): 1 – нормативное, 2 – работоспособное, 3 – ограниченно работоспособное или 4 – аварийное. «Переход» строительной конструкции из одного технического состояния в другое фактически происходит не «скачкообразно», а через множество промежуточных состояний, границы между которыми размыты. Всё это требует от эксперта при назначении КТС конструкций принимать волевые решения, увеличивая нежелательную долю субъективности в техническом заключении [1]. Для этого необходим опыт, который развивает индивидуальные знания специалиста и позволяет экспертам делать разумные предположения, находить подходы к проблемам и принимать эффективные решения.

Но люди не могут хранить большие объёмы данных в памяти, быстро их анализировать, устают от физической или умственной нагрузки, забывают важные детали, непоследовательны в своих решениях. Целесообразно укреплять и расширять профессиональные возможности специалистов за счёт применения интеллектуальных технологий в виде экспертных систем (ЭС), построенных на обобщенных систематизированных экспертных знаниях. В строительной отрасли технология экспертных систем вызывает определённый интерес, о чём свидетельствуют как зарубежные, так и отечественные публикации [2–6].

Экспертные системы – это компьютерные программы, имитирующие поведение (рассуждения, высказывания) человека-эксперта, знания которого закодированы в программе, но не заменяющие его в непосредственной деятельности.

В ЭС реализуется мышление человека, а точнее – элементы его мыслительной деятельности в процессе принятия решения, плюс знания, накопленные специалистами и описанные в научной литературе, методических и нормативных документах. Экспертные знания – это сочетание теоретического понимания проблемы и эмпирических правил (эвристик) для её решения.

Архитектура экспертных систем (рис. 1) с точки зрения входящих в неё программных модулей является типовой для большинства проектов [7]. Основной компонент ЭС – это база знаний конкретной предметной области, в которой представлена стратегия решения проблемы. Все остальные компонен-

ты являются частями универсальной структуры построения экспертной системы, применимой к разным приложениям.

Для внесения изменений в базу знаний разработчиками ЭС предусматривается редактор базы знаний, который позволяет добавлять новые знания или редактировать существующие. Для получения ответов на интересующие пользователя вопросы, разъяснений выдаваемых заключений предусматривается подсистема объяснений. Общение экспертной системы с пользователем на стадиях ввода информации и получения результатов реализует интерфейс пользователя.

Природа знаний имеет «две стороны». Это описание фактов, признаков, состояний, явлений, (декларативные знания) и описание манипуляций с ними (процедурные знания)¹. Источники знаний – обширная база практических и теоретических исследований по технической диагностике конструкций зданий и сооружений [8–13], нормативная документация, эвристические знания и рассуждения специалистов.

Создание и применение таких систем стало возможным, благодаря достижению определённого уровня математической формализации в технологии искусственного интеллекта. Разработка ЭС заметно отличается от написания обычных компьютерных программ. В настоящее время для их создания существуют разнообразные программные системы. Среди них: интегрированная производственная система CLIPS, оболочка для управления нечёткими фактами и правилами FuzzyCLIPS, оболочка экспертной системы GURU, оболочка для гибридных экспертных систем FLEX, среда для технических вычислений MatLab и др. Каждый из этих инструментов имеет свою специфику и особенности, требует определенных навыков работы и наличия соответствующего программного продукта на компьютере.

Для внедрения и использования ЭС в практической деятельности эксперта необходимо: обеспечить возможность лёгкого изменения и дополнения баз данных и знаний; приме-

¹ Классификатор основных видов дефектов в строительстве и промышленности строительных материалов. Утверждён Главгосархстройнадзором России 17 ноября 1993 года (<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=126543>).

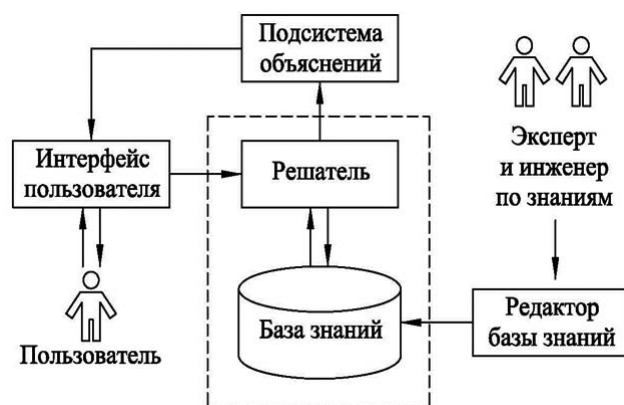


Рис. 1. Архитектура экспертной системы. Схема авторов статьи

нение языка, удобного для создания, чтения и модификации программы, возможность создания разметки в соответствии с потребностями экспертов в сфере обследования конструкций зданий и сооружений. С учётом данного факта разработана ЭС диагностики технического состояния строительных конструкций, нацеленная на использование инженером максимально доступных и понятных средств и возможностей. ЭС, не заменяя эксперта в его непосредственной деятельности, а расширяя и усиливая его профессиональные возможности, способны повысить мыслительную деятельность человека, взять на себя некоторые функции человека-эксперта или «работать» в качестве ассистента лица, принимающего решение в проблемной ситуации.

В данной работе в качестве примера представлена Экспертная система «КТС-ИЖБК», предназначенная для оперативного принятия решений о категории технического состояния железобетонной изгибаемой конструкции в соответствии с ГОСТ 31937-2011². На экспертную систему получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа внедрена в работу экспертных групп по оценке технического состояния конструкций, что подтверждено актом внедрения. Она обеспечивает выполнение следующих функций:

- анализ принадлежности железобетонной изгибаемой конструкции к категории технического состояния непосредственно по каждому введённому значению контролируемых параметров технического состояния;

- анализ принадлежности железобетонной изгибаемой конструкции к категории технического состояния по всем (предусмотренным программой) введённым значениям контролируемых параметров технического состояния (по группам).

- хранение и чтение ранее созданных файлов модели.

Для реализации математических моделей и выполнения численных процедур на ЭВМ при идентификации категории технического состояния строительных конструкций на основе нечётких баз знаний выбран табличный процессор Microsoft Excel [15], входящий в пакет программ Microsoft Office.

Это весьма доступное программное средство, позволяющее пользователю самостоятельно реализовывать процесс решений математических задач, не прибегая к услугам программиста. Простота создания программы и доказанная возможность реализации нечёткой экспертной системы открывают новые возможности для инженеров-обследователей в создании собственных экспертных систем, личных баз знаний и библиотек программ, ориентированных на конкретные задачи диагностики конструкций.

В формализованном виде описание навигационной структуры программы Microsoft Excel представляет собой файл в формате XML, который позволяет обрабатывать, из-

менять данные в любых других системах вне зависимости от клиентской платформы или операционной системы. Кроме того XML – расширяемый язык, разработчик ограничен лишь синтаксическими правилами языка.

Пользовательский интерфейс ЭС

Для работы программы необходимо наличие в персональном компьютере программы Microsoft Excel. При запуске «управляющего» файла «КТС-ИЖБК» появляется окно (рис. 2). Интерфейс пользователя программы включает кнопки, а также всплывающие информационные окна и раскрывающиеся списки.

При диагностике состояния строительного объекта эксперты часто пользуются приближёнными оценками параметров, которые нельзя интерпретировать как полностью истинные или полностью ложные. Ответы эксперта на вопросы о предпочтении факторов, влияющих на оценку технического состояния конструкции, их количестве и взаимосвязи в значительной степени являются субъективными. Поэтому наиболее эффективные решения задач, содержащих размытость и неточность, можно получить с применением математического аппарата теории нечётких множеств и нечёткой логики, предложенного Л. Заде в 1965 году, который даёт возможность учитывать разброс индивидуальных мнений. С практической точки зрения с каждым нечётким множеством ассоциируется некоторое свойство, признак или атрибут, которые характеризуют рассматриваемые объекты. Теория нечётких множеств позволяет формализовать и обрабатывать самую разнородную информацию, содержащуюся в описании признаков технического состояния конструкций, моделировать слабо формализуемые рассуждения, такие как: «много», «мало», «часто», «редко», «около ...», «приблизительно ...», «не менее ...», «не более ...», «в диапазоне от ... до ...» и др. Применение этой теории и её приложений позволяет строить формальные схемы решения задач с приближёнными количественными или качественными оценками параметров, используя при этом лингвистические переменные [16–20].

На начальном этапе работы экспертной системы всем контролируемым параметрам присваиваются значения, соответствующие нормативному техническому состоянию (имитируется отсутствие у оцениваемой конструкции дефектов и повреждений).

При указании контролируемого параметра появляется «раскрывающийся список», и пользователь указывает нужное качественное (рис. 3) или количественное (рис. 4) значение контролируемого параметра.

Пользователю необходимо последовательно вводить данные, полученные при обследовании строительного элемента (конструкции), для каждого «контролируемого состояния» (подсистема с перечнем соответствующих контролируемых параметров).

Предусматривается возможность использования функции «Справка» для просмотра технического руководства

² ГОСТ 31937-2011. Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния / Введён в действие Приказом Росстандарта от 27.12.2012 № 1984-ст (<https://docs.cntd.ru/document/1200100941>).

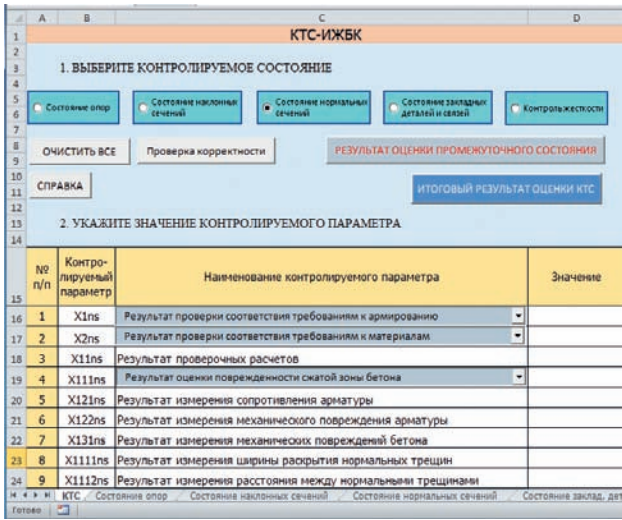


Рис. 2. Диалоговое окно, появляющееся при запуске программы «KTS-ИЖБК»



Рис. 3. Выбор значения качественного контролируемого параметра из раскрывающегося списка



Рис. 4. Ввод значения количественного контролируемого параметров



Рис. 5. Обследование серии стропильных балок. Фото с натуры авторов статьи

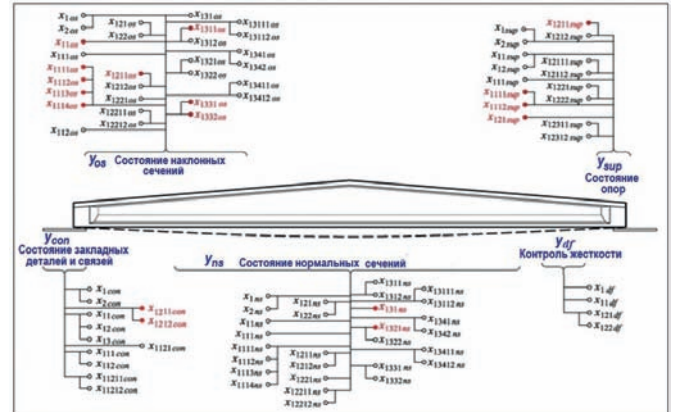


Рис. 6. Расположение контролируемых параметров. Схема авторов статьи



Рис. 7. Графическое отображение итоговых результатов определения принадлежности контролируемых групп параметров к категориям технического состояния. Диаграмма авторов статьи

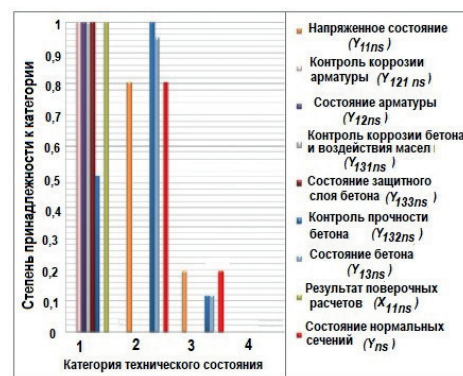


Рис. 8. Графическое отображение промежуточных результатов степени принадлежности контролируемых параметров технического состояния конструкции (чёткие значения) на непрерывной шкале категорий. Диаграмма авторов статьи

пользователя (включающего описание последовательности действий и правил ввода параметров для исключения получения некорректного результата оценки), а также функции «Проверка корректности» – для выявления некорректных, противоречивых значений контролируемых параметров.

По результатам ответов пользователь может наблюдать за принадлежностью к категориям введённых в систему значений контролируемых параметров конструкции (признаков) и за изменением категории технического состояния как промежуточных значений, так и итоговых (для всей конструкции). Для уточнения параметров повреждений, например, при наличии нормальных трещин в середине пролёта балки, система запрашивает более подробную, детальную информацию (расстояние между трещинами, ширину раскрытия трещин, класс арматуры на уровне трещины и др.).

Пример практической реализации ЭС

Апробация разработанной экспертной системы проводилась в процессе обследований существующих строительных конструкций промышленных предприятий Пермского края. Одним из объектов являлись стропильные балки (рис. 5) здания ОАО «ПМЦЗ» (город Пашья). На рисунке 6 показано расположение контролируемых параметров. Отмечены параметры с обнаруженными аномалиями.

В результате детального обследования одной из балок для идентификации категории технического состояния экспертом была предоставлена следующая информация:

1. На опорных участках (опоры) – y_{sup} :
 - 1.1 – участки сплошной поверхностной коррозии арматуры – x_{111sup} ;
 - 1.2 – площадь сечения арматуры уменьшена в результате коррозии на 3% – x_{112sup} ;
 - 1.3 – выщелачивание извести из бетона – 1% – x_{121sup} ;
 - 1.4 – продуктах фильтрации обнаружен бикарбонат – x_{121sup} ;
2. На приопорных участках (наклонные сечения) – y_{os} :
 - 2.1 – прочность по результатам поверочного расчёта не обеспечена – x_{11os} ; перенапряжение – 4%;
 - 2.2 – наклонная трещина ширина раскрытия – 0,1 мм – x_{111os} ;
 - 2.3 – длина стержня поперечной арматуры – 910 мм – x_{112os} ;
 - 2.4 – арматура класса А-III – x_{113os} ;
 - 2.5 – угол наклона наклонной трещины – 48° – x_{114os} ;
 - 2.6 – участки сплошной поверхностной коррозии поперечной арматуры – x_{121os} ;
 - 2.7 – выщелачивание извести из бетона – 1% – x_{131os} ;
 - 2.8 – нейтрализация защитного слоя бетона – не более 35% – x_{133os} ;
 - 2.9 – площадь повреждения защитного слоя бетона – 14% – x_{133os} ;
3. В пролёте (нормальные сечения) – y_{ns} :

3.1 – сколы бетона (механические повреждения) с уменьшением площади сечения балки – до 3% – x_{131ns} ;

3.2 при простукивании бетона издается довольно звонкий звук, на поверхности бетона остаются малозаметные сколы и штрихи – x_{132ns} ;

4. Закладные детали – y_{con} :

4.1 – обнаружены участки сплошной поверхностной коррозии детали – x_{121con} ;

4.2 – площадь сечения детали уменьшена на 2% – x_{122con} .

Результаты оценки технического состояния обследованной балки, полученные с помощью разработанной экспертной системы, могут быть представлены в виде гистограмм с группировкой контролируемых параметров технического состояния конструкции по категориям (от 1 до 4) (рис. 7).

Также на промежуточных этапах можно оценить влияние каждого контролируемого параметра конструкции (чёткое значение степени принадлежности на непрерывной шкале) к той или иной категории технического состояния (рис. 8)

Визуализация результатов значительно повышает «прозрачность» принимаемых решений о степени аварийности, формирует понимание причин и рисков возможного изменения технического состояния зданий или сооружений.

Заключение

Реализована возможность выявлять и контролировать автоматизированным способом причинно-следственную связь между признаками и состоянием конструкций, обеспечивающую поддержку решения инженера-обследователя в вопросе определения категории технического состояния конструкций. Это позволит каждому отдельно взятому специалисту увидеть альтернативные оценки предложенных решений и, возможно, пересмотреть их в результате совместного анализа. После такого независимого исследования гораздо проще сделать наиболее правильный итоговый выбор.

Внедрение экспертной системы в практическую деятельность инженера-строителя для определения категории технического состояния конструкций позволит повысить эффективность принятия решения за счёт сокращения времени на аналитическую обработку сведений по результатам освидетельствований и измерений, а также снижения неопределённостей в результатах при решении задач большой размерности.

Библиографический список

1. Тонков, И.Л. Актуальные проблемы оценки технического состояния строительных конструкций / И.Л. Тонков, Ю.Л. Тонков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 3. – С. 94–104.
2. Lu, X. KBES for evaluating R.C. framed buildings using fuzzy sets / X. Lu, H. Simmonds // Automation in Construction. – 1997. – Vol. 6. – Iss. 2. – P. 121–137.

3. Kim, Y.M. Fuzzy based state assessment for reinforced concrete building structures / Y.M. Kim, C.M. Kim, S.G. Hong // *Engineering Structures*. – 2006. – Vol. 28. – Iss. 9. – P. 1286–1297.
4. Sasmal, S. Condition evaluation of existing reinforced concrete bridges using fuzzy based analytic hierarchy approach / S. Sasmal, K. Ramanjaneyulu // *Expert Systems with Applications*. – 2008. – Vol. 35. – P. 1430–1443.
5. Панкевич, О.Д. Застоування нечітких моделей для діагностики будівельних конструкцій / О.Д. Панкевич, С.Д. Штовба // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2011. – № 4. – С. 32–36. (In Ukrainian)
6. Соколов, В.А. Определение категорий технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений с использованием вероятностных методов распознавания В.А. Соколов // *Предотвращение аварий зданий и сооружений : Сборник научных трудов*. – Вып. 9. – М., 2010. – С. 375–387.
7. Построение экспертных систем / Пер. с англ. ; под ред. Ф. Хейеса-Рота, Д. Уотермана, Д. Лената. – М. : Мир, 1987. – 441 с.
8. Пособие по практическому выявлению пригодности к восстановлению поврежденных строительных конструкций зданий и сооружений и способам их оперативного усиления. – Москва : ЦНИИПромзданий, 1996. – 99 с.
9. Гроздов, В.Т. Признаки аварийного состояния несущих конструкций зданий и сооружений / В.Т. Гроздов. – СПб : Издательский Дом KN+, 2000. – 39 с.
10. Гучкин, И.С. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций / И.С. Гучкин. – М. : АСВ, 2001. – 171 с.
11. Дементьева, М.Е. Техническая эксплуатация зданий: оценка и обеспечение эксплуатационных свойств конструкций зданий : Учебное пособие / М.Е. Дементьева – М. : МГСУ, 2008. – 227 с.
12. Добромислов, А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений / А.Н. Добромислов. – М. : МГСУ, 2006. – 256 с.
13. Мальганов, А.И. Восстановление и усиление ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений : учебное пособие / А.И. Мальганов, В.С. Плевков. – Томск : Печатная мануфактура, 2002. – 391 с.
14. Додж, М. Эффективная работа. Microsoft Office Excel 2003 / Марк Додж, Крейг Стинсон ; [пер. с англ. В. Широков, Е. Васильев, М. Малышева]. – СПб : Питер, 2005. – 1088 с.
15. Уокенбах, Дж. Формулы в Microsoft Excel 2013 / Джон Уокенбах ; пер. с англ. и ред. А.Г. Сысонок. – М. : Диалектика, 2014. – 716 с.
16. Нечёткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А.Ф. Блишун [и др.] ; под ред. Д.А. Поспелова. – М. : Наука, 1986. – 312 с.
17. Штовба, С.Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.
18. Ротштейн, А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы и нейронные сети / А.П. Ротштейн – Винница : Універсум-Вінниця, 1999. – 320 с. (In Russ.)
19. Кашеварова, Г.Г. О построении функций принадлежности нечеткого множества в контексте задачи диагностики повреждений железобетонных плит / Г.Г. Кашеварова, М.Н. Фурсов, Ю.Л. Тонков // *Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций*. – 2014. – Т. 10. – № 2. – С. 93–101.
20. Кашеварова, Г.Г. Интеллектуальные технологии в обследовании строительных конструкций / Г.Г. Кашеварова, Ю.Л. Тонков. // *ACADEMIA. Архитектура и Строительство*. 2018. № 1. С. 92–99.

References

1. Tonkov I.L., Tonkov, Yu.L. Aktual'nye problemy otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruktssii [Actual Problems of Technical Evaluation of Building Constructions]. In: *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urbanistics]*, 2017, no. 3, pp. 94–104. (In Russ., abstr. in Engl.)
2. Lu X., Simmonds H. KBES for evaluating R.C. framed buildings using fuzzy sets. In: *Automation in Construction*, 1997, Vol. 6, Iss. 2, pp. 121–137. (In Engl.)
3. Kim Y.M., Kim, C.M., Hong, S.G. Fuzzy based state assessment for reinforced concrete building structures. In: *Engineering Structures*, 2006, Vol. 28, Iss. 9, pp. 1286–1297. (In Engl.)
4. Sasmal S., Ramanjaneyulu K. Condition evaluation of existing reinforced concrete bridges using fuzzy based analytic hierarchy approach. In: *Expert Systems with Applications*, 2008, Vol. 35, pp. 430–1443. (In Engl.)
5. Pankevich O.D., Shtovba S.D. Zastouvannya nechitkikh modelei dlya diagnostiki budivel'nikh konstruktssii [Congestion of fuzzy models for diagnostics of building structures]. In: *Visnik Vinnits'kogo politekhnichnogo institutu [Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute]*, 2011, no. 4, pp. 32–36. (In Russ.)
6. Sokolov V.A. Opredelenie kategorii tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruktssii zdaniy i sooruzhenii s ispol'zovaniem veroyatnostnykh metodov raspoznaniya [Determining the categories of the technical condition of building structures of buildings and structures using probabilistic recognition methodst]. In: *Predotvrashchenie avarii zdaniy i sooruzhenii : sbornik nauchnykh trudov [Prevention of accidents in buildings and structures – Collection of scientific papers]*. Moscow, 2010, Iss. 9, pp. 375–387. (In Russ.)
7. Kheesa-Rota F., Uoterman D., Lenata D. (eds.). Postroenie ekspertnykh sistem [Building expert systems], trans.from Engl. Moscow, Mir Publ., 1987, 441 p.
8. Posobie po prakticheskomu vyyavleniyu prigodnosti k vosstanovleniyu povrezhdennykh stroitel'nykh konstruktssii

zdaniy i sooruzheniy i sposobam ikh operativnogo usileniya [Handbook on the practical identification of the suitability for restoration of damaged building structures of buildings and structures and methods for their operational strengthening]. Moscow, TsNIIpromzdaniy, 1996, 99 p. (In Russ.)

9. Grozdov V.T. Priznaki avariinogo sostoyaniya nesushchikh konstruksii zdaniy i sooruzheniy [Signs of an emergency state of bearing structures of buildings and structures]. St. Petersburg, Publishing House KN+, 2000, 39 p. (In Russ.)

10. Guchkin I.S. Diagnostika povrezhdeniy i vosstanovlenie eksploatatsionnykh kachestv konstruksii [Diagnostics of damages and restoration of operational qualities of structures]. Moscow, ASV Publ., 2001, 171 p. (In Russ.)

11. Dement'eva M.E. Tekhnicheskaya eksploatatsiya zdaniy: otsenka i obespechenie eksploatatsionnykh svoystv konstruksii zdaniy [Technical operation of buildings: assessment and maintenance of the operational properties of building structures]. Moscow, MGSU Publ., 2008, 227 p. (In Russ.)

12. Dobromyslov A.N. Diagnostika povrezhdeniy zdaniy i inzhenernykh sooruzheniy [Diagnosis of damage to buildings and engineering structures]. Moscow, MGSU Publ., 2006, 256 p. (In Russ.)

13. Mal'ganov A.I., Plevkov V.S. Vosstanovlenie i usilenie ograzhdayushchikh stroitel'nykh konstruksii zdaniy i sooruzheniy: uchebnoe posobie [Restoration and strengthening of enclosing building structures of buildings and structures: study guide]. Tomsk, Pechatnaya manufaktura Publ., 2002, 391 p. (In Russ.)

14. Dodzh M., Stinson Kr. Effektivnaya rabota. Microsoft Office Excel 2003 [Effective work. Microsoft Office Excel 2003]. St. Petersburg, Piter Publ., 2005, 1088 s. (In Russ.)

15. Uokenbakh D. Formuly v Microsoft Excel 2013 [Formulas in Microsoft Excel 2013]. Moscow, Dialektika Publ., 2014, 716 p. (In Russ.)

16. Averkin A.N., Batyrshin I.Z., Blishun A.F., Silov V.B., Tarasov V.B. Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta [Fuzzy sets in control models and artificial intelligence]; D.A. Pospelov (ed.). Moscow, Nauka Publ., 1986, 312 p. (In Russ.)

17. Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB [Design of fuzzy systems using MATLAB]. Moscow, Goryachayaliniya-Telekom Publ., 2007, 288 p. (In Russ.)

18. Rotshtein A.P. Intel'ktual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkaya logika, geneticheskie algoritmy i neironnye seti [Intelligent identification technologies: fuzzy logic, genetic algorithms and neural networks]. Vinnitsa, Universum-Vinnitsya Publ., 1999, 320 p. (In Russ.)

19. Kashevarova, G.G., Fursov, M.N., Tonkov, Yu.L. O postroenii funktsii prinadlezhnosti nechetkogo mnozhestva v kontekste zadachi diagnostiki povrezhdeniy zhelezobetonnykh plit [On the construction of membership functions of a fuzzy set in the context of the problem of diagnosing damage to reinforced concrete slabs]. In: *Mezhdunarodnyi zhurnal po raschetu grazhdanskikh i stroitel'nykh konstruksii* [International Journal for Computational Civil and Structural Engineering], 2014, Vol. 10, no. 2, pp. 93–101. (In Russ., abstr. in Engl.)

20. Kashevarova G.G., Tonkov Yu.L. Intel'ktual'nye tekhnologii v obsledovanii stroitel'nykh konstruksii [Intelligent technologies in the inspection of building structures]. In: *Academia. Arkhitektura i Stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction], 2018, no. 1, pp. 92–99. (In Russ., abstr. in Engl.)