

Показатели надежности функционирования производственных зданий и сооружений, подвергшихся воздействию чрезвычайных ситуаций

¹**САТТАРОВА Гульмира Сапаровна**, к.т.н., доцент, sattarovags@mail.ru,

¹**НУРГАЛИЕВА Асель Данияловна**, к.т.н., доцент, a_nurgaliyeva@inbox.ru,

¹**ТЛЕНШЕЕВА Акмарал Зибадиновна**, магистрант, akmaral-mail.ru@mail.ru,

²**ДЕМИНА Татьяна Владимировна**, к.т.н., доцент, demina.tatyana@m.ursmu.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

²Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Рассмотрены вопросы оценки надежности зданий и сооружений, подвергшихся воздействию чрезвычайных ситуаций. Исследования проводились на основе анализа материалов технических обследований объектов гражданского и промышленного назначения, пострадавших в результате ЧС техногенного характера, проведенных экспертами Казахстанского многопрофильного института Реконструкции и Развития. Обработка полученных данных, анализ связи между изучаемыми параметрами и разработка научно обоснованных зависимостей проведена на основе метода математической статистики. На основе методов корреляционного анализа разработаны математические модели для определения физического износа здания, риска аварии и расчетного срока эксплуатации здания при полученных повреждениях после ЧС. В статье авторами предлагаются три показателя надежности, позволяющие оценить степень опасности повреждений элементов конструкций строительного объекта, полученные в результате чрезвычайных ситуаций, и сделать выводы о живучести строительного объекта. Показатели позволяют оценить риск обрушения строительного объекта в результате чрезвычайной ситуации, вероятность безотказной работы объекта и безопасный остаточный ресурс строения. Разработанные математические модели легли в основу методики оценки безопасности зданий и сооружений, подвергшихся воздействию ЧС. Методика предназначена для специалистов, работающих над проблемой живучести при аварийном воздействии на строения.

Ключевые слова: производственные здания и сооружения, надежность, живучесть, риск, чрезвычайные ситуации, срок службы строительного объекта, физический износ, степень повреждения объекта, математические модели.

Введение

Промышленные предприятия, как мелкие, так и крупные, являются важной частью современных городов и зачастую становятся главным фактором экономического роста и их развития. Являясь градообразующим объектом, они размещаются на специально отведенных территориях. Здания промышленных предприятий – это производственные строения различной этажности, в которых расположены заводы, фабрики и другие объекты предприятий. Производственные здания и сооружения представляют собой специальные помещения, в которых осуществляется определенный технологический процесс.

Требования к проектированию, строительству и эксплуатации производственных зданий и сооружений имеют многие общие черты с требованиями к гражданским объектам. Но несмотря на этот факт, имеется ряд важных специфических особенностей. К ним относится сложность технологического процесса, осуществляемого в производственных зданиях и сооружениях, внутренний режим, характер и воздействие приложенных внешних нагрузок, повышенная влажность внутри помещений, количество применяемого специфического технологического оборудования и транспортных средств, наличие дополнительных устройств, устраняющих воздействие вредных и

опасных производственных факторов на человека и другие особенности, возникающие при эксплуатации данных строений. Поэтому при проектировании, строительстве и эксплуатации производственных зданий и сооружений необходимо учитывать как статические, так и динамические нагрузки.

Многие производственные здания и сооружения эксплуатируются в зонах, подверженных чрезвычайным ситуациям техногенного характера, при наличии высоких внешних и внутренних нагрузок на них, агрессивных веществ и сред при осуществлении технологического процесса, высокого риска аварий и катастроф. Особенно это характерно для строений при эксплуатации опасного производственного объекта [1]. Последствия чрезвычайных ситуаций техногенного характера могут оказаться катастрофическими как для зданий (сооружений), так и людей, работающих в них. Разрушение строений и образование завалов обычно сопровождается гибелью, блокированием, травмированием людей [2]. Тяжесть данных последствий усугубляет тот факт, что многие производственные здания и сооружения зачастую изношены и, вследствие длительной эксплуатации, имеют дефекты и повреждения из-за естественного физического износа или неправильной эксплуатации строения. Поэтому в последнее время вопрос надежности строений, подвергшихся воздействию поражающего фактора при природных и техногенных авариях, вызывает всё больший интерес. Выработка единого подхода к решению возникающих проблем по оценке надежности и обеспечению живучести зданий и сооружений при аварийных воздействиях является актуальным вопросом.

Основная часть

Для оценки надежности функционирования строительного объекта необходимо определить показатели, по которым можно произвести оценку способности строения выполнять свою функцию, причем в определенный промежуток времени. Факторы надежности могут быть детерминированными, т.е. управляемыми и стохастическими, т.е. частично управляемыми или вообще неуправляемыми. К первым можно отнести способы производства работ, вид технологического процесса, численность работников предприятия, их квалификацию, особенности технологического процесса, продолжительность выполнения работ в зданиях и сооружениях. Ко второй группе факторов можно отнести технические, организационные, социальные причины, особенности социально-экономического развития региона, природно-климатические ресурсы региона, трудовые ресурсы региона и прочие причины. Строительное производство носит динамический характер и многие факторы являются вероятностными величинами, поэтому для безопасной эксплуатации зданий и сооружений необходимо произво-

дить оценку надежности. Особенно это касается строений, эксплуатируемых на опасных производственных объектах.

Для оценки безопасности производственных зданий, подвергшихся воздействию чрезвычайной ситуации, предлагается применять следующие показатели надежности:

- показатель 1 – изменение уровня риска обрушения строительного объекта в результате чрезвычайной ситуации;
- показатель 2 – вероятность безотказной работы объекта;
- показатель 3 – безопасный остаточный ресурс.

Первый показатель – изменение уровня риска обрушения строительного объекта в результате чрезвычайной ситуации – свидетельствует о том, на сколько увеличивается риск обрушения здания после повреждений полученных при ЧС по сравнению с риском в результате естественных ухудшений технических и других эксплуатационных характеристик объекта. Данный показатель определяется по формуле:

$$\Delta R = R_a(D_{zd}) - R_a(J_{zd}), \quad (1)$$

где $R_a(D_{zd})$ – риск обрушения строительного объекта от полученных повреждений в результате чрезвычайной ситуации;

$R_a(J_{zd})$ – риск обрушения строительного объекта в зависимости от естественного физического износа.

Второй показатель – вероятность безотказной работы объекта – характеризует надежность объекта, т.е. вероятность того, что объект не разрушится после возникшей чрезвычайной ситуации. Он определяется по формуле:

$$N_{zd} = 1 - R_a(D_{zd}), \quad (2)$$

где $R_a(D_{zd})$ – риск обрушения строительного объекта от полученных повреждений в результате чрезвычайной ситуации.

Третий показатель – безопасный остаточный ресурс объекта – характеризует максимальное время жизни исследуемого объекта после всех полученных повреждений и определяется по формуле:

$$T_r = \frac{(100 - T_s) \times T_{\max}}{100}, \quad (3)$$

где T_s – срок эксплуатации здания (сооружения) после полученных повреждений в результате чрезвычайной ситуации, % от проектного срока;

$T_{\max}$ – предельный срок службы объекта до ЧС, лет.

Информация о времени жизни строения после полученных повреждений позволит эффективно распределить средства и силы для проведения мероприятий по ликвидации последствий аварий, поисково-спасательных работ и разбору завалов.

Повреждения конструкций производственных зданий и сооружений могут происходить по двум причинам. Это воздействие силовых нагрузок и внешней среды, в том числе поражающих факторов в результате аварий. Последняя причина снижает не только прочность и надежность конструкций, но и её долговечность и может привести к обрушению различного масштаба. Поисково-спасательные работы в условиях завалов начинаются с проведения разведки. В перечень разведывательных работ входит оценка состояния объектов в зоне ЧС (строений, коммуникаций, инженерных систем), т.е. оценка степени полученных повреждений. Для этого необходимо первоначально оценивать повреждения отдельно взятых конструкций, а затем, с учетом удельного веса каждого элемента, в целом всего объекта. Так, определение степени повреждения конструктивных элементов объекта производится по формуле:

$$D_i = P_d + (100 - P_d) \times J_i, \quad (4)$$

где P_d – часть поврежденного и частично разрушенного конструктивного элемента, %;

J_i – физический износ целой части конструктивного элемента, %.

Общая оценка поврежденности здания рассчитывается по формуле:

$$D_{zd} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \times B_i}{\sum_{i=1}^n B_i}, \quad (5)$$

где D_i – степень повреждения i -го конструктивного элемента, %;

B_i – удельный вес i -го конструктивного элемента;

n – количество конструктивных элементов.

В целом оценка технического состояния зданий, в том числе и производственных, осуществляется по физическому износу конструкций и инженерных систем зданий и сооружений в соответствии с [3]. Согласно данному документу физический износ оценивается на основе критерияльных признаков, выявленных в результате визуально-инструментального обследования.

На основе закона старения строительного объекта выделяются три фазы, характеризующие изменение процесса физического износа по мере его эксплуатации [4]:

- первая фаза – эксплуатация в пределах 25% нормативного срока службы;
- вторая фаза – эксплуатация в пределах 25-50% нормативного срока службы;
- третья фаза – соответствует периоду, когда конструктивные элементы подвержены усиленному разрушению.

Согласно вышеизложенным положениям при помощи корреляционных методов анализа, разработана модель, описывающая зависимость физического износа здания (сооружения) от возраста объекта. Для первой фазы эксплуатации

строения математическая модель физического износа здания (сооружения) $J_{об}$ в зависимости от возраста объекта имеет вид:

$$J_{zd}(T) = -0,064 \times T^2 + 3,2 \times T \quad (6)$$

где T – фактический срок эксплуатации строительного объекта, лет.

Для второй фазы эксплуатации строения данная математическая модель имеет следующий вид:

$$J_{zd}(T) = 0,2 \times T^2 + 35 \quad (7)$$

Для третьей фазы эксплуатации строения модель физического износа здания (сооружения) имеет следующий вид:

$$J_{zd}(T) = 175,55Ln(T) - 713,17 \quad (8)$$

Возраст и нормативный предельный срок службы строительного объекта для расчета по представленным выше моделям устанавливается согласно техническому паспорту, проекту, акту ввода в эксплуатацию или другим документам.

Моделирование парных зависимостей проводилось при помощи программы «IBM SPSS Statistics v.26.0 IF006» [5]. Программа определяет среднеквадратичное отклонение (СКО) между парными зависимостями и коэффициент корреляции. При построении моделей парных зависимостей СКО позволяет рассеивать значения случайной величины относительно математического ожидания и оценить построенную модель по шкале, представленной в таблице 1. Степень тесноты связей между параметрами оценивается по коэффициенту корреляции в соответствии со шкалой Чеддока, представленной в таблице 2 [6, 7].

Разработанные математические модели, характеризующие зависимость физического износа от фактического срока эксплуатации строительного объекта, имеют коэффициент корреляции 0,78. Данный факт свидетельствует о наличии сильной связи между изучаемыми величинами. Среднеквадратичное отклонение по расчету СКО равно 38,2%, поэтому полученные модели характеризуются как «хорошие».

Степень изношенности строения может свидетельствовать об определенной доле вероятности его разрушения, т.е. риска аварии (обрушения строения). Исходя из пороговых значений риска аварии, модели деградации несущего каркаса объекта и закона старения объекта, имеем три условия [8, 9]:

- при риске аварии объекта после окончания его строительства $R_n = 1$ физический износ объекта равен $J = 0\%$.
- при достижении риском аварии предельно-допустимого значения $R_{np} = 19$ физический износ объекта становится равным $J = 50\%$.
- при достижении риском аварии предельного значения $R_{np} = 83$ физический износ объекта становится равным $J = 95\%$.

Нормирование допустимого риска позволяет использовать его в современной инженерной практике. Поэтому на основании вышеизложенного разработаны модели риска аварии при определенном физическом износе объекта, соответствующего его возрасту и при различных степенях повреждения объекта в результате ЧС. Моделирование парных зависимостей проводилось также при помощи программы «IBM SPSS Statistics v.26.0 IF006», как было описано выше.

Модель риска аварии в зависимости от определенного физического износа объекта, соответствующего его возрасту, имеет следующий вид:

$$R_a(J_{zd}) = 1 - \frac{1}{0,0365} \ln(1 - J_{zd}), \quad (9)$$

где J_{zd} – физический износ строительного объекта, рассчитанный по формулам (6-8) для соответствующей фазы, %.

Модель риска аварии в зависимости от степени повреждения объекта в результате ЧС имеет следующий вид:

$$R_a(D_{zd}) = 1 - \frac{1}{0,0365} \ln(1 - D_{zd}), \quad (10)$$

где D_{zd} – степень повреждения объекта в результате ЧС, %.

Среднеквадратичное отклонение по данным моделям равно 39,7%, что характеризует полученные модели согласно таблице 1 как «хорошие». Коэффициент корреляции получился равным 0,75, что подтверждает наличие зависимости между изучаемыми параметрами, как представлено в таблице 2.

Количественные значения рисков, полученные по данным моделям, позволяют определить рост или «скачок» величины риска после полученных повреждений в результате воздействия поражающего фактора аварии. Для здания (сооружения) риск его обрушения в случае получения повреждений различной степени возрастет и становится значительно выше, чем при естествен-

ной его эксплуатации, т.е. при естественном физическом износе объекта, соответствующего его возрасту. Полученные повреждения увеличивают скорость старения строения и высокий риск аварии может возникнуть даже при незначительном физическом износе и небольшом сроке эксплуатации. Данные модели позволяют определить первый и второй показатели надежности.

На основе исследований пороговых значений риска аварии, модели деградации несущего каркаса объекта и закона старения разработаны модели срока эксплуатации строительных объектов в зависимости от количественных значений риска обрушения. Так как на основе закона старения строительного объекта в течение периода эксплуатации здания выделяются три основные фазы общего процесса физического износа, то модели разработаны для каждой фазы отдельно. Это позволяет избежать пропорциональной зависимости величины физического износа от нормативного срока службы и возраста зданий. Моделирование проводилось при помощи программы «IBM SPSS Statistics v.26.0 IF006». Так, срок эксплуатации для первой фазы физического износа определяется по следующей формуле:

$$T_s(R_a) = 0,0065R_a^3 - 0,075R_a^2 + 1,4088R_a - 1,3471, \quad (11)$$

где R_a – риск аварии в зависимости от степени повреждения объекта в результате чрезвычайной ситуации.

Для второй фазы искомая модель выглядит следующим образом:

$$T_s(R_a) = -3,5458R_a^3 + 180,84R_a^2 - 3047,8R_a + 17021. \quad (12)$$

Для третьей фазы физического износа математическая модель срока эксплуатации имеет вид:

$$T_s(R_a) = 15,95\ln(R_a) + 29,966. \quad (13)$$

Таблица 1 – Характеристика математической модели по СКО

Значение среднеквадратичного отклонения	Характеристика модели
СКО ≤ 20%	Модель отличная
СКО = 20...50%	Хорошая модель
СКО = 50...80%	Удовлетворительная модель
СКО ≥ 80%	Неудовлетворительная модель

Таблица 2 – Характер связи между исследуемыми параметрами по коэффициенту корреляции

Коэффициент корреляции R	Характер связи
До 0,3	Очень слабая связь
0,3...0,5	Слабая связь
0,5...0,7	Средняя связь
0,7...0,9	Высокая связь
0,9...1	Очень высокая связь

Среднеквадратичное отклонение по данным моделям равно 34,4%, что характеризует полученные модели согласно таблице 1 как «хорошие». Коэффициент корреляции получился равным 0,8, что говорит о наличии тесной связи между исследуемыми параметрами, как представлено в таблице 2. Расчетный срок эксплуатации $T_s(R_a)$ представляет собой определенный процент от максимального предельного срока службы здания. Таким образом, по полученным моделям можно определить новый (после аварии) срок эксплуатации строительного объекта в процентном выражении от максимального предельного (проектного) срока службы здания. Данные вычисления позволяют определить третий показатель надежности – безопасный остаточный ресурс.

Заключение. Представленные в статье показатели надежности позволяют оценить степень опасности повреждений элементов конструкций строительного объекта и сделать выводы о его способности выполнять свое функциональное назначение в случае отказов или повреждений от-

дельных элементов или блоков после воздействия на него поражающих факторов природных и техногенных ЧС. Поэтому данные показатели надежности можно применять при решении задач по обеспечению живучести зданий или сооружений для характеристики таких свойств, как безопасность и долговечность, зависящих как от прочности конструктивных элементов, так и от степени воздействий внешних неблагоприятных факторов на технические системы. Кроме того, показатели надежности легли в основу экспертной системы оценки безопасности зданий и сооружений, подвергшихся воздействию ЧС [10]. Экспертная система позволяет производить комплексную оценку технического состояния зданий и сооружений, подвергшихся воздействию природных и техногенных чрезвычайных ситуаций. Экспертная система может быть использована специализированными организациями, отвечающими за безопасность населения при чрезвычайных ситуациях, а также аварийно-спасательными службами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников В.В., Сахипов М.С., Сафронов О.В. Безопасная эксплуатация зданий и сооружений на опасных производственных объектах нефтяной и газовой промышленности // Наука и безопасность. – 2015. – № 5 (18).
2. Кусаинов А.Б. Курс лекций по дисциплине «Тактика спасательных работ и ликвидация чрезвычайных ситуаций»: для специальности 5В100100 «Пожарная безопасность» – Кокшетау: Изд-во КТИ, 2013. – 142 с.
3. СП РК 1.04-102-2012 «Правила оценки физического износа зданий и сооружений».
4. Александрова В.Ф., Пастухов Ю.И., Расина Т.А. Технология и организация реконструкции зданий: учеб. пособие / СПбГАСУ. – СПб., 2011. – 208 с.
5. <https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-26>
6. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. Математическая статистика: Учебник. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. – 352 с.
7. Семенов В.А. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие. Стандарт третьего поколения. – СПб: Питер, 2013. – 192 с.: ил.
8. Мельчаков А.П. Конструкционная безопасность строительного объекта. Нормирование, контроль, гарантирование: Учебное пособие. – Москва: Изд-во РАН, 2012. – 281 с.
9. Мельчаков А.П., Чебоксаров Д.В. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений: теория, методология и инженерные приложения: монография. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 113 с.
10. Саттарова Г.С., Тленшеева А.З., Демина Т.В. Оценка живучести зданий и сооружений, подвергшихся воздействию ЧС природного и техногенного характера // Труды Международной научно-практической online конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №13), 17-18 июня 2021 г. / Караганда: Изд-во КарГТУ. – С. 1074-1076.

Төтенше жағдайлар әсеріне ұшыраған өндірістің ғимараттар мен имараттардың жұмыс істеу сенімділігінің көрсеткіштері

¹*САТТАРОВА Гульмира Сапаровна, т.ғ.к., доцент, sattarovags@mail.ru,

¹НУРГАЛИЕВА Асель Данияловна, т.ғ.к., доцент, a_nurgaliyeva@inbox.ru,

¹ТЛЕНШЕЕВА Акмарал Зибадиновна, магистрант, akmaral-mail.ru@mail.ru,

²ДЕМИНА Татьяна Владимировна, т.ғ.к., доцент, demina.tatyana@m.ursmu.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

²Орал мемлекеттік тау-кен университеті, Ресей, Екатеринбург, Куйбышев көшесі, 30,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Бұл мақалада төтенше жағдайларға ұшыраған ғимараттар мен имараттардың сенімділігін бағалау мәселелері қарастырылған. Зерттеулер қазақстандық көпсалалы қайта құру және даму институтының сарапшылары жүргізген техногендік сипаттағы ТЖ салдарынан зардап шеккен азаматтық және өнеркәсіптік мақсаттағы объектілерді техникалық зерттеу материалдарын талдау негізінде жүргізілді. Алынған мәліметтерді өңдеу, зерттелген параметрлер арасындағы байланысты талдау және ғылыми негізделген

тәуелділіктерді дамыту математикалық статистика әдісі негізінде жүргізілді. Корреляциялық талдау әдістерінің негізінде ғимараттың физикалық тозуын, апат қаупін және ТЖ-дан кейін алынған зақымданулар кезінде ғимараттың есептік пайдалану мерзімін анықтау үшін математикалық модельдер әзірленді. Мақалада авторлар төтенше жағдайлар нәтижесінде алынған құрылыс объектісінің құрылымдық элементтеріне зақымкелтіру қаупінің дәрежесін бағалауға және құрылыс объектісінің өміршеңдігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік беретін сенімділіктің үш көрсеткіші ұсынылады. Көрсеткіштер төтенше жағдай нәтижесінде құрылыс объектісінің құлауқаупін бағалауға, объектінің тоқтаусыз жұмыс істеу ықтималдығын және құрылыстың қауіпсіз қалдық ресурсын бағалауға мүмкіндік береді. Әзірленген математикалық модельдер ТЖ әсеріне ұшыраған ғимараттар мен имараттардың қауіпсіздігін бағалау әдістемесінің негізін құрады. Бұл әдіс ғимараттарға апаттық әсер ету кезінде өмір сүру мәселесінде жұмыс істейтін мамандарға арналған.

Кілт сөздер: өндірістік ғимараттар мен имараттар, сенімділік, өміршеңдік, апат қаупі, төтенше жағдайлар, құрылыс объектісінің қызмет ету мерзімі, физикалық тозу, объектінің зақымдану дәрежесі, математикалық модельдер.

Indicators of the Reliability of Industrial Buildings and Structures Affected by Emergency Situations

¹*SATTAROVA Gulmira, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, sattarovags@mail.ru,

¹NURGALIYEVA Assel, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, a_nurgaliyeva@inbox.ru,

¹TLENSHEEVA Akmaral, master student, akmaral-mail.ru@mail.ru,

²DEMINA Tatyana, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, demina.tatyana@m.ursmu.ru,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

²Ural State Mining University, Russia, Yekaterinburg, Kuibyshev Street, 30,

*corresponding author.

Abstract. This article discusses the issues of assessing the reliability of buildings and structures exposed to emergency situations. The studies were carried out on the basis of an analysis of the materials of technical researches of civil and industrial facilities affected by man-made emergencies conducted by experts from the Kazakhstan Diversified Institute for Reconstruction and Development. The processing of the data, the analysis of the relationship between the studied parameters and the development of evidence-based dependencies was carried out on the basis of the method of mathematical statistics. These methods based on correlation analysis were used in developing mathematical models to determine the physical deterioration of the building, the risk of an accident and the estimated life of the building in case of damage received after an emergency. In the article, the authors propose three indicators of reliability, allowing to assess the degree of danger of damage to structural elements of a construction object, obtained as a result of emergency situations and draw conclusions about the wear resistance of a construction. The indicators make it possible to assess the risk of a building collapse as a result of an emergency, to assess the probability of the object's failure-free operation and the safe residual resource of the building. The developed mathematical models formed the basis of the methodology for assessing the safety of buildings and structures affected by emergencies. The technique is intended for specialists working on the problem of wear resistance during an emergency impact on buildings.

Keywords: industrial buildings and structures, reliability, wear resistance, risk, emergency situations, service life of a building, physical deterioration, extent of the damage, mathematical models.

REFERENCES

1. Melnikov V.V., Sakhipov M.S., Safronov O.V. Bezopasnaya ekspluatatsiya zdaniy i sooruzheniy na opasnykh proizvodstvennykh obektakh neftyanoy i gazovoy promyshlennosti // Nauka i bezopasnost'. – 2015. – No. 5 (18).
2. Kusainov A.B. Kurs lekcij po discipline «Taktika spasatelnykh rabot i likvidatsiya chrezvychajnykh situacij»: dlya specialnosti 5V100100 «Pozharnaya bezopasnost». – Kokshetau: Publ. KTI, 2013. – 142 p.
3. SP RK 1.04-102-2012 «Pravila ocenki fizicheskogo iznosa zdaniy i sooruzhenij».
4. Aleksandrova V.F., Pastukhov Yu.I., Rasina T.A. Tekhnologiya i organizatsiya rekonstrukcii zdaniy: ucheb. posobie / SPbGASU. – Saint Petersburg, 2011. – 208 p.
5. <https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-26>
6. Ivchenko G. I., Medvedev Yu. I. Matematicheskaya statistika: Uchebnik. – Moscow: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2014. – 352 p.
7. Semenov V. A. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika: Uchebnoe posobie. Standart tretogo pokoleniya. – Saint Petersburg: Piter, 2013. – 192 p.: il.
8. Melchakov A.P. Konstrukcionnaya bezopasnost stroitelnogo obekta. Normirovanie, kontrol, garantirovanie: Uchebnoe posobie. – Moscow: Publ. RAN, 2012. – 281 p.
9. Melchakov, A.P. Cheboksarov D.V. Prognoz, ocenka i regulirovanie riska avarii zdaniy i sooruzhenij: teoriya, metodologiya i inzhenernye prilozheniya: monografiya. – Chelyabinsk: Publ. YuUrGU, 2009. – 113 p.
10. Sattarova G.S., Tlensheeva A.Z., Demina T.V. Ocenka zhivuchesti zdaniy i sooruzhenij, podvergshikhsya vozejstvu ChS prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera // Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy online konferencii «Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizatsii Plana natsii» (Saginovskie chteniya no. 13), 17-18 iyunya 2021 g. / Karaganda: Publ. KSTU. – pp. 1074-1076.