



УДК 692.412

DOI 10.25628/UNIP.2021.51.4.010

КУРЯКОВА Н. Б., РАЙЗИХ Е. В., МАЛЫХ О. В.

Технологии комплексной оценки надежности скатных крыш

**Курякова
Наталья
Борисовна**

кандидат технических наук,
Пермский национальный
исследовательский поли-
технический университет
(ПНИПУ), Пермь,
Российская Федерация
e-mail: tashatasha11@bk.ru



**Райзих
Екатерина
Викторовна**

магистрант кафедры ар-
хитектуры и урбанистики,
Пермский национальный
исследовательский поли-
технический университет
(ПНИПУ), Пермь,
Российская Федерация
e-mail: 34hotter@mail.ru



**Малых
Ольга
Владимировна**

член Союза архитекторов
России, доцент кафедры
архитектуры, Уральский
филиал РАЖВиЗ
Ильи Глазунова, Пермь,
Российская Федерация
e-mail: malykh-olga@yandex.ru

В статье рассмотрены предпосылки формирования скатных крыш, на основе анализа теоретических источников и практических работ отобраны факторы, оказывающие наиболее значимое влияние на надежность скатных крыш, сформировано полное множество представления данных факторов, сформулированы критерии оценки надежности крыш зданий; принят и обоснован выбор математического аппарата, использованный авторами в дальнейшем при определении комплексной оценки надежности скатных крыш, приведена качественная интерпретация надежности крыш и влияющих на это факторов к количественной шкале. Приведены основные положения принятых решений в соответствии с действующими нормативными требованиями, описаны подготовительные этапы разработки модели комплексной оценки надежности скатных крыш при анализе безопасности кровель различного происхождения.

Ключевые слова: крыша, надежность, фактор, долговечность, комплексная оценка, математический аппарат, программный комплекс Декон.

KURYAKOVA N. B., RAYZIKH E. V., MALYKH O. V.
TECHNOLOGIES FOR COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF ROOF RELIABILITY

The article discusses the prerequisites for the formation of pitched roofs, based on the analysis of theoretical sources and practical work, selected the factors that have the most significant impact on the reliability of pitched roofs, formed a complete set of presentation of these factors, formulated criteria for assessing the reliability of roofs of buildings; adopted and substantiated the choice of the mathematical apparatus used by the authors in the future in determining a comprehensive assessment of the reliability of pitched roofs, a qualitative interpretation of the reliability of roofs and the factors influencing it is given to a quantitative scale. The main provisions of the decisions made in accordance with the current regulatory requirements are given, and the preparatory stages of developing a model for a comprehensive assessment of the reliability of pitched roofs in the analysis of the safety of roofs of various origins are described.

Keywords: roof, reliability, factor, durability, complex assessment, mathematical apparatus, Decon software package.

Введение

Начиная с бронзового века одним из важнейших конструктивных элементов жилища человека являются крыши. В результате архитектурной эволюции стены и крыши стали выразительными самостоятельными частями зданий. Крыши заслуженно называют пятым фасадом здания. В статье авторы рассматривают наиболее традиционные формы крыш — скатные. По статистическим данным и личному опыту авторов, каждая третья строительно-судебная и техническая экспертизы затрагивают проблемы крыш.

Представленное на строительном рынке многообразие форм крыш и материалов для них обусловлено многими факторами, в том числе основными — социальными, градостроительными, экономическими. Однако неизбежно возникают проблемы, связанные

с качеством устройства крыш, а также с влиянием сиюминутной выгоды при строительстве на эксплуатационную долговечность, надежность, безопасность. Решение данной проблемы — комплексное. Это подтверждают многолетние исследования А. А. Савельева, И. А. Шерешевского. Однако границы данного комплексного решения до сих пор четко не очерчены, не выделены и не сгруппированы по значимости конкретные факторы, оказывающие влияние на эксплуатационное качество крыш [12, 13]. Проблемам долговечности крыш, механизмам воздействия на качество работ и строительным решениям «пятого фасада» здания, а также минимизации рисков при выполнении кровельных работ в совокупности с поиском оптимальных кровельных решений и др. уделено значительное внимание в исследовательских и прикладных работах

отечественных и зарубежных ученых. Однако имеющиеся наработки несут фрагментарный характер и требуют переосмысления.

В статье описаны подготовительные этапы разработки модели комплексной оценки надежности крыш при анализе безопасности кровель различного происхождения. Для разработки корректной модели комплексной оценки надежности крыш авторами были поставлены и успешно решены следующие задачи: на основании анализа теоретических источников и экспертных данных сформулированы критерии оценки надежности скатных крыш зданий; выбран и апробирован математический аппарат; выполнена качественная интерпретация надежности скатных крыш и влияющих на это факторов к количественной шкале [11]. Предварительно проведенный анализ российского опыта определения и систематизации факторов, влияющих на надежность крыш в целом и, в частности, на скатные крыши, позволил выявить риски и угрозы, дать им качественную оценку и оценить вероятность их наступления в регионе, рассматриваемом авторами.

Решение вышеперечисленных задач позволит повысить прогнозируемую надежность крыш при анализе уровня их безопасности, положительно влияя на долговечность «пятого фасада» здания. Развитие конструктивных решений крыш путем снятия с них угроз со стороны «слабых» факторов, в свою очередь, даст экономическое обоснование для развития форм крыш и кровельных материалов.

Объектом исследования являются крыши индивидуальных жилых домов на стадии проектирования. Предмет исследования — надежность крыш индивидуальных жилых домов.

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании влияния каждого учитываемого строительного фактора угрозы на надежность крыш. Что, в свою очередь, является базой для дальнейшего изучения, анализа и исследований крыш как индивидуальных жилых домов, так и прочих типов зданий.

Если проследить трансформацию крыш начиная с периода строительства первых жилищ, можно увидеть, что красота и сложность крыш отражает, в первую очередь, социальное становление общества и учитывает климатические особенности регионов строительства. Крыши являются



Иллюстрация 1. Применение простого способа сокращения множеств силовых воздействий, влияющих на надежность крыш. Автор Н. Б. Курякова



Иллюстрация 2. Применение простого способа сокращения множества факторов несиловых воздействий, влияющих на надежность. Автор Н. Б. Курякова

«неписанной летописью» истории развития инженерной и архитектурной мысли человечества. С развитием возможностей, с ростом амбиций и желаний людей усложняется форма крыш, расширяются их функции за счет, например, аэрации, освещения пространства и т. д. Новые функции приводят к росту и углублению проблем обеспечения надежности и долговечности крыш, а также к появлению новых рисков и угроз. При этом в вопросы обеспечения надежности крыш существенные изменения не вносились [3]. Оценивать риски и угрозы для всего множества крыш по единым критериям и одинаковым подходам не представляется возможным. В связи с этим в данной статье рассмотрены технологии комплексной оценки надежности скатных крыш для малоэтажного строительства.

По мнению авторов, корректная оценка безопасности крыш, в том числе скатных, в первую очередь зависит от полного учета всех влияний и тщательного анализа угроз грамотной систематизации и факторного пространства для оценки надежности крыш. Долговечность предполагает, что скатная крыша без ремонтных работ сохраняет в полном объеме свои эксплуатационные свойства в течение всего срока службы, определяемого материалами и климатическими условиями объек-

та возведения, а также не приводит к каким-либо нарушениям в эксплуатационной пригодности других частей и конструкций здания.

Далее в тексте словосочетание «индивидуальные жилые дома» заменено на термин «здания». Авторам представляется наиболее рациональным и целесообразным все влияния на безопасность крыш рассматривать на стадии их проектирования и конструирования. Все факторы, оказывающие влияние на надежность крыш зданий, разделены на две группы. Первая группа включает в себя надежность крыш, связанную с архитектурно-конструктивными решениями зданий, вторая — с влиянием на здание внешних факторов. Полное множество представления факторов, влияющих на надежность крыш, приведено на Иллюстрации 3. В основе построенной модели комплексной оценки надежности крыш лежит дерево критериев и матриц свертки.

У любого здания есть остов и вспомогательные конструкции. Крыша относится к остовообразующим элементам. Причем крыша в своем составе — это многоэлементная и многодельная конструкция. В статье введено допущение — крыша рассматривается как одноемкий, т. е. не рассматриваемый послойно архитектурно-строительный элемент.

Для оптимизации факторов, оказывающих влияние на надежность

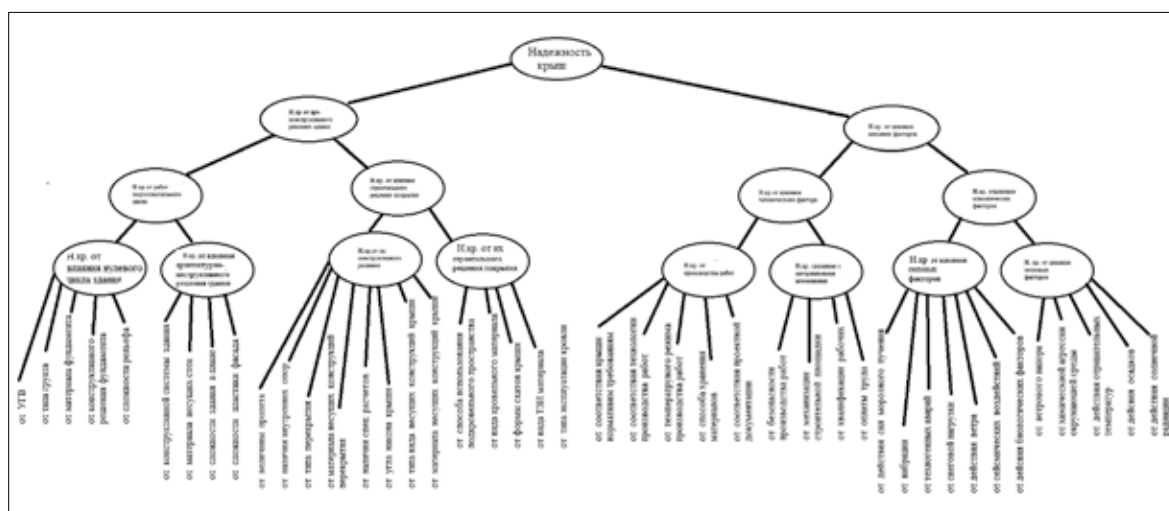


Иллюстрация 3. Полное множество представления факторов, влияющих на надежность скатных крыш (УГВ — уровень грунтовых вод). Автор Н. Б. Курякова

крыш от наступления внешних условий, использован простой способ сокращения множеств (Иллюстрации 1, 2). В итоге получен следующий результат.

Очевидно, что сейсмические воздействия и техногенные явления способны нанести крышам значительно больший урон, чем снеговые и ветровые воздействия, однако, как следует из статистических данных, характер их наступления в изучаемом регионе маловероятен (Пермский край). Два вида силовых воздействий — сейсмического и техногенного характера — исключены из рассмотрения, равно как и солнечная радиация, температурный режим и химические агрессии. При анализе остальных факторов надежности по данным, полученным при применении простого способа сокращения множеств, видно, что по одному критерию превосходит один вариант, по другому — второй (Иллюстрации 1, 2). Без дополнительных данных невозможно дальнейшее ранжирование надежности крыш.

Комплексная оценка надежности крыш представляет собой свертку частных критериев, объединенных в подсистемы (Иллюстрация 3). Это пятиуровневая система. Нижний (первый) уровень формируют критерии, которые оценивались методом активной экспертизы и которые являются отправными критериями для свертки надежности крыш при анализе уровня безопасности крыш.

Далее критерии сворачиваются в матрицы, приведенные на Иллюстрации 3. Таким образом получены матрицы второго порядка. Далее последовательно свернуты матрицы

последующих порядков. Последние две матрицы свернуты непосредственно в параметры надежности крыш.

Решение поставленной задачи предполагает качественную оценку системы через включение в нее количественных данных.

Все оцениваемые факторы, учитываемые в комплексной оценке, являются официальными типологическими структурами или общепризнанными классификациями.

Качество готовой строительной продукции достигается выполнением отдельных производственных операций в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. Исходя из этого, эксперт определяет качество выполненных работ как соответствие (несоответствие) требованиям нормативно-технической документации фактически выполненных работ на момент обследования. В соответствии с положениями ГОСТ 15467–79 «Управление качеством продукции...» и «Классификатором основных видов дефектов в строительстве» авторами использованы стандартные термины с их характеристиками, относимые к показателям качества [4].

Устранимость и неустраанимость дефекта определяют применительно к конкретным условиям производства и ремонта с учетом необходимых затрат и других факторов. Один и тот же дефект может быть отнесен к устранимому или неустраанимому в зависимости от того, обнаружен он на ранних или на заключительных этапах технологического процесса производства (ремонта). Факторы, рассматриваемые в качестве критериев, влияющих на надежность скатных крыш и позволяющие произво-

дить оценку технического состояния как отдельных конструкций, так и здания в целом, соотнесены с требованиями «Правил обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» [6].

Для возможности комплексной количественной оценки качественных величин надежности скатных крыш необходимо определить переводную адаптивную шкалу. Принятая шкала для последующей интерпретации результатов экспертизы приведена в Таблице 1.

В сегменте 3–4 качественная интерпретация количественной оценки приведена уточненная (с меньшим шагом), что обусловлено строительными требованиями к крышам.

В работе в следующей последовательности использованы такие математические методы, как простое сокращение множеств, активная экспертиза, линейная свертка и методы комплексной оценки с использованием субъектно-ориентированных технологий.

Еще раз следует отметить, что с точки зрения конструктивного решения крыша является сложным, многодельным объектом, состоящим из взаимоподчиненных конструкций, объединенных «кровельным пирогом». В данной работе авторами не рассматривалось влияние каждого конструктивного элемента на работу и эксплуатационные характеристики крыши в целом. В задачи входило дать комплексную оценку влияния факторов на крышу как единого рассматриваемую конструкцию. Вследствие этого авторами было введено некоторое упрощение с технической точки зрения. Данное упрощение описано выше — конструкция считается «одноемкой». Поэтому понятия

Таблица 1. Адаптивная шкала для интерпретации результатов

Величина комплексной оценки надежности скатных крыш	Качественная интерпретация величины
1	Наличие критических неустраняемых дефектов — аварийное состояние, срочный демонтаж крыши
2	Наличие критических устранимых дефектов, ветхое состояние
2,5	Наличие значительных неустраняемых дефектов, недопустимое рабочее состояние
3	Наличие значительных устранимых дефектов, недопустимое рабочее состояние
3,25	Наличие малозначительных неустраняемых дефектов, ограниченно работоспособное состояние
3,5	Наличие малозначительных устранимых дефектов, работоспособное состояние
3,75	Наличие малозначительных устранимых дефектов, исправное состояние
4	Дефектов не наблюдается. Исправное состояние

надежности и долговечности следует применять ко всей крыше как к единой конструктивной системе.

В работе авторами выполнялся анализ надежности при анализе обеспечения безопасности крыш, т. е. решалась прямая задача. Так как надежность в данном случае является физически не измеряемой величиной, авторами привлечены эксперты в области проектирования, конструирования, устройства, возведения и обследования крыш, давшие свои количественные оценки описанным критериям.

Для исключения факторов, влияние которых на надежность скатных крыш будет заведомо ничтожным, авторами использован универсальный метод простого сокращения множеств. Он позволяет уже при первом рассмотрении множества факторов вычленить риски и угрозы, наступления которых не оказывают значительного или регулярного снижения надежности скатных крыш.

Для корректной верификации результатов исследования применен метод активной экспертизы с привлечением программы «Активная экспертиза» комплекса «Декон». Использование данного математического аппарата было необходимо для комплексной оценки результатов опроса экспертов по каждому критерию, оказывающему влияние на надежность скатных крыш.

Один из подходов к многокритериальным задачам принятия решений — использование дерева решений со свертками по критериям. Линейные свертки относятся к традиционным типам сверток. Линейные свертки могут быть использованы, когда входящие в них критерии равнозначны. Линейные свертки выполнены с использованием весовых коэффициентов. Для использованного данного подхода необходимо частные критерии объединить — «свернуть» в группы с учетом их приоритетности влияния на итоговый комплексный результат. Частные критерии при этом из качественной шкалы оценок интерпретируются в количественную шкалу, в шкалу комплексного оценивания.

Для объединения частных критериев в группы используют линейные свертки. Для расчета комплексной оценки на основе полученных промежуточных оценок используются матричные свертки и программный комплекс «Декон».

Математическое описание линейной свертки выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} 0 \leq f_i(x) \leq 1, \quad i = 1...n; \\ 0 < p_i < 1, \quad i = 1...n; \quad p_1 + \dots + p_n = 1; \\ w(x) = g(f_1(x), \dots, f_n(x), p_1, \dots, p_n). \end{aligned}$$

Линейная свертка (она же аддитивная свертка) такова:

$$w(x) = p_1 f_1(x) + \dots + p_n f_n(x).$$

Если вариант x — негативный (все f обращаются в нуль), то $w(x) = 0$, если наилучший (все f — единицы), то w — сумма приоритетов, что по определению означает $w(x) = 1$. Таким образом, $w(x)$ не выходит за границы 0 и 1 [11]. Использование в данном случае линейной свертки обосновано, так как приведенные критерии легко компенсируют друг друга. Линейная свертка выполняется с привлечением метода взвешенных коэффициентов. Особо отметим, что при наличии хотя бы одной нулевой функции f промежуточная или комплексная экспертная оценка также является нулевой.

Комплексное оценивание — это процесс, позволяющий получить характеристику, учитывающую результат всестороннего исследования совокупности показателей, отражающих основные критерии оцениваемого, содержащие обобщающие выводы о результатах исследования.

Комплексная экспертиза — это экспертиза, в производстве которой участвуют несколько экспертов различных специальностей или узких специализаций (профилей). Комплексная экспертиза имеет ряд особенностей, отличительных черт. Прежде всего, в ее производстве участвуют несколько экспертов различных специальностей (специализаций), и вытекающее отсюда разделение функций между ними в процессе исследований. В отличие от обычной (однородной) экспертизы, где все эксперты принимают равное участие в процессе исследований, здесь каждый эксперт может исследовать лишь те объекты, которые относятся к его компетенции, и применять те методы, которыми он владеет.

Отсюда вытекает другая особенность комплексной экспертизы — общий вывод дается по результатам, полученным различными экспертами. Причем в формулировании этого общего (конечного) вывода могут участвовать не все эксперты, проводившие исследования, а только те, которые компетентны в общем предмете исследования. Узкие специалисты (особенно специалисты по методам) могут и не принимать участия в этом, их роль может ограничиваться констатацией промежуточного вывода по итогам лично проведенного исследования. Так обеспечивается неманипулируемость результатов.

При выполнении работы использован комплексный подход — линейные и матричные свертки с привлечением такого инструментария, как активная экспертиза, о котором сказано выше.

При реализации нелинейных методов комплексного оценивания применяются программные комплексы поддержки принятия управленческих решений «Декон» (аббревиатура от «Дерева комплексного оценивания объектов недвижимости»), основанные на деревьях целей (критериев) и бинарных матрицах свертки частных

критериев. Данные, отобранные в результате данного анализа, оценены с помощью комплексной оценки с привлечением программы «Декон-2 табл».

Выбранная авторами для проведения исследования и выполнения комплексной оценки надежности скатных крыш для малоэтажного строительства матрица имеет стандартную размерность 4×4 . Данная размерность наиболее востребована при выполнении подобных исследований, что обусловлено удобством, лаконичностью и доступностью при работе эксперта с данной школьной шкалой. В шкале учтены и использованы четыре критерия — неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо и отлично. Такие четырехразмерные матрицы вмещают в себя области малых, средних и больших значений критериев.

Выбранный для дальнейшего исследования программный комплекс «Декон» обладает инструментальным потенциалом, позволяющим строить функции чувствительности комплексной оценки от отдельного параметра.

Заключение

Используя комплексный подход к формированию и оценке выбранных критериев надежности крыш, а также используя возможности программного комплекса «Декон» и опираясь на описанные выше технологии комплексного подхода, авторами выполнена комплексная оценка надежности скатных крыш для малоэтажного строительства. Полученные результаты и их апробация будут представлены в следующей статье.

Список использованной литературы

- 1 Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
- 2 ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. — М.: Стандартинформ, 2014.
- 3 ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. — М.: Стандартинформ, 2019.
- 4 ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2019.
- 5 СП 68.13330.2017. Свод правил. Приемка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 3.01.04–87. — М., 2017.
- 6 СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. — М., 2003.
- 7 Ведомственные строительные нормы. Правила оценки физического износа жилых зданий ВСН3–8 (р). — URL: http://krasnodzor.ru/images/Files/Images_system/mobile_app/BSN_53–86.pdf (дата обращения: 02.10.2021).
- 8 Интеллектуальные технологии обоснования инновационных решений: монография / В. А. Харитонов [и др.]; под науч. ред. В. А. Харитонов. — Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. — 342 с.
- 9 МДС 12–33.2007 Методическая документация в строительстве. Кровельные работы. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200051328> (дата обращения: 28.09.2021).
- 10 Пособие по обследованию строительных конструкций зданий / АО «ЦНИИПромзданий». — М., 2004. — 222 с.
- 11 Начало 2014 года: проблемный фон России // Пресс-выпуск № 2516. — URL: <http://https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/nachalo-2014-goda-problemnyj-fon-v-rossii> (дата обращения: 06.10.2021).
- 12 Савельев А. А. Конструкции крыш. Стропильные системы. — М.: Адслант, 2009. — 120 с.
- 13 Савельев А. А. Современные кровли. Устройство и монтаж. — М.: Адслант, 2010. — 158 с.
- 14 Физдель И. А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1987. — 335 с.
- 15 Iqbal Z., Grigg N.P., Campbell-Allen N.M., Govindaraju K. A distance-based methodology for increased extraction of information from the roof matrices in qfd studies // International Journal of Production Research. — 2016. — Т. 54. — № 11. — P. 3277–3293.
- 16 Egorov V. V., Belyi G. I. Calculation of combined structure and installation roof systems taking into account structural nonlinearity factor // Applied Mechanics and Materials. — 2015. — Т. 725–726. — P. 734.
- 17 Mushchanov V. P., Orzhikhovskii A. N., Zubenko A. V., Fomenko S. A. Refined methods for calculating and designing engineering structures // Magazine of Civil Engineering. — 2018. — № 2 (78). — P. 101–115.
- 18 Irhyymenad S., Jassimshaokan M., Sabbar F. S. Influence of ice formation on the lifetime of the roof of residential buildings and the living safety // International Journal of Advanced Science and Technology. — 2019. — Vol. 28. — № 9. — P. 324–331.
- 19 Majer J., Pentkova L. Algorithm for the multi-criteria design of the structure of roof and floors based on user priority // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. — Sofia, 2020. — P. 27–38.

References

- 1 Federal'nyj zakon ot 30.12.2009 № 384-FZ «Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij».
- 2 GOST 31937–2011. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya. — M.: Standartinform, 2014.
- 3 GOST 27751–2014. Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij. Osnovnye polozheniya. — M.: Standartinform, 2019.
- 4 GOST 15467–79. Upravlenie kachestvom produkcii. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya. — M.: Standartinform, 2019.
- 5 SP 68.13330.2017. Svod pravil. Priemka v ekspluataciyu zakonchennyh stroitel'stvom ob'ektov. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redakciya SNIIP 3.01.04–87. — M., 2017.
- 6 SP 13-102-2003. Pravila obsledovaniya nesushchih stroitel'nyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij. — M., 2003.
- 7 Vedomstvennye stroitel'nye normy. Pravila ocenki fizicheskogo iznosa zhilyh zdaniy VSN3–8 (r). — URL: http://krasnodzor.ru/images/Files/Images_system/mobile_app/BSN_53–86.pdf (data obrashcheniya: 02.10.2021).
- 8 Intellektual'nye tekhnologii obosnovaniya innovacionnyh reshenij: monografiya / V. A. Haritonov [i dr.]; pod nauch. red. V. A. Haritonova. — Perm': Izd-vo Perm. gos. tekhn. un-ta, 2010. — 342 s.
- 9 MDS 12–33.2007 Metodicheskaya dokumentaciya v stroitel'stve. Krovel'nye raboty. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200051328> (data obrashcheniya: 28.09.2021).
- 10 Posobie po obsledovaniyu stroitel'nyh konstrukcij zdaniy / AO «CNIIPromzdaniy». — M., 2004. — 222 s.
- 11 Nachalo 2014 goda: problemnyj fon Rossii // Press-vypusk № 2516. — URL: <http://https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/nachalo-2014-goda-problemnyj-fon-v-rossii> (data obrashcheniya: 06.10.2021).
- 12 Savelyev A. A. Konstrukcii krysh. Stropil'nye sistemy. — M.: Adslant, 2009. — 120 s.
- 13 Savelyev A. A. Sovremennye krovli. Ustroystvo i montazh. — M.: Adslant, 2010. — 158 s.
- 14 Fizdel' I. A. Defekty v konstrukcijah, sooruzheniyah i metody ih ustraneniya. — 2-e izd., pererab. i dop. — M.: Stroyizdat, 1987. — 335 s.
- 15 Iqbal Z., Grigg N.P., Campbell-Allen N.M., Govindaraju K. A distance-based methodology for increased extraction of information from the roof matrices in qfd studies // International Journal of Production Research. — 2016. — T. 54. — № 11. — P. 3277–3293.
- 16 Egorov V. V., Belyi G. I. Calculation of combined structure and installation roof systems taking into account structural nonlinearity factor // Applied Mechanics and Materials. — 2015. — T. 725–726. — P. 734.
- 17 Mushchanov V. P., Orzhikhovskii A. N., Zubenko A. V., Fomenko S. A. Refined methods for calculating and designing engineering structures // Magazine of Civil Engineering. — 2018. — № 2 (78). — P. 101–115.
- 18 Irhyymenad S., Jassimshaokan M., Sabbar F. S. Influence of ice formation on the lifetime of the roof of residential buildings and the living safety // International Journal of Advanced Science and Technology. — 2019. — Vol. 28. — № 9. — P. 324–331.
- 19 Majer J., Pentkova L. Algorithm for the multi-criteria design of the structure of roof and floors based on user priority // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. — Sofia, 2020. — P. 27–38.

ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/nachalo-2014-goda-problemnyj-fon-v-rossii (data obrashcheniya: 06.10.2021).

- 12 Savel'ev A. A. Konstrukcii krysh. Stropil'nye sistemy. — M.: Adslant, 2009. — 120 c.
- 13 Savel'ev A. A. Sovremennye krovli. Ustrojstvo i montazh. — M.: Adslant, 2010. — 158 c.
- 14 Fizdel' I. A. Defekty v konstrukciyah, sooruzheniyah i metody ih ustraneniya. — 2-e izd., pererab. i dop. — M.: Strojizdat, 1987. — 335 s.
- 15 Iqbal Z., Grigg N.P., Campbell-Allen N.M., Govindaraju K. A distance-based methodology for increased extraction of information from the roof matrices in qfd studies // International Journal of Production Research. — 2016. — T. 54. — № 11. — R. 3277–3293.
- 16 Egorov V. V., Belyi G. I. Calculation of combined structure and installation roof systems taking into account structural nonlinearity factor // Applied Mechanics and Materials. — 2015. — T. 725–726. — P. 734.
- 17 Mushchanov V. P., Orzhekhovskii A. N., Zubenko A. V., Fomenko S. A. Refined methods for calculating and designing engineering structures // Magazine of Civil Engineering. — 2018. — № 2 (78). — R. 101–115.
- 18 Irhyymenad S., Jassimshaokan M., Sabbar F. S. Influence of ice formation on the lifetime of the roof of residential buildings and the living safety // International Journal of Advanced Science and Technology. — 2019. — Vol. 28. — № 9. — P. 324–331.
- 19 Majer J., Pentkova L. Algorithm for the multi-criteria design of the structure of roof and floors based on user priority // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. — Sofia, 2020. — P. 27–38.

Статья поступила в редакцию 12 ноября 2021 г.

Опубликована в декабре 2021 г.

Natalia Kuryakova

Candidate of Technical Sciences, Perm National Research Polytechnic University (PNRPU), Perm, Russian Federation
e-mail: tashatasha11@bk.ru

Ekaterina Rayzikh

Master's student of the Department of Architecture and Urban Studies, Perm National Research Polytechnic University (PNRPU), Perm, Russian Federation
e-mail: 34hotter@mail.ru

Olga Malykh

Member of the Union of Architects, Associate Professor at the Department of Architecture, The Ural branch of the Russian academy of painting, sculpturing and architecture of Ilya Glazunov, Perm, Russian Federation
e-mail: malykh-olga@yandex.ru