

sbornik nauchnyh trudov / Ministerstvo obrazovanija Respubliki Belarus', Brestskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet ; redkol.: A. G. Prorovskij [i dr.]. Brest : BrGTU, 2022. S. 86–92.

5. Kisel', E. I. Formirovanie jekonomičeskogo potenciala ob#ekta nedvizhimosti pri reshenii zadach jekologičeskogo menedzhmenta v processe stroitel'noj dejatel'nosti / E. I. Kisel', L. G. Sryvkina // Novaja jekonomika. 2021. - № 3. – S. 54-60.

6. O razvitii predprinimatel'stva : Dekret Prezidenta Respubliki Belarus', 23 nojab. 2017 g., № 7 // Informacionno-poiskovaja sistema «JeTALON-ONLINE» [Jelektronnyj resurs] / Nac. centr pravovoj inform. Resp. Belarus'. Minsk, 2023.

7. Nacional'naja strategija ustojčivogo social'no-jekonomičeskogo razvitija Respubliki Belarus' na period do 2030 goda : protokol zasedanija Prezidiuma Soveta Ministrov Respubliki Belarus', 2 maja 2017 g., № 10.

8. Primenenie ESG-standartov bankami Belarusi // BIK Ratings Available at: <https://bikratings.by/wp-content/uploads/2023/06/primenenie-esg-standartov-bankami-belarusi.pdf>. (accessed: 01.09.2023).

© Volchak A. A., Obrazcov L. V., Sryvkina L. G., 2023

УДК 510.64:624.012.3

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В РАМКАХ СТРАТЕГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

Ю. С. Дордюк<sup>1</sup>, Н. П. Яловая<sup>1</sup>

Брестский государственный технический университет  
Республика Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267.  
jul4onka@mail.ru

*В работе отмечены достоинства и недостатки попыток применения теории нечетких множеств при оценивании технического состояния строительных конструкций в рамках стратегии устойчивого развития.*

*Ключевые слова: теория нечетких множеств, стратегия устойчивого развития, обследование, оценка технического состояния, строительные конструкции.*

## **APPLICATION OF THE THEORY OF FUZZY SETS WITHIN THE FRAMEWORK OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGY**

Yu. S. Dardziuk<sup>1</sup>, N. P. Yalavaya<sup>1</sup>

Brest State Technical University  
Republic of Belarus, Brest, Moskovskaya str., 267.  
jul4onka@mail.ru

*The paper highlights the advantages and disadvantages of attempts to apply the theory of fuzzy sets when assessing the technical condition of building structures within the framework of a sustainable development strategy.*

*Key words: fuzzy set theory, sustainable development strategy, survey, technical condition assessment, building structures.*

Вопросу проведения обследования и оцениванию технического состояния существующих конструкций в настоящее время уделяется пристальное внимание. Это обусловлено тем, что современное общество декларировало реализацию стратегии устойчивого развития (англ. *Sustainable Development*), в рамках которой рассматривается возможность реконструкции и применения по другому назначению существующих зданий и сооружений взамен строительства новых, требующих дополнительного применения строительных материалов, что также отражено в Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года.

Для получения объективных оценок степени повреждения строительных конструкций предложен эффективный инструмент, опирающийся на элементы теории нечетких множеств [1]. Практическое применение теории нечетких множеств при оценивании строительных конструкций непрерывно растет, о чем свидетельствуют отечественные и зарубежные публикации.

В работе [2] японскими учеными представлена модель оценки железобетонных мостов в г. Тайбэе. Оценивание повреждений проводилось с использованием двухслойного нечеткого синтеза, а полученные результаты являлись основой для дальнейших работ по ремонту и усилению существующих железобетонных конструкций мостов.

Итальянскими учеными в работе [3] представлен пример применения теории нечетких множеств с использованием пакета *Fuzzy Toolbox* в рамках среды *MATLAB* к оцениванию технического состояния строительных конструкций [4]. Были выделены следующие рабочие фазы, для которых была определена логическая и временная последовательность отдельных операций:

– Предварительное обследование (*фаза А*). В этой фазе, которая основана на визуальной оценке и на базовых испытаниях материалов, можно обнаружить серьезные повреждения, приводящие к прогнозируемому разрушению, и выполнить мероприятия, требующие быстрых решений о дальнейшем детальном обследовании. Также может быть и другой вариант, когда повреждения и дефекты незначительны, и дальнейшее детальное обследование не требуется.

– Детальное обследование (*фаза Б*). В большинстве случаев, предварительное обследование должно быть дополнено и завершено более подробными данными, необходимыми для выполнения оценки технического состояния конструкций. Эта фаза требует более обширных исследований и основана на лабораторных и экспериментальных проверках характеристик свойств материалов и конструкций (с применением как разрушающих, так и неразрушающих методов диагностики).

– Обработка данных измерений и заключение о состоянии. После завершения всех операций собранные данные должны быть обработаны, чтобы дать заключение об уровне безопасности здания и степени повреждения. При необходимости, могут быть выделены мероприятия по восстановлению, направленные на обеспечение предъявляемым требованиям безопасности.

Диагностическая процедура основана на теории принятия решений (англ. *decision making*) в соответствии с функциональной схемой алгоритма, показанной на рис. 1.

Первый шаг в предварительном обследовании (*фаза А*) представлен поиском и описанием всех имеющихся документов здания, сбором всех количественных данных, а также качественных и субъективных суждений. Уровень неопределенности, связанный с этой фазой очень высок: в действительности документация часто является неполной или полностью отсутствует; некоторые данные могут быть получены из устных бесед; исторические данные могут описываться ответственным исполнителем, который затем переводит их либо в балльную, либо в лингвистическую оценку.



Рис. 1. Функциональная схема алгоритма диагностической процедуры

Обследование на *этапе (фазе) А* имеет целью получить общее, довольно широкое представление о состоянии конструктивной системы здания, условиях эксплуатации и установить необходимость проведения детального обследования или принять неотложные меры по восстановлению условий безопасной эксплуатации.

В соответствии с рекомендациями, изложенными в [3], анализ технического состояния здания должен включать три последовательных этапа, на каждом из которых выполняются промежуточные оценки, которые в конечном итоге являются элементами алгоритма нечеткого финального оценивания *фазы А*:

- топологическое описание конструктивной системы, анализ существующей документации, включая данные, полученные из проектной документации, опросов, паспортов на материалы, протоколы испытаний, документация по обслуживанию и инвентаризации и т.д.;

- визуальная инспекция (обследование), включая визуальную оценку трещинообразования (степень распространения, раскрытия и т.д.), состояние бетона (деградация, толщины защитных слоев, дефекты и повреждения), состояние арматуры (степень коррозионного повреждения);

- полевые испытания, включая оценку относительной прочности бетона (поверхностной прочности и однородности) с применением приборов неразрушающего контроля, составление карт дефектов с измерением ширины раскрытия трещин, толщин защитного слоя, количество и положение арматурных стержней, степень коррозионного повреждения и т.д.

Полученные входные данные на каждом из перечисленных шагов, для которых технический работник присваивает числовую оценку (как правило, от 0 до 10 баллов), далее используют для введения в среду *Fuzzy Toolbox*, которая экстраполирует сначала частную (по каждому шагу), а затем и комбинированную оценку для *фазы А*. На этом этапе результаты оценивания уровня (степени) повреждения, полученные при визуальной инспекции и полевых (базовых) испытаниях, комбинируют с результатами оценивания общей характеристики здания. Диагностику о техническом состоянии конструктивного элемента на этапе (*фазе*) *А*, в конечном итоге, получают из этих трех частных оценок (рис. 2) в виде коэффициента в интервале от 1 до 10.

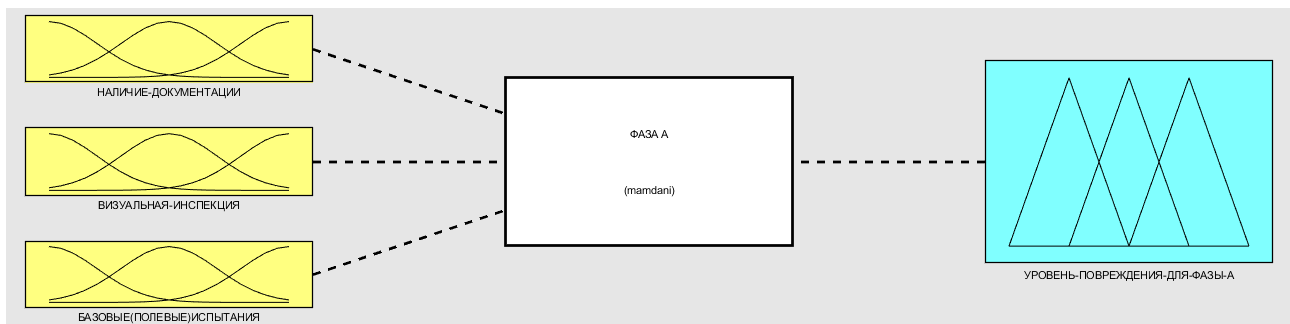


Рис. 2. Алгоритм выполнения оценивания для фазы А

Углубленное исследование для фазы В является более продолжительным, включает детальное обследование, инструментальные испытания (лабораторные испытания материалов, включая разрушающие; прямые испытания нагружением отдельных конструктивных элементов и системы в целом). Финальная диагностика после оценивания всех типов конструкций на отдельном этаже, а далее – всего здания согласно [3] выполняется по схеме, показанной на рис. 3.

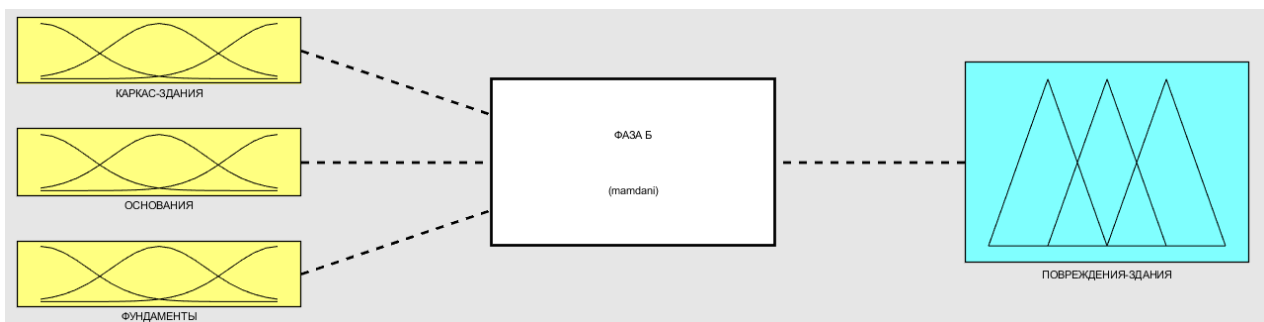


Рис. 3. Параметры, используемые при оценке уровня повреждения здания

Обобщая рассмотренные работы по применению нечеткой логики при оценивании строительных конструкций, можно сделать вывод, что данный метод имеет большие перспективы в промышленном и гражданском строительстве. Однако представленные работы не полностью не решают поставленную перед собой задачу: уменьшение неопределенностей при определении категории технического состояния строительных конструкции [5]. Вместе с тем, для решения задач и определения достоверной картины технического состояния конструкции, а также для реализации стратегии устойчивого развития, направленной на применение по другому назначению существующих зданий и сооружений взамен строительства новых, применение подхода нечеткой логики является современной и актуальной задачей.

Работа выполнена в рамках гранта БРФФИ T23M-016 «Разработать и экспериментально апробировать методику предварительной оценки технического состояния существующих железобетонных конструкций, основанную на применении положений нечеткой логики».

#### Список использованных источников

1. Штовба, С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику / С. Д. Штовба. Винница : Винницкий гос. техн. универ., 2001. 198 с.
2. Liang, M. T. Applying fuzzy mathematics to evaluating the membership of existing reinforced concrete bridges in Taipei / M. T. Liang, J. H. Wu, C. H. Liang // Journal of Marine Science and Technology. 2000. Vol. 8, № 1. P. 16–29.
3. Mezzina, M. Decisional trees and fuzzy logic in the structural safety assessment of damaged R.C. buildings / M. Mezzina, G. Uva, R. Greco // 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, 1–6 August 2004. Vancouver, 2004. P. 149–159.
4. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

5. Дордюк, Ю. С. Применение инструментов нечеткой логики при оценивании технического состояния конструкций / Ю. С. Дордюк // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования : материалы V Национал. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приур. ко Дню российской науки, 8–9 февр. 2022 г. : электронное издание / под общ. ред. Т. В. Золиной. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. – С. 211–214. – URL: [https://agasy.pf/images/nauka/nnpk/nnpk\\_5\\_n.pdf](https://agasy.pf/images/nauka/nnpk/nnpk_5_n.pdf) (дата доступа: 15.05.2022).

### References

1. Shtovba, S. D. Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku / S. D. Shtovba. – Vinnitsa : Vinnitskiy gos. tekhn. univer., 2001. – 198 s.
2. Liang, M. T. Applying fuzzy mathematics to evaluating the membership of existing reinforced concrete bridges in Taipei / M. T. Liang, J. H. Wu, C. H. Liang // Journal of Marine Science and Technology. – 2000. – Vol. 8, № 1. – P. 16–29.
3. Mezzina, M. Decisional trees and fuzzy logic in the structural safety assessment of damaged R.C. buildings / M. Mezzina, G. Uva, R. Greco // 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, 1–6 August 2004. – Vancouver, 2004. – P. 149–159.
4. Leonenkov, A. V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH / A. V. Leonenkov. – SPb. : BKhV-Peterburg, 2005. – 736 s.
5. Dordyuk, Yu. S. Primenenie instrumentov nechetkoy logiki pri otsenivanii tekhnicheskogo sostoyaniya konstruksiy / Yu. S. Dordyuk // Innovatsionnoe razvitie regionov: potentsial nauki i sovremennogo obrazovaniya : materialy V Natsional. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, priur. ko Dnyu rossiyskoy nauki, 8–9 fevr. 2022 g. : elektronnoe izdanie / pod obshch. red. T. V. Zolinoy. – Astrakhan' : Astrakhanskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet, 2022. – S. 211–214. – Rezhim dostupa: [https://agasy.rf/images/nauka/nnpk/nnpk\\_5\\_n.pdf](https://agasy.rf/images/nauka/nnpk/nnpk_5_n.pdf). – Data dostupa: 15.05.2022.

© Dardziuk Yu. S., Yalavaya N. P., 2023

УДК 621.311.21

## УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ РУП «БРЕСТЭНЕРГО»)

В.Р. Меленчук<sup>1</sup>, М.Т. Козинец<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь,  
г. Брест, ул. Московская, 267  
[vrmelen@gmail.com](mailto:vrmelen@gmail.com)

*В данной работе анализируются экологические инновации и практики, внедряемые в деятельность РУП «Брестэнерго», такие как использование возобновляемых источников энергии, повышение энергоэффективности и снижение воздействия на окружающую среду.*

*Ключевые слова: Экология, энергетика, энергоэффективность, источники энергии, электростанции, модернизация.*