

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 658.562

DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-3-90-101



КАЧЕСТВО МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ЭМПИРИЧЕСКАЯ ОСНОВА

Наркевич М.Ю., Логунова О.С., Корниенко В.Д., Николаев А.А., Тюлюмов А.Н.,
Злыдарев Н.В., Дерябин Д.И.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). Показатели качества готовой продукции определяют ее востребованность на потребительском рынке. Для принятия решения о применимости материалов и конструкций в строительной отрасли до настоящего времени остается наиболее целесообразным выполнение экспериментальных исследований, результаты которых требуют последующего анализа с использованием информационной базы данных и знаний. Целью экспериментального исследования, приведенного в работе, является генерация новых знаний о качестве бетонных образцов в условиях нового информационного поля, консолидирующего информацию о результатах натурных испытаний и видеопотоки, которые получены в ходе активных лабораторных экспериментов изучения. **Используемые методы.** При проведении экспериментальных исследований использована традиционная технология испытания бетонных образцов на центральное сжатие, которая сопровождалась непрерывным мониторингом и формированием видеопотока для каждого образца. **Новизна.** Отличительной особенностью исследования является формирование информационного поля экспериментов, которое содержит три уровня: уровень исходных данных, уровень анализа исходных данных и уровень генерации новых знаний. Уровень анализа исходных данных с использованием видеопотока позволяет по завершении эксперимента получить сведения, которые в режиме реального времени зафиксировать невозможно. **Результат.** В работе приведены примеры развития трещин на поверхности образца в динамике. Для исследуемых образцов получены временные интервалы с различной скоростью развития дефекта. Доказана возможность использования алгоритмов фильтрации и алгоритма Кенни для обработки изображений бетонных образцов в процессе от начала их нагружения и до разрушения. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволили выявить новые возможности формирования информационного поля при проведении традиционных экспериментальных исследований качества бетонных образов и на основе полученной информации выявлять закономерности развития нарушения сплошности поверхности в динамике, которые не могут быть обнаружены при использовании органолептических методов контроля. Новые возможности формирования информационного поля позволяют в режиме реального времени получать и обрабатывать информацию о состоянии бетонных и железобетонных конструкций строительных объектов по показателям качества и на основании получаемых данных прогнозировать риск возникновения аварий, в том числе на опасных производственных объектах.

Ключевые слова: показатели качества продукции, бетонные образцы, экспериментальная основа, информационное поле, генерация новых знаний о качестве.

Работа выполнялась при финансовой поддержке ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» по договору № 247715 от 05.07.2021 г.

© Наркевич М.Ю., Логунова О.С., Корниенко В.Д., Николаев А.А., Тюлюмов А.Н.,
Злыдарев Н.В., Дерябин Д.И., 2021

Для цитирования

Качество материалов, изделий и конструкций в промышленной безопасности: эмпирическая основа / Наркевич М.Ю., Логунова О.С., Корниенко В.Д., Николаев А.А., Тюлюмов А.Н., Злыдарев Н.В., Дерябин Д.И. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т.19. №3. С. 90–101. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-3-90-101>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

QUALITY OF MATERIALS, PRODUCTS AND STRUCTURES IN INDUSTRIAL SAFETY: AN EMPIRICAL BASIS

Narkevich M.Yu., Logunova O.S., Kornienko V.D., Nikolaev A.A., Tyulyumov A.N., Zlydarev N.V., Deryabin D.I.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). Quality indicators of finished products determine its demand in the consumer market. To decide on the applicability of materials and structures in the construction industry, it is currently the most appropriate to perform experimental studies, whose results are to be analyzed using an information database and knowledge. **Objectives.** The purpose of the experimental study presented in the paper is to generate new knowledge about the quality of concrete samples in a new information field that consolidates information about the results of full-scale tests and video streams that are obtained during active laboratory experiments. **Methods Applied.** When conducting the experimental studies, the authors used a conventional technology of testing concrete samples for axial compression accompanied by continuous monitoring and a video stream for each sample. **Originality.** A distinctive feature of the study is the information field of experiments, which contains three levels: the level of initial data, the level of analyzing the initial data and the level of generating new knowledge. At the end of the experiment, the level of analyzing the initial data using the video stream results in getting information that cannot be captured in real time. **Results.** The paper presents the examples of crack propagation on the sample surface. The samples under study were used to calculate time intervals at various rates of defect growth. It has been proved that filtration algorithms and the Canny edge detector can be used to process images of the concrete samples from the beginning of their loading till their fracture. **Practical Relevance.** The results were used to identify new opportunities for forming the information field during conventional experimental studies of the quality of concrete samples and, using the information obtained, to identify development patterns of surface discontinuity that cannot be detected using organoleptic control methods. New opportunities for forming the information field contribute to obtaining and processing real time information on the state of concrete and reinforced concrete structures of construction projects in terms of their quality and, using such data, to predict the risk of accidents, including at hazardous production facilities.

Keywords: product quality indicators, concrete samples, experimental basis, information field, generation of new knowledge about quality.

The study was funded by PJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works under Contract No. 247715 dated July 05, 2021.

For citation

Narkevich M.Yu., Logunova O.S., Kornienko V.D., Nikolaev A.A., Tyulyumov A.N., Zlydarev N.V., Deryabin D.I. Quality of Materials, Products and Structures in Industrial Safety: an Empirical Basis. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2021, vol. 19, no. 3, pp. 90–101. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-3-90-101>

Введение

Показатели качества готовой продукции определяют ее востребованность на потребительском рынке. Большое количество регулирующих и нормативных документов определяют условия оценки качества готовых материалов, изделий и конструкций во всех отраслях экономики. Не является исключением и строительное производство, в котором прочностные характеристики материалов, изделий и конструкций являются гарантией безопасности функционирования объектов гражданского и промышленного назначения (опасные производственные объекты) на стадии их эксплуатации [1–3]. Одним из распространенных материалов в строительстве является бетон и железобетон. Испытания контрольных бетонных образцов железобетонных

конструкций позволяют гарантировать их безопасное функционирование в составе зданий и сооружений в процессе эксплуатации.

Для принятия решения о применимости материалов и конструкций в строительной отрасли до настоящего времени остается наиболее целесообразным выполнение экспериментальных исследований, результаты которых требуют последующего анализа полученной информации с использованием новых информационных технологий и искусственного интеллекта. Современный уровень развития вычислительной техники и программного обеспечения позволяет к таким исследованиям подключить инструменты компьютерного зрения и интеллектуального анализа [4, 5]. С точки зрения методологии научного исследования, изложенной в широко цитируемой книге «Методология» авторов А.М. Новикова и

Д.А. Новикова, эмпирические методы-операции и методы-действия составляют основу изучения объекта и предмета исследования. Эмпирический этап научного исследования является составной частью технологической фазы проектирования и основой для оценки соответствия полученных результатов поведению реальных изучаемых процессов [6, 7]. Полное эмпирическое исследование включает три вида экспериментов [8, 9], среди которых:

- промышленный пилотажный эксперимент-изучение или эксперимент-преобразование;
- специализированный лабораторный эксперимент-изучение;
- вычислительный эксперимент-преобразование.

Анализ теоретических и практических разработок в области испытания бетонных образцов показал, что наибольшее внимание уделяется:

- 1) вычислению напряженно-деформированного состояния образцов на основе теоретических расчетов [10–13];
- 2) прогнозированию сроков службы железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях климатических воздействий и агрессивной среды [14, 15];
- 3) разработке способов и устройств для проведения лабораторных испытаний при изучении свойств бетонных образцов [16–18];
- 4) подбору добавок в состав бетона для изменения его структуры и прочностных свойств [19, 20];
- 5) развитию методов разрушающего и неразрушающего контроля при исследовании образцов [21–24].

Несмотря на большое количество теоретических и практических исследований по испытанию бетонных образцов, остается актуальным вопрос проведения их экспериментального изучения для выявления новых знаний о характеристиках для дальнейшего прогнозирования поведения готовых изделий и конструкций в условиях эксплуатационной и сверхэксплуатационной нагрузки.

Наличие и бурное развитие новых BIM-технологий позволяет выполнить предиктивный анализ проектируемых строительных объектов с использованием результатов проведенных натурных экспериментов. Наличие современных средств вычислительной техники и программного обеспечения позволяет в настоящее время сформировать новый уровень информационного сопровождения экспериментальных исследований. Расширение информационных полей как по качеству, так и по количеству хранимой информации позволяет реализовать одну из задач национального проекта «Наука»: увеличение количества работ по профильной деятельности «Генерация знаний» на 20% в 2022 году и на 40% в 2024. Согласно [25] генерация знаний – это научно-техническая деятель-

ность, представляющая процесс создания новых знаний путем переработки информации на основе общеизвестного знания.

В связи с этим целью экспериментального исследования, приведенного в работе, является генерация новых знаний *о качестве бетонных образцов* в условиях нового информационного поля, консолидирующего информацию о результатах натурных испытаний, и видеопотоки, которые получены в ходе активных лабораторных экспериментов-изучения.

В рамках работы под *качеством бетонных образцов* авторы подразумевают факт образования, динамику и уровень развития дефектов в виде нарушений сплошности поверхности бетонных образцов.

Для достижения цели авторами работы решены следующие задачи:

- 1) *организация активных лабораторных экспериментов-изучения* для определения значений минимальных разрушающих усилий и прочности бетона на сжатие для образцов кубической и призматической формы;
- 2) *организация непрерывного мониторинга* за проведением испытаний бетонных образцов с использованием средств видеонаблюдения и формирование видеопотоков при испытании каждого образца;
- 3) *формирование структуры информационного поля* испытаний для последующей консолидации данных, сочетающего прочностные характеристики материала и динамические характеристики (изменение сплошности во времени), сопровождающие разрушение образцов;
- 4) *визуальный анализ видеопотока* нагружения и разрушения бетонных образцов для выбора методов математического описания процесса формирования и развития трещин на бетонных образцах с начала их нагружения и до момента разрушения с использованием результатов обработки кадров видеопотока и экспертной оценки.

Методика экспериментального исследования

Для проведения испытаний изготавливались опытные образцы, в состав которых входили следующие материалы (**рис. 1**):

- портландцемент (цемент марки ПЦ 500-Д0, изготовленный на Магнитогорском цементно-огнеупорном заводе);
- щебень кубовидный марки М1400 и фракции 5–20 мм (место добычи Гумбейский гранитный карьер);
- песок мытый сеянный фракции 0–5 мм (место добычи Наровчатский песчаный карьер);
- модификатор бетона «Эмбэллит» 0–100;
- пластификатор «Зика вискоクリт» СП 5–600;
- вода питьевая водопроводная по ГОСТ Р 51232-98 температурой 20–22°C.



Рис. 1. Вид материалов и изготовленных образцов: 1, 2 – модификатор бетона «Эмбэлит»; 3 – щебень; 4 – песок мытый; 5, 6 – портландцемент; 7 – вода питьевая с пластификатором

Fig. 1. Materials and manufactured samples: 1, 2 is Embelit concrete modifier; 3 is gravel; 4 is washed sand; 5, 6 is Portland cement; 7 is drinking water with a plasticizer

Для подбора состава высокопрочного, самоплотняющегося, напрягающего бетона выбрано четыре варьируемых показателя: масса цемента, водоцементное отношение, отношение массы пластификатора к массе цемента, отношение массы модификатора к массе цемента. Также определены два неизменяемых материала: масса песка; масса щебеня. Уровни варьирования показателей представлены в **табл. 1**.

Лабораторные образцы представлены двумя видами: образец-куб с размерами 100×100×100 мм по ГОСТ 10180-2012; образец-призма с размерами 100×100×400 мм по ГОСТ 10180-2012. Для каждого вида образцов изготавливались три серии. В каждой серии насчитывалось по 12 образцов-кубов и по 3 образца-призмы.

Заливка образцов-кубов и образцов-призм производилась из одной партии бетона. Их испытания проводились в один день. В указанных условиях возраст бетона и его прочностные показатели условно одинаковы для оценки механизма разрушения контрольных образцов под нагрузкой.

Таблица 1. Уровни варьирования показателей
Table 1. Variability of indicators

№ п/п	Наименование варьируемого показателя	Обозначение	Уровень показателя		
			Максимальный	Нулевой	Минимальный
1	Масса цемента, кг на 1000 л	C	490	460	430
2	Водоцементное отношение	B/C	0,40	0,35	0,30
3	Отношение пластификатора к массе цемента	P/C	0,030	0,022	0,014
4	Отношение модификатора к массе цемента	M/C	0,25	0,2	0,15

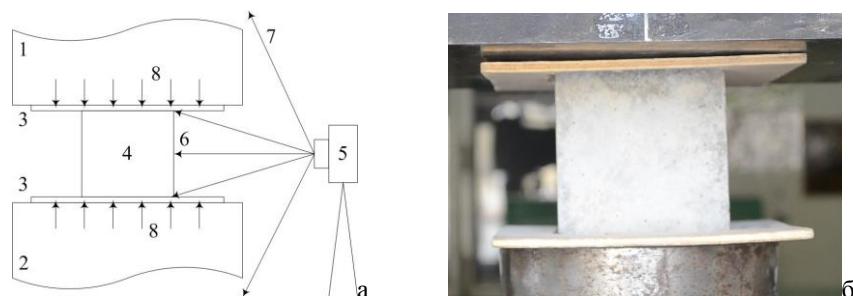


Рис. 2. Установка образца для испытания: а – схема; б – натурный образец
Fig. 2. Setting the test sample: a is a diagram; b is a full-scale sample

Проведение испытаний образцов проводилось согласно плану, приведенному в **табл. 2**.

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента
Table 2. Experiment planning matrix

Номер состава	Уровень показателя			
	C	W/C	P/C	M/C
1	+	+	+	+
2	-	+	+	+
3	+	-	+	+
4	-	-	+	+
5	+	+	-	+
6	-	+	-	+
7	+	-	-	+
8	-	-	-	+
9	+	+	+	-
10	-	+	+	-
11	+	-	+	-
12	-	-	+	-
13	+	+	-	-
14	-	+	-	-
15	+	-	-	-
16	-	-	-	-

Примечание: «+» – уровень показателя максимальный; «-» – уровень показателя минимальный.

В ходе испытаний получены два вида данных: данные, характеризующие прочность контрольных образцов на осевое сжатие; видеопоток, который позволил зафиксировать момент зарождения трещин, динамику их развития вплоть до разрушения контрольных образцов.

Результаты экспериментальных исследований

Структура информационного поля экспериментальных исследований

Использование в ходе экспериментов по исследованию прочности бетонных образцов средств видеозаписи позволило сформировать новую структуру информационного поля испытаний (**рис. 3**). Структура нового информацион-

ного поля испытаний включает три основных уровня (1, 2, 4) и один функциональный блок (3). Первый уровень предназначен для организации хранения данных, полученных в ходе проведения эксперимента, и их структурирования. Уровень анализа данных предполагает извлечение необходимой первичной информации, выполнение анализа данных на основе простых расчетов или подсчета с помощью традиционных методов и с использованием новых информационных технологий. Третий уровень предполагает генерацию новых знаний на основе консолидированных данных, которые ранее не рассматривалась в традиционных нормативных документах. Например, оценка времени развития дефектов до достижения их критического развития.

Вопросы консолидации информации и алгоритма генерации новых знаний являются перспективным направлением работы, построенным на результатах экспериментальных исследований.

Методика и результаты оценки прочности бетонных образцов

По результатам планирования эксперимента подобран состав бетона, который приведен в **табл. 3**.

Таблица 3. Состав высокопрочного самоуплотняющегося напрягающего бетона класса B80
Table 3. Composition of high-strength self-compacting self-stressing concrete of B80 grade

№ п/п	Наименование компонента	Насыпная плотность материала, кг/м ³	Масса, кг на 1000 л
1	Цемент	3100	520
2	Эмбэлит	2200	104
3	«Зика вискокрите» СП 5-600	1100	8,32
4	Песок	2600	678,20
5	Щебень	2600	910,46
6	Вода	1000	166,4

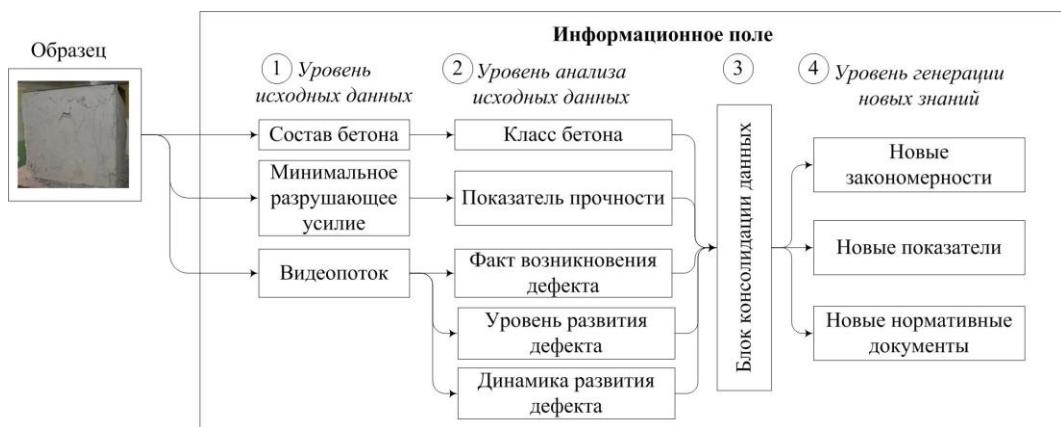


Рис. 3. Структура информационного поля испытаний бетонных образцов
Fig. 3. Information field of concrete sample tests

После испытания контрольных образцов-кубов получен состав бетона, обеспечивающий с вероятностью 0,95 класс бетона по прочности на осевое сжатие не ниже В80.

Показатель прочности бетона как количественной характеристики определялся согласно методике, приведенной в ГОСТ 10180-2012 [13]:

1) методом визуально-измерительного контроля определяются значения параметров качества образцов и фактическая площадь их поперечного сечения, мм^2 ;

2) по результатам эксперимента определяется минимальное разрушающее усилие, кН;

3) определяется величина напряжения разрушения с точностью до 0,1 МПа (временное сопротивление образца осевому сжатию) согласно выражению

$$R = \alpha \frac{F}{A} K_w,$$

где F – минимальное разрушающее усилие, Н; A – площадь рабочего сечения образца, мм^2 ; α – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы; K_w – поправочный коэффициент для ячеистого бетона, учитывающий влажность образцов в момент испытания (в наших испытаниях тяжелый бетон, $K_w = 1$).

Результаты испытаний одной из серий годных по визуально-измерительному контролю образцов размером $100 \times 100 \times 100$ мм при значении масштабного коэффициента 0,95 приведены в **табл. 4**.

Таблица 4. Результаты испытания контрольных образцов-кубов по прочности на осевое сжатие

Table 4. Tests of cubic reference samples for axial compression

Показатель	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
Минимальное разрушающее усилие, кН	888,1	891,3	860,0	864,2	845,2	864,6
Прочность бетона на сжатие, МПа	84,4	84,7	81,7	82,1	80,3	82,1
Среднее значение прочности бетона на сжатие, МПа	82,5					
Класс бетона по прочности на осевое сжатие по ГОСТ 18105-2018	B80					

В ходе эксперимента производилось формирование видеопотока, который фиксировал динамику изменения сплошности образцов на его поверхности.

Результаты визуального анализа видеопотока нагружения и разрушения бетонных образцов

Видеозапись экспериментов по нагружению образцов позволила выполнить изучение изменения сплошности поверхности после завершения стадии активного натурного эксперимента. На **рис. 4** показаны фрагменты видеопотока, которые отображают ключевые переходные точки в динамике разрушения бетонного образца.

На **рис. 4** выбраны и приведены состояния разрушения образца согласно экспертной оценке:

а – образец без дефектов в момент начала испытаний на центральное сжатие;

б – образец в начальной стадии механизма разрушения: 1, 2 – скальвание небольших участков поверхности бетона образца вследствие разрыва бетона в поперечном направлении; 3 – появление микроскопических и видимых трещин отрыва, направленных параллельно или с небольшим наклоном к направлению действия сжимающих сил;

в – образец на стадии прогрессирующего механизма разрушения: 4 – скальвание больших участков поверхности бетона образца вследствие разрыва бетона в поперечном направлении;

г – образец в дальнейшей стадии прогрессирования механизма разрушения: 5, 6 – растущие, раскрывающиеся и соединяющиеся трещины;

д – образец в состоянии, предшествующем полному разрушению и максимальному раскрытию трещин: 7 – новые зарождающиеся видимые трещины; 8, 9 – прогрессирующие трещины; 9 – трещина с максимальным раскрытием;

е – образец после разрушения.

Множественные трещины образца с правой стороны являются предпосылками разрушения. Однако перед разрушением происходит заметное перераспределение напряжений в образце, следствием чего является появление трещины уже с левой стороны образца.

Изучение видеопотока позволило выявить новые знания по особенностям разрушения образца:

– процесс разрушения образцов во времени является нелинейным и носит лавинообразный характер в 15-процентном интервале времени полного испытания (**рис. 5**);

– центры начала разрушения на поверхности образца располагаются случайным образом, но впоследствии имеют направленное развитие вдоль усилия нагружения; наблюдается значительное цветовое отличие исходной поверхности образца и фрагментов разрушения;

– максимальную ширину раскрытия трещины приобретают в момент времени, соответствующий «взрывному» разрушению образцов, и при органолептическом контроле не поддается непосредственному измерению.

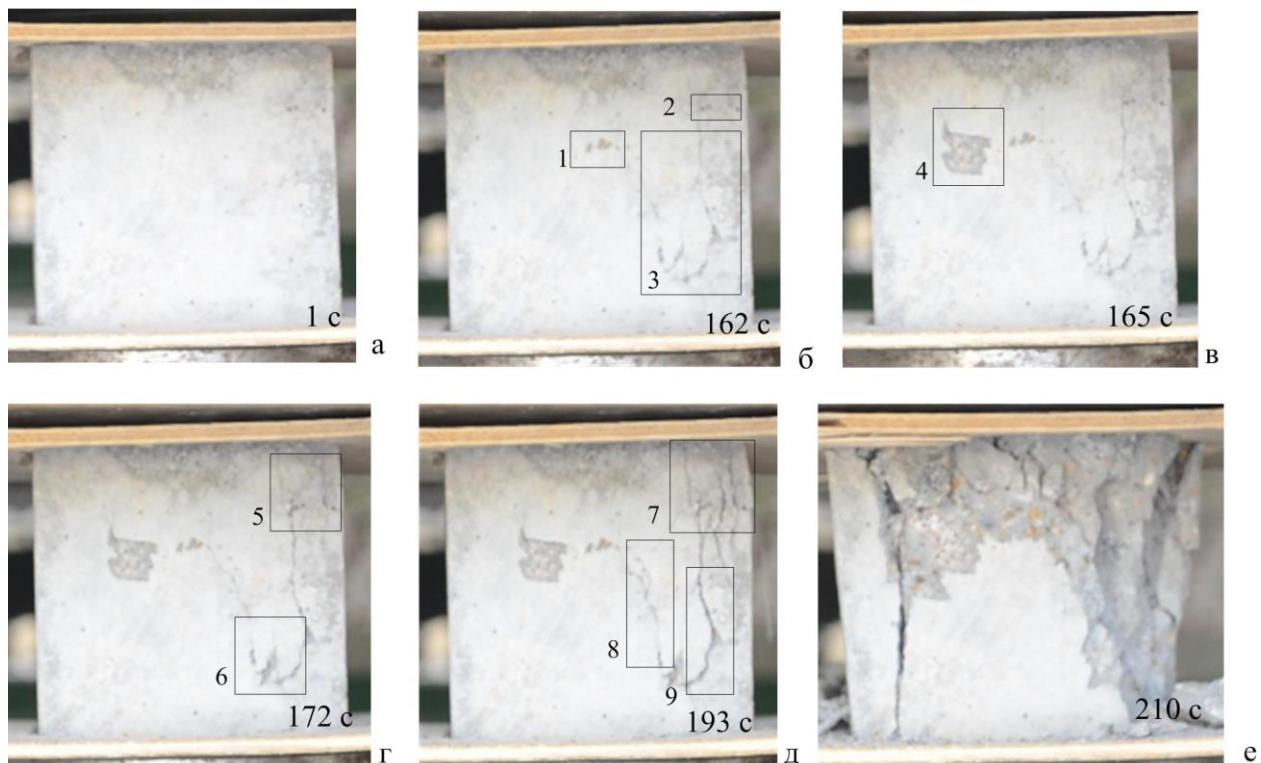


Рис. 4. Фрагменты видеопотока с ключевыми переходами разрушения
Fig. 4. Fragments of a video stream, including key transitions of fracture

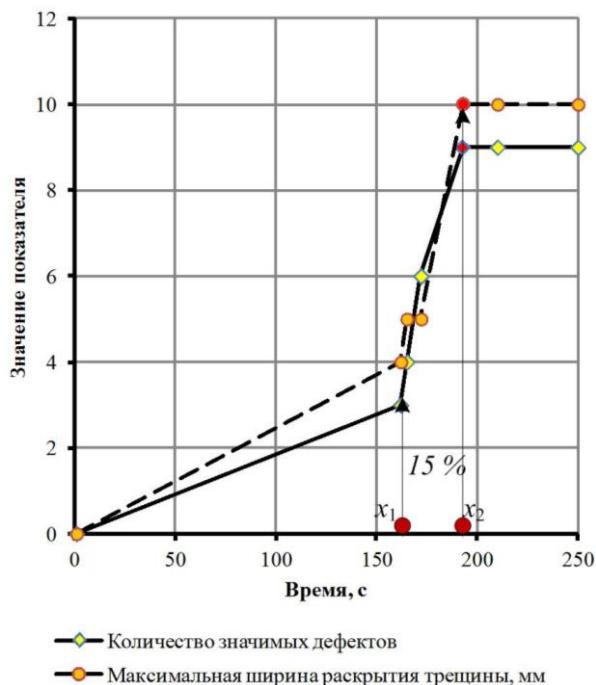


Рис. 5. Графическое отделение интервала времени активного разрушения образцов:
 x_1 – время начала разрушения; x_2 – время полного разрушения

Fig. 5. Graphical separation of a time interval of active sample fracture: x_1 is time of starting fracture; x_2 is time of complete fracture

Алгоритмы пороговой обработки изображения позволяют определить границы образца и формирования трещин даже при низкой контрастности кадров видеопотока, а также сопоставить изображения реального мира с постобработанными кадрами. На рис. 6 представлены примеры сопоставления кадров видеопотока с низкой контрастностью и результатами пороговой обработки кадров.

Авторами исследования проведена серия вычислительных экспериментов для проверки работы алгоритмов выделения на изображениях значимых элементов разрушения при пороговой фильтрации и выделения границ по алгоритму Кенни*. На рис. 7 приведен один из примеров изображений при сравнительном анализе и определении адекватности работы этих алгоритмов.

Сравнительный анализ исходных изображений и его цифрового следа визуальным способом не выявил артефактов, нарушающих общую картину разрушения.

* Оператор Кенни (детектор границ Кэнни, алгоритм Кэнни) в дисциплине компьютерного зрения – оператор обнаружения границ изображения, является многоступенчатым, используется для широкого спектра границ.

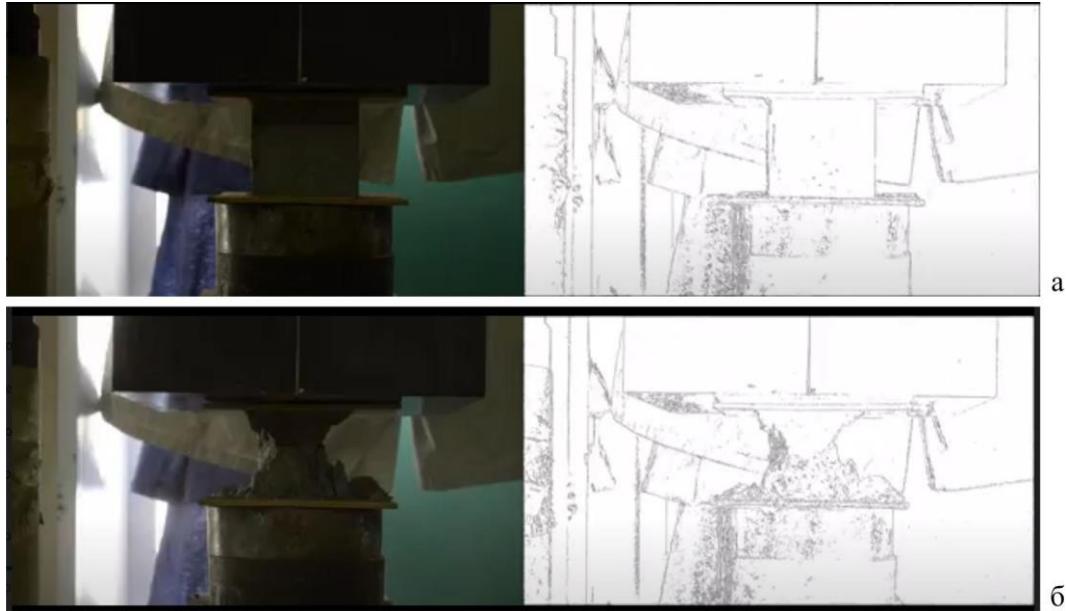


Рис. 6. Фрагмент видеопотока при изучении формы образцов
Fig. 6. Fragment of a video stream, when studying a shape of the samples

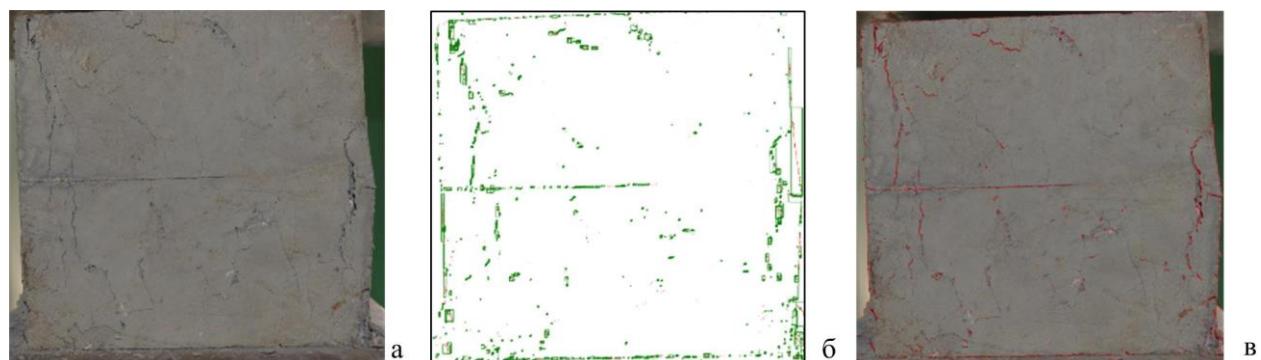


Рис. 7. Примеры изображений при сравнительном анализе: а – исходный кадр изображения; б – цифровой след после обработки изображений; в – результат сопоставления исходного кадра и цифрового следа
Fig. 7. Examples of images during a comparative analysis: a is a source frame of the image; b is a digital footprint after processing images; c is matching the source frame and the digital footprint

Заключение

1. Анализ теоретических и практических разработок в области разрушающих испытаний бетонных образцов, характеризующих их качество, показал высокую степень изученности с точек зрения вычисления напряженно-деформированного состояния образцов, прогнозирования сроков службы железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях климатических воздействий и агрессивной среды; разработка способов и устройств для проведения лабораторных испытаний при изучении свойств бетонных образцов; подбор добавок в состав бетона для изменения его структуры и прочностных свойств; развитие методов разрушающего и неразрушающего контроля при исследовании образцов. Все рассматриваемые

работы не используют возможности новых информационных технологий для системного извлечения новых знаний о процессе появления и развития дефектов в виде нарушений сплошности на поверхности образцов.

2. Испытания бетонных образцов двух видов (куб и призма) проведены по традиционной методике для выявления прочностных характеристик, характеризующих их качество, в условиях непрерывного мониторинга за их разрушением на основе формирования видеопотока.

3. Наличие видеопотока по результатам проведения экспериментального исследования позволило сформировать структуру нового информационного поля, включающего традиционные блоки информации о качественных характеристиках бетонных образцов и отличающееся

наличием информационного блока с результатами непрерывного мониторинга за экспериментом, позволяющего генерировать новые знания о динамике формирования и развития дефектов в виде нарушений сплошности на поверхности образцов.

4. Консолидация традиционных технологий проведения испытаний бетонных образцов и формирование нового информационного поля является экспериментальной основой для синтеза систем предиктивной аналитики при создании и анализе прочностных свойств новых материалов, а также изменения нормативной базы по оценке их качества.

5. Перспективными направлениями развития работы является использование полученного информационного поля для синтеза автоматизированной системы, позволяющей выполнять анализ консолидированной информации и прогнозирование показателей качества готовой продукции: материалов изделий и конструкций.

Список литературы

1. Анализ эффективности существующей системы оценки качества материалов, изделий и конструкций на опасных производственных объектах / М.Ю. Наркевич, В.Д. Корниенко, О.С. Логунова и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Т.19. №2. С. 103–111. DOI: 0.18503/1995-2732-2021-19-2-103-111.
2. Jevtic R.B. Safety in residential buildings evacuation from residential buildings without fire escape stairs // Military Technical Courier. 2021. Т. 69. № 1. С. 148–178.
3. Щербина В.И. Разработка комплекса межгосударственных стандартов по функциональной безопасности систем, связанных с безопасностью зданий и сооружений // ИТ-стандарт. 2017. № 1 (10). С. 1–5.
4. Логунова О.С., Павлов В.В., Нуров Х.Х. Оценка статистическими методами серного отпечатка по перечного темпleta непрерывнолитой заготовки // Электрометаллургия. 2004. № 5. С. 18–24.
5. Tutarova V.D., Logunova O.S. Analysis of the surface temperature of continuously cast ingot beyond the zones of air cooling // Stal. 1998. № 8. С. 21–23.
6. Логунова О.С., Аркулис М.Б. Особенности научного эксперимента: понятие, классификация и назначение // Современные достижения университетских научных школ: сб. докладов национальной научной школы-конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. С. 78–85.
7. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. М.: СИНТЕГ, 2007. 668 с.
8. Логунова О.С., Романов П.Ю., Ильина Е.А. Обработка экспериментальных данных на ЭВМ: учебник. Сер. Высшее образование: Аспирантура. 2-е изд., испр. и доп. М.: Информа-М, 2021. 377 с.
9. Моргунов А.П., Ревина И.В. Планирование и анализ результатов эксперимента: учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. 344 с.
10. Синозерский А.Н., Мухтаров Р.А. Определение НДС при разрушении внецентренно сжимаемых со стандартной скоростью призм из мелкозернистого бетона по результатам испытаний // Строительная механика и конструкции. 2013. № 2 (7). С. 56–62.
11. Результаты натурных испытаний составов мелкозернистых бетонов / Д.А. Артамонов, Т.А. Низина, Д.И. Коровкин и др. // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2015. № 6 (14). С. 75–80.
12. Пат. RU 2582277 Российская Федерация, МПК C1. Способ испытания прочности бетона монолитных строительных конструкций и анкерное приспособление для испытания прочности бетона монолитных строительных конструкций/ В.В. Мартос; заявитель и патентообладатель ФГОБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет». № 2015108993/15; заявл. 13.03.2015; опубл. 20.04.2016.
13. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Госстандарт, 2012. 34 с.
14. Курбатов В.Л., Середа О.А., Пастухов С.В. Анализ существующих методик дилатометрических испытаний бетонов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 97–100.
15. Пат. RU 145755 Российской Федерации, МПК U1. Камера для испытаний бетона и других твердых материалов на морозостойкость / Л.М. Клячко, В.Л. Уманский, Б.А. Макаров, А.С. Кротов, И.В. Яковлев, М.Н. Киселев; заявитель и патентообладатель ООО «Центральный научно-исследовательский институт «Курс». № 2014109452/28; заявл. 13.03.2014; опубл. 27.09.2014.
16. Пат. RU 2212663 Российской Федерации, МПК C2. Устройство для испытания бетонов / В.В. Гулунов, А.А. Пау, А.В. Гулунов, Г.Б. Гершкович; заявитель и патентообладатель ООО СКБ «Стройприбор». № 2001131032/03; заявл. 16.11.2001; опубл. 20.09.2003.
17. Пат. RU 2402008 Российской Федерации, МПК C1. Способ испытания дисперсно-армированных бетонов на растяжение / Н.Н. Черноусов, Р.Н. Черноусов; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет». № 2009145375/28; заявл. 07.12.2009; опубл. 20.10.2010.
18. Пат. RU 2271528 Российской Федерации, МПК C1. Способ испытания на прочность бетона строительных конструкций, устройство для расточки профильной канавки, анкерное приспособление для испытания бетона строительных конструкций, силовое устройство для испытания бетона строительных конструкций, кондуктор для сверления отверстий / Б.А. Мельников, В.А. Чебыкин, Г.А. Губайдуллин; заявитель и патентообладатель

- ООО НПП «Спектр-Конверсия»; ООО НПП «ИНТЕРПРИБОР». № 2004122261/28; заявл. 09.07.2004; опубл. 10.03.2006.
19. Потапов В.В., Горев Д.С. Результаты испытаний экспериментальных составов мелкозернистого бетона с добавлением нанокремнезема и микрокремнезема // Современные научно-исследовательские технологии. 2019. № 3–2. С. 232–238.
20. Чернякевич В.И., Пушкаренко Н.Н. Планирование эксперимента при оптимизации состава мелкозернистого цементного бетона для плит сборного покрытия лесных дорог // Лесной вестник (1997–2002). 2000. № 1. С. 105–110.
21. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н. Комбинирование неразрушающих методов испытания бетона // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2017. № 1 (103). С. 87–92.
22. Горбунов И.А., Васильков В.Э. Прочность бетона на сжатие с позиции механики разрушения // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2006. № 3. С. 51–54.
23. Ли Ч.С. Исследование применения механики разрушения к бетонным конструкциям // Труды Дальневосточного государственного технического университета. 2004. № 137. С. 154–156.
24. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н., Латыш А.В. Мониторинг возводимых железобетонных конструкций на основе неразрушающих испытаний прочностных параметров бетона // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 1 (85). С. 102–106.
25. Задумкин К.А., Кондаков И.А., Иванов М.Н. Процесс генерации знаний: основные понятия и сущность // Экономика региона: проблемы и перспективы развития. 2010. Вып. 4 (50). С. 23–30.
- surface temperature of continuously cast ingot beyond the zones of air cooling. Stal, 1998, no. 8, pp. 21–23.
6. Logunova O.S., Arkulis M.B. Features of a scientific experiment: concept, classification and purpose. Sovremennye dostizheniya universitetskikh nauchnykh shkol: sb. dokladov natsionalnoy nauchnoy shkoly-konferentsii [Current achievement of the university scientific schools: collection of reports of the national scientific school-conference]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2019, pp. 78–85. (In Russ.)
7. Novikov A.M., Novikov D.A. Metodologiya [Methodology]. Moscow: SINTEG, 2007, 668 p. (In Russ.)
8. Logunova O.S., Romanov P.Yu., Ilina E.A. Obrabotka eksperimentalnykh dannykh na EVM: uchebnik [Processing experimental data on a computer: Textbook]. Series: Higher education: Postgraduate studies (second edition revised and extended). Moscow: Inform-M, 2021, 337 p. (In Russ.)
9. Morgunov A.P., Revina I.V. Planirovaniye i analiz rezul'tatov eksperimenta: ucheb. posobie [Planning and analyzing experimental results: a tutorial]. Omsk: Publishing House of OmSTU, 2014, 344 p. (In Russ.)
10. Sinozerskiy A.N., Mukhtarov R.A. Determining a strain and stress state at the destruction of prisms made of fine-grained concrete eccentrically compressed at standard speed by test results. Stroitel'naya mekhanika i konstruktsii [Building Mechanics and Structures], 2013, no. 2 (7), pp. 56–62. (In Russ.)
11. Artamonov D.A., Nizina T.A., Korovkin D.I. et al. Results of full-scale tests of fine-grained concrete compositions. Tekhnicheskoe regulirovaniye v transportnom stroitel'stve [Technical Regulation in Transport Construction], 2015, no. 6 (14), pp. 75–80. (In Russ.)
12. Martos V.V. Sposob ispytaniya prochnosti betona monolitnykh stroitelnykh konstruktsiy i ankernoe prisposoblenie dlya ispytaniya prochnosti betona monolitnykh stroitelnykh konstruktsiy [Method of testing strength of concrete in monolithic building structures and an anchor device for testing strength of concrete in monolithic building structures]. Patent RF, no. 2582277, 2016.
13. GOST 10180-2012. Concrete. Methods for determining strength using reference specimens. Moscow: Gosstandart, 2012, 34 p. (In Russ.)
14. Kurbatov V.L., Sereda O.A., Pastukhov S.V. Analysis of existing methods of dilatometric testing of concrete. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova [Bulletin of Shukhov Belgorod State Technological University], 2009, no. 1, pp. 97–100. (In Russ.)
15. Klyachko L.M., Umansky V.L., Makarov B.A., Krotov A.S., Yakovlev I.V., Kiselev M.N. Kamera dlya ispytaniy betona i drugikh tverdykh materialov

References

1. Narkevich M.Yu., Kornienko V.D., Logunova O.S. et al. Analysis of efficiency of the existing system for assessing the quality of materials, products and structures at hazardous production facilities. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2021, vol. 19, no. 2, pp. 103–111. DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-2-103-111.
2. Jevtic R.B. Safety in residential buildings: evacuation from residential buildings without fire escape stairs. Military Technical Courier, 2021, vol. 69, no. 1, pp. 148–178.
3. Shcherbina V.I. Development of a set of interstate standards for functional safety of systems related to safety of buildings and structures. *IT-standart* [IT-Standard], 2017, no. 1 (10), pp. 1–5. (In Russ.)
4. Logunova O.S., Pavlov V.V., Nurov Kh.Kh. Statistical evaluation of the sulfur print of the transverse template of the continuously cast billet. *Elektrometallurgiya* [Electrometallurgy], 2004, no. 5, pp. 18–24. (In Russ.)
5. Tutarova V.D., Logunova O.S. Analysis of the

- na morozostoykost [Chamber for testing concrete and other hard materials for frost resistance]. Patent RF, no. 145755, 2014.
16. Gulunov V.V., Pau A.A., Gulunov A.V., Gershkovich G.B. *Ustroystvo dlya ispytaniya betonov* [Device for testing concrete]. Patent RF, no. 2212663, 2003.
17. Chernousov N.N., Chernousov R.N. *Sposob ispytaniya dispersno-armirovannykh betonov na rastyazhenie* [Method of tensile testing of fiber-reinforced concrete]. Patent RF, no. 2402008, 2010.
18. Melnikov B.A., Chebykin V.A., Gubaiddullin G.A. *Sposob ispytaniya na prochnost betona stroitelnykh konstruktsiy, ustroystvo dlya rastochki profilnoy kanavki, ankernoe prisposoblenie dlya ispytaniya betona stroitelnykh konstruktsiy, silovoe ustroystvo dlya ispytaniya betona stroitelnykh konstruktsiy, konduktor dlya sverleniya otverstiy* [Method of testing strength of concrete of building structures, a device for boring a profile groove, an anchor device for testing concrete of building structures, a power device for testing concrete of building structures, a jig for drilling holes]. Patent RF, no. 2271528, 2006.
19. Potapov V.V., Gorev D.S. Results of testing experimental compositions of fine-grained concrete with added nanosilica and microsilica. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern Science-Intensive Technologies], 2019, no. 3–2, pp. 232–238. (In Russ.)
20. Chernyakevich V.I., Pushkarenko N.N. Planning an experiment to optimize the composition of fine-grained cement concrete for precast slabs of forest roads. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2000, no. 1, pp. 105–110. (In Russ.)
21. Snezhkov D.Yu., Leonovich S.N. Combination of non-destructive testing methods for concrete. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura* [Bulletin of Brest State Technical University. Construction and Architecture], 2017, no. 1 (103), pp. 87–92. (In Russ.)
22. Gorbunov I.A., Vasilkov V.E. Compressive strength of concrete from the point of view of fracture mechanics. *Problemy mashinostroeniya i avtomatizatsii* [Engineering and Automation Problems], 2006, no. 3, pp. 51–54. (In Russ.)
23. Li Ch.S. Study on the application of fracture mechanics to concrete structures. *Trudy Dalnevostochnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Far Eastern State Technical University], 2004, no. 137, pp. 154–156. (In Russ.)
24. Snezhkov D.Yu., Leonovich S.N., Latysh A.V. Monitoring of reinforced concrete structures under construction using non-destructive tests of concrete strength parameters. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura* [Bulletin of Brest State Technical University. Construction and Architecture], 2014, no. 1 (85), pp. 102–106. (In Russ.)
25. Zadumkin K.A., Kondakov I.A., Ivanov M.N. The process of generating knowledge: basic concepts and essence. *Ekonomika regiona: problemy i perspektivy razvitiya* [Economy of the Region: Problems and Prospects of Development], 2010, no. 4 (50), pp. 23–30. (In Russ.)

Поступила 02.08.2021; принята к публикации 27.08.2021; опубликована 27.09.2021
Submitted 02/08/2021; revised 27/08/2021; published 27/09/2021

Наркевич Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и строительных конструкций, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

Email: narkevich_mu@mail.ru. ORCID 0000-0001-6608-8293

Логунова Оксана Сергеевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

Email: logunova66@mail.ru. ORCID 0000-0002-7006-8639

Корниенко Владимир Дмитриевич – эксперт в области промышленной безопасности по зданиям и сооружениям 1-й категории, ведущий инженер в области экспертизы промышленной безопасности научно-исследовательского института промышленной безопасности Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

Email: volodya.kornienko2319@yandex.ru

Николаев Антон Андреевич – обучающийся, кафедра вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

Email: aanton2001@gmail.com. ORCID 0000-0003-4254-6813

Тюлюмов Александр Николаевич – обучающийся, кафедра вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

Email: tulumov.a@yandex.ru. ORCID 0000-0003-3988-845X

Злыдарев Никита Витальевич – обучающийся, кафедра вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

Email: nekit777.net@gmail.com. ORCID 0000-0002-3511-4775

Дерябин Денис Исхакович – студент, кафедра проектирования зданий и строительных конструкций, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: shalender@mail.ru

Mikhail Yu. Narkevich – PhD (Eng.), Associate Professor of the Department of Design of Buildings and Building Structures, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: narkevich_mu@mail.ru. ORCID 0000-0001-6608-8293

Oksana S. Logunova – DrSc (Eng.), Professor, Head of the Department of Computer Science and Programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: logunova66@mail.ru. ORCID 0000-0002-7006-8639

Vladimir D. Kornienko – Category 1 Expert on Industrial Safety for Buildings and Structures, Lead Engineer in the field of examination of industrial safety, Research Institute of Industrial Safety, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: volodya.kornienko2319@yandex.ru

Anton A. Nikolaev – student, Department of Computer Science and Programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: aanton2001@gmail.com. ORCID 0000-0003-4254-6813

Aleksandr N. Tyulyumov – student, Department of Computer Science and Programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: tulumov.a@yandex.ru. ORCID 0000-0003-3988-845X

Nikita V. Zlydarev – student, Department of Computer Science and Programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: nekit777.net@gmail.com. ORCID 0000-0002-3511-4775

Denis I. Deryabin – student, Department of Design of Buildings and Building Structures, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: shalender@mail.ru