



Оценка рисков ошибок проектирования

А.Х. Байбури^{1✉}, А.Ю. Самарин²¹Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия²ООО «Априори-Строй», г. Челябинск, Россия

Аннотация. Ошибки в проектной документации могут приводить к значительным ущербам и снижению эффективности строительства. Предметом исследования является оценка рисков проектных ошибок. В статье приведены данные по статистике замечаний на стадии экспертизы проектов. Описаны этапы управления рисками на различных стадиях проектирования, а также типы рисков. На основе анализа основных ошибок проектной документации предлагается простой метод анализа рисков проектных ошибок. Метод основан на анализе видов, последствий и критичности отказов, при котором баллами оценивают частоту ошибок, их значимость и вероятность обнаружения. Вероятность дефекта может быть предварительно исследована по выборке конкретных видов объектов или принята экспертным путем. Перемножением баллов находят величину комплексного (приоритетного) риска ошибки проектирования и назначают ранг риска. Комплексный риск сравнивают с граничным значением приоритетного числа риска *PRN*. По значению *PRN* риски могут быть ранжированы на высокие, средние и малые. Ранг риска определяют по оценкам частоты и значимости дефектов проектирования. По рангу риска возможно назначить мероприятия, значимые для управления качеством проектирования. Предложены критерии для назначения баллов, а также управленческие мероприятия для каждого ранга комплексного риска. Произведена оценка рисков для основных опасных ошибок проектов. Метод позволяет сформировать перечень критических дефектов проектирования, обосновать контрольные и профилактические мероприятия, оптимизировать организацию проектирования с целью повышения качества проектов.

Ключевые слова: проектирование зданий и сооружений, управление рисками в строительстве, анализа видов и последствий отказов, приоритетное число риска

Для цитирования: Байбури А.Х., Самарин А.Ю. Оценка рисков ошибок проектирования // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 708–718. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-708-718>. EDN: JDRMYF.

Original article

Risk assessment of design faults

Albert Kh. Baiburin^{1✉}, Alexander Yu. Samarin²¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russia²Apriori-Stroy LLC, Chelyabinsk, Russia

Abstract. This paper focuses on the risk assessment of design faults which can be made in design documentation thus leading to significant damage and reduced construction efficiency. The data on statistics of the remarks made at the stage of design expertise are given. The steps of risk management at different stages of design, as well as types of risks are described. A method is proposed to analyze the risks of design faults involving the analysis of the types, consequences, and criticality of failures. In this method, the frequency of faults, their significance, and the probability of their detection are scored. Additionally, the probability of a fault can be pre-determined by a sample of specific types of objects or accepted by expert judgment. By multiplying the scores, the value of the complex (priority) risk of design fault is found and the risk level is assigned. For this purpose, the complex risk is compared with the boundary value of the priority risk number (PRN) and then classified as high, medium, or low. The risk

level is determined by estimates of the frequency and significance of design faults. According to the risk level the measures significant for design quality management can be assigned. Criteria for assigning scores as well as management measures for each level of complex risk are proposed. Risk assessment for the main high-risk design faults has been performed. As a result, the method can be used to form a list of critical design faults, to justify control and preventive measures, as well as optimize the design process for increasing the quality of projects.

Keywords: design of buildings and structures, risk management in construction, failure mode and effects analysis, risk priority number

For citation: Baiburin A.Kh., Samarin A.Yu. Risk assessment of design faults. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):708-718. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-708-718>. EDN: JDRMYF.

ВВЕДЕНИЕ

Причинами проектных ошибок являются недостатки предпроектных изысканий, несоответствие расчетных допущений и схем, недостатки опыта проектирования, низкая квалификация исполнителей и человеческий фактор [1, 2].

Последствия проектных ошибок, вместе с дефектами работ, снижают эксплуатационное качество объектов, приводят к преждевременным повреждениям конструктивных элементов, вплоть до потери несущей способности сооружения.

Ошибки проекта и неудачное проектное решение являются причиной от 10 до 35 % аварий [3].

Аварии зданий и сооружений часто имеют своей причиной неправильное применение или недостатки строительных норм, ошибки расчетных обоснований и конструирования, неточности в чертежах и спецификациях.

Ошибки проектирования должны быть выявлены внутренним контролем, экспертизой проектов [4], а также входным контролем заказчика и подрядчика.

Выявление ошибок возможно также на этапах научно-технического сопровождения проектирования и строительства или при мониторинге технического состояния объекта (для ответственных зданий и сооружений).

По данным [5] из выборки 50-ти проектов лишь 10 % не имели замечаний при их экспертизе.

В указанном анализе приведена частота экспертных замечаний:

- общее оформление – 12 %;
- пояснительная записка – 17 %;
- технические спецификации – 3 %;
- расчеты – 23 %;
- правила конструирования – 15 %;
- оформление чертежей – 24 %;
- технологические процессы – 1 %;
- рекомендации – 5 %.

Частыми ошибками при оформлении чертежей являются: не указаны полные спецификации стальных элементов, сварных и болтовых соединений, размеры деформационных блоков; не учтены дополнительные материалы; неполная информация для выполнения заводских чертежей; не разработаны узлы в сопряжениях элементов конструкций.

Среди ошибок расчетных обоснований указываются [5]: отсутствие контрольных перерасчетов; неверное назначение эксцентриситетов и шарниров; игнорирование предупреждения о мгновенной изменяемости системы; неполный учет монтажных нагрузок; нарушение условий жесткой работы дисков перекрытий; ошибки в обосновании связей; недостатки в обеспечении общей устойчивости и назначении нагрузок для неразрезных систем.

Для повышения качества расчетных обоснований проектов рекомендуется [6]: расчет по двум-трем расчетным моделям без конвертирования исходных данных; использование сертифицированных расчетных программ; установление в нормах правил обоснования расчетных моделей; учет в расчетных моделях эффектов геометрической и физической нелинейности.

При проектировании большепролетных сооружений ошибки в расчетных обоснованиях могут привести к значительным ущербам.

Анализ причин некоторых знаковых аварий ответственных конструкций приведен в [7].

Особенно опасны ошибки в конструировании узлов сопряжений конструкций, поскольку они усугубляются повышенной монтажной дефектностью (около половины дефектов монтажа сборных элементов локализуются именно в узлах) [3].

Исследование [8] показало, что финансовые проблемы проектов, несчастные случаи на стройплощадке и дефектный проект являются наиболее значимыми рисками, влияющими на большинство строительных проектов.

В работе оценено влияние различных рисков с точки зрения заказчика:

- дефектное проектирование – 79 %;
- проблемы с финансированием – 90 %;
- задержки с получением разрешений – 58 %;
- задержки с предоставлением чертежей – 87 %;
- изменение норм и правил – 50 %;
- изменение объема работ – 61 %;
- неправильное определение объема работ в контракте – 50 %;
- задержки платежей – 67 %.

Так, ошибки проектирования входят в число наиболее важных рисков наряду с задержками сроков выполнения проекта.

По данным госэкспертизы Челябинской области количество ошибок в пяти проектах объектов общеобразовательных учреждений:

- планировочная организация земельного участка (ПОЗУ) – 8;
- объемно-планировочные и архитектурные решения (АР) – 11;
- конструктивные решения (КР) – 3;
- инженерное оборудование зданий – 23;
- электроснабжение – 5;
- системы водоснабжения и водоотведения – 5;
- системы отопления, вентиляции и кондиционирования – 9;
- сети связи – 4.

Около трети ошибок было допущено на начальных стадиях проектирования, вследствие чего дальнейший проект разрабатывался с изначально неверными конструктивными и объемно-планировочными решениями, поэтому контрольная проверка требуется уже на начальной стадии.

В статье [9] приведены типовые ошибки при проектировании детских образовательных учреждений из опыта работы Управления госэкспертизы Свердловской области по разделам проектной документации:

- ПОЗУ – 14;
- АР и КР – 7;
- обеспечение пожарной безопасности – 18;
- системы водоснабжения и водоотведения – 15;
- системы отопления, вентиляции и кондиционирования – 6.

Нарушения санитарно-эпидемиологических требований в проектах детских дошкольных учреждений по всем разделам сгруппированы в 16 видов ошибок.

Таким образом, если обзоров видов ошибок проектной документации опубликовано доста-

точно, то их анализу в строительном проектировании в Российской Федерации уделяется мало внимания.

Предметом исследований является оценка рисков проектных ошибок.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Мировой опыт показывает (ISO 31000:2018), что проектная деятельность невозможна без анализа рисков проекта и выработки соответствующих решений. Управление рисками включает идентификацию риска, риск-анализ и нормирование риска [10].

Выделяют этапы проектирования, на которых проявляются риски [11]:

- сбор исходной документации;
- полевые инженерные изыскания;
- вариантное технико-экономическое обоснование и разработка принципиальных решений;
- разработка проектной документации;
- согласование и экспертиза проектной документации;
- устранение замечаний экспертизы.

Риски классифицируют [12] на природные (наводнения, оползни и пр.), производственные (ошибки изысканий, отказ оборудования, дефекты, аварии и т.д.), организационные (срыв сроков, кадровые проблемы и пр.), финансово-экономические (превышение стоимости, кризисы) и правовые (невыдача исходно-разрешительной документации, нарушение договоров подряда, изменение нормативной базы и др.).

Известны [13, 14] математические алгоритмы моделей, позволяющие при заданной продолжительности проекта получить минимальное число работ со средним и высшим риском, а также моделей мотивации своевременной оценки и снижения риска.

Разработаны механизмы управления рисками инвестиционно-строительных проектов [15], в том числе на стадии проектирования.

Наиболее простым методом оценки рисков является анализ видов, последствий и критичности дефектов (АВКПО), в котором экономический ущерб оценивается в баллах.

Оценить ущерб в абсолютных или в относительных стоимостных единицах без привязки к конкретным объектам строительства вряд ли представляется возможным.

Предметом исследования не являлись сочетания проектных и производственных ошибок, которые, несомненно, имеют место в практике строительства.

Оценка сочетаний проектных, производственных и эксплуатационных ошибок требует расширенного исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Различные виды ошибок проектирования и их последствия наиболее полно описаны в [1]. Выборка из этих данных для некоторых основ-

ных ошибок проектов приведена в табл. 1, в которой каждой ошибке присвоены баллы для оценки их риска по методике АВПКО, изложенной ниже.

Таблица 1. Характерные ошибки при проектировании
Table 1. Typical design defects

Описание ошибки или отступления от норм проектирования	Возможные последствия	Значения P		
		P_1	P_2	P_3
Конструктивные системы сооружений				
Неправильный выбор строительных материалов и элементов конструкции	Повреждения, снижение долговечности	3	5	6
Ошибки в принятой расчетной схеме конструкции или сооружения	Разрушение конструкций или сооружения	4	9	8
Ошибки в назначении температурно-усадочных и деформационных швов	Образование трещин, снижение жесткости	3	5	3
Не обеспечена устойчивость конструкций или сооружения в целом	Возможность обрушения сооружения	4	9	4
Конструктивная схема допускает прогрессирующее разрушение сооружения	То же	3	9	8
Недостаточное обеспечение жесткости и устойчивости каркаса	Деформации, потеря устойчивости	3	9	2
Уменьшенные площади опирания горизонтальных конструкций	Смятие опор, потеря устойчивости	2	9	3
Не обеспечена совместная работа элементов, ошибки в узлах и связях	Снижение жесткости, отказы в узлах	4	8	5
Неправильно принят уклон кровли, неудачно решен водоотвод с кровли	Протечки, увлажнение элементов	4	4	2
Нагрузки и воздействия				
Не учтены некоторые нагрузки и воздействия: динамические, агрессивные и пр.	Повреждения, разрушение конструкций	3	9	6
Не учтены монтажные нагрузки	То же	5	9	7
Не учтены гололедные нагрузки, нагрузка от снеговых мешков	Разрушение покрытия	2	9	3
Не учтена динамическая составляющая от ветровой нагрузки	Обрушение сооружения	3	10	3
Занижена величина сейсмических нагрузок, неверно учтены грунтовые условия	То же	2	10	4
Неправильный учет температурных воздействий, усадки материалов	Повреждение конструкций	5	5	7

Подобные таблицы могут быть составлены для ошибок проектирования основания и фундаментов (табл. 2), а также для различных конструкций и инженерного оборудования зданий и сооружений. Критичность ошибок проектирования можно определить балльным методом АВПКО. Оценка значимости ошибки проектирования C_p , характеризующим соответствующий риск, производится произведением баллов по

трем позициям $C_p = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$, где P_1 , P_2 , P_3 – балльные оценки частоты, значимости ошибки и вероятности ее выявления. Баллы назначаются экспертным путем по критериям, представленных в табл. 3–5.

Вероятность дефекта может быть предварительно исследована по выборке конкретных видов объектов или принята экспертным путем.

Таблица 2. Ошибки проектирования основания и фундаментов
Table 2. Design errors of bases and foundations

Описание ошибки проектирования основания и фундаментов	Возможные последствия	Значения P		
		P_1	P_2	P_3
Недостатки геологических изысканий площадки строительства	Неравномерные осадки фундаментов	5	9	3

Окончание табл. 2

Описание ошибки проектирования основания и фундаментов	Возможные последствия	Значения P		
		P_1	P_2	P_3
Ошибки в назначении характеристик грунтов основания	То же	4	9	4
Не учтено изменение свойств грунтов при увлажнении основания, ползучести грунта	Недопустимые деформации	3	9	7
Не учтен гидродинамический режим грунтовых вод, процесс суффозии	Недопустимые осадки, трещины	3	9	8
В качестве основания приняты насыпные или просадочные грунты	То же	1	10	2
Не учтено воздействие на фундаменты сил морозного пучения основания	Деформации конструкций, трещины	2	9	3
Не выявлено наличие карста. Не учтены возможные паводки и подтопления, процессы русловой эрозии, оползней	Повреждение конструкций. Обрушение сооружения	2	10	7
Допущена большая разность напряжений под подошвами фундаментов	Неравномерные осадки фундаментов	2	8	2
Нарушение условий работы на продавливание фундамента	Разрушение фундаментов	2	9	6
Не учтено давление обратной засыпки на стадии строительства	Деформации стен подвала	2	7	6
Ошибки в решениях гидроизоляции фундаментов, стен подвала, полов	Капиллярный подсос влаги в стены	3	5	2
Не обеспечен отвод атмосферных вод от стен и фундаментов здания	Деформации фундаментов	2	6	3

Таблица 3. Оценка вероятности ошибки проектирования

Table 3. Probability estimation of a design error

Частота ошибки	Характеристика	Вероятность дефекта	Оценка P_1 , балл
Очень редкая	Ошибка практически не наблюдается	Менее 0,001	1–2
Редкая	Маловероятная, но возможная ошибка	0,001–0,01	3–4
Возможная	Вполне вероятная ошибка	0,01–0,1	5–6
Частая	Высокая вероятность ошибки	0,1–0,3	7–8
Очень частая	Ошибка допускается постоянно	Более 0,3	9–10

Таблица 4. Оценка последствий ошибки проектирования

Table 4. Consequences assessment of a design error

Последствия ошибки	Характеристика	Категория значимости	Оценка P_2 , балл
Незначительные	Ошибка не приводит к ощутимым последствиям. Коррекция проекта объекта не требуется	V	1–2
Малозначительные	Последствия ошибки незначительны для объекта. Расходы по устранению последствий незначительны	IV	3–4
Значительные	Ошибка приводит к снижению эксплуатационных качеств объекта. Расходы по устранению последствий ощутимые	III	5–6
Критические	Объект с ошибками не может быть использован по назначению, но не представляет угрозы безопасности	II	7–8
Катастрофические	Ошибка представляет угрозу безопасности людей или окружающей среды	I	9–10

Оценка последствий ошибок проектирования по табл. 4 в скрытом виде содержит градацию последствий, приводящих к достижению предельных состояний первой и второй

группы. Разделить их по этому признаку затруднительно, т. к. ошибки в определении характеристик грунтов основания или недостатки в обеспечении жесткости каркаса могут приво-

доть как к небольшим деформациям конструкций, так и к потере их устойчивости и разрушению. В этом проявляется известная субъективность в назначении баллов, но это не умаляет

значения методики АВПКО для управления качеством проектирования. Количественную оценку C_p называют приоритетным числом риска RPN .

Таблица 5. Оценка вероятности выявления ошибки проектирования

Table 5. Probability estimation of detecting a design error

Характеристика вероятности выявления ошибки проектирования	Вероятность выявления ошибки	Оценка P_3 , балл
Очень высокая вероятность обнаружения ошибки в результате внутреннего контроля качества проекта	Более 0,90	1–2
Высокая вероятность обнаружения ошибки. Ошибка будет обнаружена в результате приемочного контроля качества проекта	0,90–0,75	3–4
Умеренная вероятность выявления ошибки. Ошибка не будет обнаружена при внутреннем контроле, но будет выявлена в результате внешней экспертизы проекта	0,75–0,50	5–6
Малая вероятность обнаружения ошибки. Внутренний контроль и внешняя экспертиза не гарантируют выявления ошибки	0,50–0,10	7–8
Очень малая вероятность выявления ошибки. Ошибка является скрытой и, скорее всего, не будет обнаружена	Менее 0,10	9–10

Граничное значение для приоритетного числа риска RPN устанавливаются в пределах от 100 до 125, ниже этих значений риск считается малым ($C_p=1-40$) или средним ($C_p=41-99$), а решение по его регулированию принимается по отношению «затраты – выгода». После оценивания частных рисков по критериям табл. 3–5 выполняется ранжирование ошибок проектирования по частотно-значимой матрице рисков табл. 6.

Матрица рангов рисков не является общей для всех отраслей и случаев. Она может изменяться в зависимости от целей и области применения риск-анализа. После определения ранга риска ошибок проектирования по решающим правилам табл. 5 разрабатываются корректирующие мероприятия в рамках системы управления качеством проектирования:

A – обязателен углубленный расчетный анализ. Причины ошибки подлежат безуслов-

ному устранению при проектировании (повторные расчеты, изменение конструкции, увеличение запасов прочности, устойчивости и т. д.);

B – желателен расчетный анализ. Причины ошибки должны быть дополнительно изучены и должно быть принято решение по изменению проекта;

C – возможно ограничиться качественным анализом. Определяются причины ошибки и разрабатываются соответствующие корректирующие мероприятия;

D – анализ обычно не требуется. Причины ошибки фиксируются и принимаются меры по их профилактике.

При суммарном числе риска более 100 баллов принимается мероприятие ранга **A** вне зависимости от данных частотно-значимой матрицы. Результаты анализа критичности наиболее опасных ошибок проектирования представлены в табл. 7.

Таблица 6. Матрица рангов риска

Table 6. Risk rank matrix

Ожидаемая частота ошибки P_1	Ранг риска при категории значимости ошибки P_2				
	I	II	III	IV	V
Очень частая	A	A	A	B	C
Частая (вероятная)	A	A	B	B	C
Возможная	A	B	B	C	C
Редкая (маловероятная)	A	B	C	C	D
Очень редкая	B	C	C	D	D

Как видим, даже при значении приоритетного числа риска $RPN < 100$, в некоторых случаях ошибке присваивается ранг **A** из-за первой категории значимости. К рангу **A** отнесены следующие ошибки конструирования:

- неправильный выбор расчетной схемы;
- невыполнение условий местной и общей устойчивости;
- конструктивная схема допускает прогрессирующее разрушение;

– жесткость и пространственная неизменяемость каркаса не обеспечены, в том числе и в процессе возведения;

– не обеспечена совместная работа элементов, допущены ошибки в узлах и связях.

К опасным ошибкам в проектных нагрузках и воздействиях отнесены:

– неполный учет динамических, температурных, агрессивных и других воздействий;

– не учтены монтажные нагрузки, динамическая составляющая от ветровой нагрузки.

При недостатке данных могут возникнуть затруднения в оценке вероятности выявления ошибок.

В этом случае критичность ошибки C_p может быть оценена без третьего множителя $C_p = P_1 \cdot P_2$, где P_1 , P_2 – балльные оценки частоты, значимости ошибки проектирования. Причем балльные оценки могут быть приняты не в десятибалльной, а в пятибалльной шкале с максимальным значением комплексного риска 25.

Такое упрощение, с нашей точки зрения, будет рациональным, учитывая результаты оценок наиболее частых ошибок проектирования (табл. 6). В этом случае корректирующие мероприятия предлагается назначать по табл. 8.

Таблица 7. Результаты анализа критичности ошибок проектирования

Table 7. Analysis results of the criticality of design errors

Вид ошибки проектирования	Балльные оценки				Ранг риска	Категория значимости
	P_1	P_2	P_3	C_P		
Ошибки конструирования						
Неправильный выбор материалов	3	5	6	90	C	III
Ошибки в расчетной схеме конструкций	4	9	8	288	A	I
Неправильно приняты деформационные швы сооружения	3	5	3	45	B	III
Не обеспечена местная и общая устойчивость элементов	4	9	4	144	A	I
Схема допускает прогрессирующее разрушение сооружения	3	9	8	216	A	I
Недостаточное обеспечение жесткости и устойчивости каркаса	3	9	2	54	A	I
Уменьшенные площади опирания горизонтальных конструкций	2	9	3	54	B	I
Не обеспечена совместная работа элементов, ошибки в узлах и связях	4	8	5	160	A	II
Неправильно принят уклон кровли, неудачно решен водоотвод с кровли	4	4	2	32	C	IV
Ошибки в учете нагрузок и воздействий						
Неполный учет динамических, температурных, агрессивных и других воздействий	3	9	6	162	A	I
Не учтены монтажные нагрузки	5	9	7	315	A	I
Не учтены гололедные нагрузки, нагрузка от снеговых мешков	2	9	3	54	B	I
Не учтена динамическая составляющая от ветровой нагрузки	3	10	3	90	A	I
Занижена величина сейсмических нагрузок	2	10	4	80	B	I
Неправильный учет температурных воздействий, усадки материалов	5	5	7	175	B	III

Таблица 8. Матрица выбора корректирующих воздействий

Table 8. Matrix of selection corrective actions

Величина комплексного риска	Уровень риска	Корректирующее воздействие
1–3	Незначительный	Не требуется
4–10	Низкий	Фиксация ошибки для учета в проектной деятельности и профилактики
11–15	Средний	Дополнительная проверка проекта в части элементов, узлов, спецификаций на соответствие нормам

Окончание табл. 8

Величина комплексного риска	Уровень риска	Корректирующее воздействие
16–20	Высокий	Перерасчет конструктивной схемы. Изменение проектных решений, планировок, конструктива. Повторная экспертиза проекта
21–25	Критичный	Полный пересмотр проекта в части планировок, расчетов, конструктива и материалов. Оценка возможности реализации проекта

В результате проверок и экспертизы ошибки проекта обычно устраняются, что учитывается оценками в табл. 5. Некоторые ошибки (например, расчетные) могут быть не обнаружены и внутренним контролем, и экспертизой, поэтому оценку вероятности обнаружения нужно обязательно включать в анализ (в некоторых упрощенных вариантах АВКПО этого не делают), и учитывать в назначении категории значимости дефектов.

В исследованиях [16, 17] отмечается, что все риски не могут быть учтены или устранены во время проектирования. Остаточные риски должны учитываться на этапах строительства, эксплуатации и технического обслуживания. Для этого предлагается система регистрации рисков, которые необходимо учитывать во время строительства. Реестр рисков, интегрированный с BIM, позволяет визуализировать остаточные риски в 3D-модели для дальнейших мер по снижению рисков на более поздних этапах [18]. Снижение рисков ошибок проектирования может быть достигнуто путем создания и анализа математических моделей структурной надежности сооружений или их частей [19, 20], например, методом нечеткой древо-видной кластеризации [21]. Однако, по нашему мнению, такой глубокий анализ рационально применять только для уникальных и технически сложных объектов. Результаты АВКПО значимы для процессов управления качеством проектирования. На основе анализа возможно

определить перечень критических дефектов, выполнить их ранжирование согласно принятой матрице рангов рисков. АВКПО является базой для формирования обоснованной программы контрольных и профилактических мероприятий по предупреждению ошибок, что позволяет руководству проектной организации изменить систему обеспечения качества проектов.

На основе количественного анализа ошибок предлагается показатель качества проекта (или нескольких проектов) в виде коэффициента бездефектности с учетом риска ошибок каждого вида

$$D = 1 - \sum_{i=1}^n \left(C_{pi} \left(\frac{d_i}{p} \right) \right) / \sum_{i=1}^n C_{pi}, \quad (1)$$

где C_{pi} – критичность i -й ошибки; d_i – количество ошибок i -го вида в проектах (разделах одного проекта); n – количество проанализированных видов ошибок; p – количество проектов (или разделов одного проекта).

В формуле (1) нормированные значения C_{pi} выполняют функцию коэффициентов весомости ошибок различных видов. Параметры весомости будут изменяться как при увеличении числа i рассмотренных видов ошибок, так и при изменении самих значений комплексного риска C_{pi} . Пусть, например, в проектной организации проконтролировано пять проектов. Обнаруженные и оцененные ошибки приведены в табл. 9.

Таблица 9. Оценка уровня качества проектирования (пример)

Table 9. Assessment of the design quality level (example)

Вид ошибки проектирования	C_p	d_i	d_i/p	$C_p (d_i/p)$	D
Неправильный выбор материалов	90	1	0,2	18	0,677
Ошибки в расчетной схеме конструкций	288	1	0,2	57,6	–
Схема допускает прогрессирующее разрушение сооружения	216	1	0,2	129,6	–
Не обеспечена совместная работа элементов, ошибки в узлах и связях	160	3	0,6	32	–
Неправильно принят уклон кровли, неудачно решен водоотвод с кровли	32	2	0,4	12,8	–

Окончание табл. 9

Вид ошибки проектирования	C_p	d_i	d_i/p	$C_p (d_i/p)$	D
Не учтены монтажные нагрузки	315	2	0,4	126	–
Неполный учет динамических, температурных, агрессивных и других воздействий	162	1	0,2	32,4	–

По количеству ошибок в пяти проектах определяем уровень дефектности, и далее, с учетом значения комплексного риска C_{pi} , найдем уровень бездефектности по всем проектируемым проектам 0,677.

Этот комплексный показатель может служить индикатором эффективности системы менеджмента качества проектной организации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди рисков инвестиционно-строительных проектов ошибки проектирования входят в число наиболее важных рисков, наряду с задержками сроков выполнения проекта. Обзор рисков ошибок проектирования в строительном комплексе Российской Федерации уделяется мало внимания. Требуется исследование в этом направлении с применением

разных математических подходов и привлечением органов экспертизы для определения наиболее частых дефектов.

Оценку рисков ошибок проектирования предлагается проводить на основе метода АВПКО с балльной оценкой частоты, критичности и вероятности обнаружения проектных дефектов. При этом показано, что на этой основе возможно ввести интегральный показатель качества проекта в виде коэффициента бездефектности с учетом риска ошибок каждого вида.

Описанные подходы к анализу ошибок проектирования позволяют ввести относительно простой расчетный аппарат для анализа рисков ошибок и совершенствования процедур управления качеством проектирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Добромислов А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений. М.: Ассоциации строительных вузов, 2006. 256 с.
2. Добромислов А.Н. Ошибки проектирования строительных конструкций. М.: Ассоциации строительных вузов, 2007. 184 с.
3. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. М.: Ассоциации строительных вузов, 2007. 255 с. EDN: QNMXBVJ.
4. Акрстиний В.А., Жарков Д.А. Анализ реализуемых методов строительно-технической экспертизы проектной документации // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2019. № 4-2. С. 1–16. EDN: XKLZBS.
5. Самофалов М., Папинигис В. Качество конструкторской проектной документации с точки зрения технической экспертизы в Литве // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 2 (12). С. 4–11. EDN: LRPZYQ.
6. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Повышение качества расчетных обоснований проектов // Бюллетень строительной техники. 2005. № 10. С. 59–62.
7. Климанов С.Г. Дорогостоящие ошибки при проектировании // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2022. № 4 (24). С. 110–117. EDN: UZJCTP.
8. Iqbal S., Choudhry R.M., Holschemacher K., Ali A., Tamošaitienė J. Risk Management in Construction Projects // Technological and Economic Development of Economy. 2015. Vol. 21. Iss. 1. P. 65–78. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.994582>.
9. Козлов М.Л. Детские образовательные учреждения: проблемы и ошибки проектирования // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2011. № 3. С. 83–88. EDN: OFFSBL.
10. Смирнова О.В., Авдеев К.В., Полянский Н.А. Общие принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2023. № 8 (104). С. 508–519. EDN: TVFBJQ.
11. Самарин А.Ю., Байбурун А.Х. Модульный подход к оценке качества проектных организаций // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: строительство и архитектура. 2022. Т. 22. № 2. С. 52–60. <https://doi.org/10.14529/build220207>. EDN: EZODWP.
12. Мельников М.С. Риски проектов по осуществлению проектных работ и инженерных изысканий в строительной сфере // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 12-1. С. 109–113. <https://doi.org/10.17513/vaael.2624>. EDN: IPGHJD.
13. Тельных В.Г., Шевченко Л.В. Управление проектными рисками в строительстве // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 8. С. 219–222. EDN: NYIJVJ.

14. Алферов В.И., Баркалов С.А., Бурков В.Н., Курочка П.Н., Хорохордина Н.В., Шипилов В.Н. Прикладные задачи управления строительными проектами. Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2008. 785 с. EDN: UGNXUR.
15. Асау В.В., Локоть Д.И., Песоцкая Е.В., Ситдииков С.А. Формирование механизмов управления рисками инвестиционно-строительных проектов. СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2016. 170 с.
16. Rachmadhani M.M., Immawan T., Mansur A., Choi W. Risk Management Framework Design Based on ISO 31000 and SCOR Model // *Spektrum Industri*. 2023. Vol. 21. Iss. 1. P. 41–51. <https://doi.org/10.12928/si.v21i1.93>.
17. Mingke Zhou, Yuegang Tang, Huai Jin, Bo Zhang, Xuewen Sang A BIM-Based Identification and Classification Method of Environmental Risks in The Design of Beijing Subway // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2021. Vol. 27. Iss. 7. P. 500–514. <https://doi.org/10.3846/jcem.2021.15602>.
18. Rodrigues F., Antunes F., Matos R. Safety Plugins for Risks Prevention Through Design Resourcing BIM // *Construction Innovation*. 2021. Vol. 21. Iss. 2. P. 244–258. <https://doi.org/10.1108/CI-12-2019-0147>.
19. Politi V. Risk Management at The Stage of Design of High-Rise Construction Facilities // *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 33. P. 1–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183303042>.
20. Seoung-Wook Whang, Donyavi S., Flanagan R., Sangyong Kim Contractor-Led Design Risk Management in International Large Project: Korean Contractor's Perspective // *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2023. Vol. 22. Iss. 3. P. 1387–1398. <https://doi.org/10.1080/13467581.2022.2085718>.
21. Ping Zhong, Hang Yin, Yuanfu Li Analysis and Design of the Project Risk Management System Based on the Fuzzy Clustering Algorithm // *Journal of Control Science and Engineering*. 2022. Vol. 5. P. 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/9328038>.

REFERENCES

1. Dobromyslov A.N. *Diagnostics of Damage to Buildings and Engineering Structures*. Moscow: Association of Construction Universities, 2006. 256 p. (In Russ.).
2. Dobromyslov A.N. *Errors in The Design of Building Structures*. Moscow: Association of Construction Universities, 2007. 184 p. (In Russ.).
3. Perel'muter A.V. *Selected Problems of Reliability and Safety of Building Structures*. Moscow: Association of Construction Universities, 2007. 255 p. (In Russ.). EDN: QNMXBJ.
4. Akristiniy V.A., Zharkov D.A. Analysis of Implemented Methods of Construction and Technical Expertise of Project Documentation. *International Journal of Applied Sciences and Technology Integral*. 2019;4-2:1-16. (In Russ.). EDN: XKLZBS.
5. Samofalov M., Papinigis V. Quality of Design Project Documentation from The Point of View of Technical Expertise in Lithuania. *Magazine of Civil Engineering*. 2010;2(12):4-11. (In Russ.). EDN: LRPZYQ.
6. Perel'muter A.V., Slivker V.I. Improving The Quality of Design Justifications for Projects. *Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2005;10:59-62. (In Russ.).
7. Klymanov S.G. Costly Design Errors. *Aktual'nye problemy voenno-nauchnykh issledovaniy*. 2022;4(24):110-117. (In Russ.). EDN: UZJCTP.
8. Iqbal S., Choudhry R.M., Holschemacher K., Ali A., Tamošaitienė J. Risk Management in Construction Projects. *Technological and Economic Development of Economy*. 2015;21(1):65-78. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.994582>.
9. Kozlov M.L. Children's Educational Institutions: Problems and Design Errors. *Akademicheskii vestnik Ural-NIIproekt RAASN*. 2011;3:83-88. (In Russ.). EDN: OFFSBL.
10. Smirnova O.V., Avdeed K.V., Polyansky N.A. General Principles of Risk Assessment in The Design of Buildings and Structures. *Engineering Journal of Don*. 2023;8(104):508-519. (In Russ.). EDN: TVFBJQ.
11. Samarin A.Yu., Baiburin A.Kh. Modular Approach to Assessment of the Quality of Project Organizations. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2022;22(2):52-60. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/build220207>. EDN: EZODWP.
12. Melnikov M.S. Risks of Projects for The Implementation of Design Works and Engineering Surveys in The Construction Sector. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava*. 2022;12-1:109-113. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/vaael.2624>. EDN: IPGHJD.
13. Telnykh V.G., Shevchenko L.V. Management of Design Risks in Construction. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011;7(8):219-222. (In Russ.). EDN: NYIJVJ.
14. Alferov V.I., Barkalov S.A., Burkov V.N., Kurochka P.N., Khorokhordina N.V., Shipilov V.N. *Applied Problems of Construction Project Management*. Voronezh: Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, 2008. 785 p. (In Russ.). EDN: UGNXUR.
15. Asau V.V., Lokot' D.I., Pesotskaya E.V., Sitedikov S.A. *Formation of Risk Management Mechanisms for Investment and Construction Projects*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2016. 170 p. (In Russ.).

16. Rachmadhani M.M., Immawan T., Mansur A., Choi W. Risk Management Framework Design Based on ISO 31000 and SCOR Model. *Spektrum Industri*. 2023;21(1):41-51. <https://doi.org/10.12928/si.v21i1.93>.
17. Mingke Zhou, Yuegang Tang, Huai Jin, Bo Zhang, Xuewen Sang A BIM-Based Identification and Classification Method of Environmental Risks in The Design of Beijing Subway. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2021;27(7):500-514. <https://doi.org/10.3846/jcem.2021.15602>.
18. Rodrigues F., Antunes F., Matos R. Safety Plugins for Risks Prevention Through Design Resourcing BIM. *Construction Innovation*. 2021;21(2):244-258. <https://doi.org/10.1108/CI-12-2019-0147>.
19. Politi V. Risk Management at The Stage of Design of High-Rise Construction Facilities. *E3S Web of Conferences*. 2018;33:1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183303042>.
20. Seoung-Wook Whang, Donyavi S., Flanagan R., Sangyong Kim Contractor-Led Design Risk Management in International Large Project: Korean Contractor's Perspective. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2023;22(3):1387-1398. <https://doi.org/10.1080/13467581.2022.2085718>.
21. Ping Zhong, Hang Yin, Yuanfu Li Analysis and Design of the Project Risk Management System Based on the Fuzzy Clustering Algorithm. *Journal of Control Science and Engineering*. 2022;5:1-8. <https://doi.org/10.1155/2022/9328038>.

Информация об авторах

Байбурин Альберт Халитович,
д.т.н., советник РААСН,
профессор кафедры строительное
производство и теория сооружений,
Южно-Уральский государственный университет,
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, Россия,
✉e-mail: abayburin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7432-5671>
Author ID: 266980

Самарин Александр Юрьевич,
генеральный директор,
ООО «Априори-Строй»
454091, г. Челябинск, ул. Российская, 224,
Россия,
e-mail: director@apriory-stroy.ru

Information about the authors

Albert Kh. Baiburin,
Dr. Sci. (Eng.), Advisor to the RAACS,
Professor of the Department of Building
Technologies and Structural Engineering,
South Ural State University,
76 Lenin Ave., Chelyabinsk 454080, Russia,
✉e-mail: abayburin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7432-5671>
Author ID: 266980

Alexandr Yu. Samarin,
General Director of LLC Apriori-Story,
224 Rossiyskaya St.,
Chelyabinsk 454091,
Russia,
e-mail: director@apriory-stroy.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 06.06.2024.
Одобрена после рецензирования 18.06.2024.
Принята к публикации 20.06.2024.

Information about the article

The article was submitted 06.06.2024.
Approved after reviewing 18.06.2024.
Accepted for publication 20.06.2024.