УДК 69.059.4

© П. Д. Капырин, канд. техн. наук, доцент
© Н. С. Севрюгина, канд. техн. наук, доцент
(Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет)
E-mail: SevryuginaNS@mgsu.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-1-83-89

© P. D. Kapyrin, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© N. S. Sevryugina, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)
National Research University)
E-mail: SevryuginaNS@mgsu.ru

МЕТОДИКА ВЕРИФИКАЦИИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

VERIFICATION TECHNIQUE OF RESOURCE SAVING AND SAFETY OF HIGH LEVEL RESPONSIBILITY OBJECTS

Обоснована концепция критериальной оценки обобщенного параметра энергоэффективности, безопасности и ресурсосбережения зданий и сооружений путем внедрения системы научно-технического сопровождения ресурсной верификации объектов строительства повышенного уровня ответственности. Получена графическая визуализация расчета вероятности возникновения риска опасной ситуации при варьированном смещении параметра надежности на эксплуатационном период. Решается обратная задача: при заданном уровне надежности и установленной вероятности возникновения опасной ситуации вводятся ограничения по величине смещения контролируемых параметров.

Ключевые слова: объекты строительства повышенного уровня ответственности, научно-техническое сопровождение, моделирование, ресурс, верификация.

The paper substantiates the criterion evaluation concept of the generalized parameter of energy efficiency, safety and resource saving of buildings and structures introducing a system of scientific and technical support for resource verification of construction objects of a high level of responsibility. There has been obtained a graphical visualization of the calculation of the risk probability of dangerous situations occurring with a varied displacement of the reliability parameter during the operational period. A solution for the inverse problem is also offered: for a given level of reliability and the established probability of a dangerous situation emergence, restrictions on the magnitude of the monitored parameters' displacement are introduced.

Keywords: high level responsibility objects, scientific and technical support, modeling, resource, verification.

Теоретико-практические предпосылки

Строительный комплекс решает стратегические цели жизнеобеспечения общества социального, экологического, экономического, технического и технологического характера. Масштабность задач, базируясь на программах и проектах федерального и регионального уровней, требует поиска оптимальных решений, обладающих мультипликативным эффектом. Основным условием реализации программ опережающего развития производственного потенциала строительной отрасли и ее материально-технической базы представляется широкомасштабное ресурсное вложение в новое строительство, реконструкцию и техническое перевооружение функционирующих объектов: зданий и сооружений.

Среди задач инновационного развития строительной сферы выделяют фактор отставания при реализации на всех этапах жизненного цикла: в части организации труда и его производительности, эффективности и ресурсосбережения материалов и технологий, экологической и социальной адаптации и пр. Основной причиной происходящего представляется несогласованность имеющейся нормативно регулируемой методологии строительных процессов с реальными сроками эксплуатации объектов и сооружений на длительном временном периоде.

Оценка основных теорий, методов и методик показывает, что ученые в своих исследованиях также видят проблему энергоэффективности и безопасности строительных объектов различ-

ного уровня ответственности, в частности в работах [1–4] предложено градостроительное планирование и регулирование в развитии крупных городов проводить с учетом действия процессов саморегулирования, позволяющих учитывать способности сложных систем к саморазвитию.

Для проведения исследований принята гипотеза, что при обосновании энергоэффективности и безопасности строительных объектов самопроизвольно формируется сложная система взаимодействия «человек — объект — технология — техника — окружающая среда», для которой учет факторного взаимовлияния элементного состава позволит применить вариативный процессный подход мультиагентного моделирования.

Цель исследований: обоснование концепции критериальной оценки обобщенного параметра энергоэффективности, безопасности и ресурсосбережения на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений путем внедрения системы научно-технического сопровождения объектов строительства повышенного уровня ответственности (НТС ОСПУО).

Анализ базовых нормативных документов выявил отсутствие единых технических рекомендаций по научно-техническому сопровождению всех этапов жизненного цикла объектов строительства повышенного уровня ответственности, к которым, согласно ст. 48.1 Градостроительного кодекса, относятся:

- здания и сооружения особо опасных и технически сложных объектов;
- сооружения, при проектировании и строительстве которых используются принципиально новые конструктивные решения и технологии, которые не прошли проверку в практике строительства и эксплуатации;
- объекты жизнеобеспечения городов и населенных пунктов;
- тоннели, трубопроводы на дорогах высшей категории или имеющие протяженность более 500 м;
- строительные объекты высотой более 100 м;
- пролетные строения мостов с пролетом более 200 м;
- большепролетные покрытия строительных объектов с пролетом более 100 м;

- строительные объекты с консольными конструкциями более 20 м;

- строительные объекты с заглублением подземной части более чем на 15 м.

Аналитически состав документов опирается на положения ФЗ № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Особой статьей выделены требования к разработке программ, регламентирующих порядок подготовки и проведения работ по научно-техническому сопровождению состояния элементов ОСПУО, направленные на обеспечение безопасности и надежности на эксплуатационном периоде жизненного цикла за счет качества выполнения этапов изыскания и проектирования, применения инновационных материалов, изделий и конструкций, передовых методов контроля и пр. Для объектов повышенного класса ответственности экономическая составляющая программы работ по НТС должна выделяться в отдельной статье (рис. 1).

Принципы обеспечения надежности регламентированы в ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований», где предусматривается учитывать дискретность отклонений показателей и расчетных схем от реальных условий эксплуатации и уровень ответственности путем введения четырех типов коэффициентов надежности:

- по нагрузке γ_f ;
- по материалу γ_m ;
- условий работы γ_d ;
- по ответственности сооружений γ_n .

Для критериального установления границ уровня надежности объекты строительства выделены в классы, характеризующие их назначение и социо-эколого-экономическую значимость последствий повреждений и разрушений [5–7].

Следует отметить, что требование к надежности строительных объектов согласуется с общепринятыми требованиями в других сферах народного хозяйства, например, нужен учет предельного состояния при действии сочетания критических нагрузок в расчетный период функционирования, но следует отметить, что достижение результата во временном периоде существенно отличается: для уникальных зданий и сооружений рекомендован срок службы 100 и более лет. Очевидно, что прогностические

Рис. 1. Структурная модель научно-технического сопровождения объектов строительства повышенного уровня ответственности

модели на такой период функционирования не могут быть обезличены, требуется уникальный аппарат оценки заложенных характеристик объекта, адаптируемый к изменениям социо-эко-экономических и технических парадигм в различные периоды времени.

Применение критериального подхода к предельному состоянию позволяет составить схему категорирования с учетом влияния и ответственности возможных изменений [8].

Результаты проведенных исследований показали, что вышеизложенные требования и допущения нормативного характера следует учитывать при разработке:

- программ научно-технического сопровождения ОСПУО;
- модели верификации по уровню ответственности, энергоэффективности и безопасности;
- структурированных систем мониторинга и управления инженерными системами ОСПУО.

Разработка модели верификации ОСПУО по уровню ответственности

В данном исследовании применен процессный подход разработки НТС ОСПУО, основанный на принципе опережающего отражения действительности по параметру безопасности. Для выявления уровня безопасности следует установить факторы позволяющие оценивать возникшую ситуацию, классифицировать ее по признаку нештатности и системно определять пути снижения риска [9–11].

Рассмотрим область строительства с учетом территориальной нагруженности объектами различного назначения, их системного пространственного единства. В данной системе территориального планирования с присутствием ОСПУО теоретически должно соблюдаться следующее условие: каждый компонент с целью обеспечения устойчивого равновесия должен находиться в плоскости только ему присущего влияния, выход за границы которой создает риск нарушения устойчивости с наступлением различного уровня критичности: от потери функционального полезного результата до нарушения элементной безопасности.

В рассматриваемом примере элементарными структурами являются инженерные системы зданий и сооружений, под потерей функциональности на начальном этапе можно принять состояние дискомфорта для людей, находящихся в самом здании или вблизи него, до критичного уровня — неконтролируемого разрушения.

Применяя для различных видов событий в период эксплуатации ОСПУО закон вариативности, базовая схема математически будет иметь следующий вид [10, 11]:

$$R_t = R_0 e^{at}, \quad (1)$$

где R_t — текущее значение принятого параметра; R_0 — условно принятое за начальное значение параметра; e — основание натурального логарифма; a — постоянная; t — время, отсчитываемое от момента, соответствующего R_0 .

Рассмотрим ОСПУО как небезопасную систему с разнообразными факторами влияния на риск-отказ в случайном отрезке эксплуатационного периода, введем понятие «лаг временного состояния», математически описываемый монотонной функцией

$$y_1^i(X_m) = y(x_1, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_m).$$

Вариативность элементного состояния представлена как «нулевая» (период ввода объекта в эксплуатацию), «физическая» (период интенсивной эксплуатации) и «ресурсная» функции, которые имеют взаимовлияние на отрезке эксплуатационного периода и могут быть представлены в виде зависимости:

$$[y_0^i(X_m)] \subseteq [y(X_m)] \subseteq [y_1^i(X_m)].$$

По нормативным характеристикам модальный анализ устанавливает последовательное

влияние элементов конструкции ОСПУО на безопасность объекта в целом, при этом выявляется зависимость изменения значения показателя риска с ограничением фактического показателя до нормированного значения $5 \cdot 10^{-6}$, а параметр безопасности для единичного элемента закладывается на всем ресурсном периоде с учетом элементного влияния:

- с показателем риска $5 \cdot 10^{-2}$ и позволяет сочетание последовательного влияния *трех элементов* с аналогичным значением показателя риска;
- с показателем риска $5 \cdot 10^{-4}$ и позволяет сочетание последовательного влияния *двух элементов* с аналогичным значением показателя риска;
- с показателем риска $5 \cdot 10^{-6}$ и позволяет сочетание только параллельного влияния элементов с аналогичными значениями показателя риска.

Для системы с расширенной структурой составляющих «человек — объект — природная среда» наиболее значимым следует считать риск вероятного ущерба нанесения человеку. Логично в категорию высокого риска отнести сценарий, в результате которого изменится социальная возможность человека реализовать себя, т. е. вред здоровью, который будет морально и/или физически невосполним [12–14].

Используя данный критерий как основной, предлагается ввести при научно-техническом сопровождении контроля качества, надежности и безопасности ОСПУО показатель смещения средней тяжести проявления опасности

$$b = 1 - \eta \ln P, \quad (2)$$

где η — коэффициент смещения; P — вероятность проявления ситуации отказа системы с риском смертельного исхода.

Варьируя значением предела тяжести (верхний-нижний пределы) можно установить коэффициент смещения, а построив инфограмму, визуальнo оценить последствия снижения пределов, что в свою очередь позволит установить границы ранжирования веса каждого элемента конструкции ОСПУО с учетом изменения их функциональных параметров на всем ресурсном периоде эксплуатации, начиная с ввода в эксплуатацию до утилизации.

Пример построения диаграммы ресурсной верификации ОСПУО

Для каждого элемента ОСПУО производитель задает показатель надежности, нормиро-

ванные значения которой установлены в диапазоне 80–100 %.

Поставлена задача установить вероятность возникновения риска опасной ситуации при варьированном смещении параметра надежности на эксплуатационном периоде.

Варьируя значением предела тяжести (верхний-нижний пределы) получены теоретические значения коэффициента смещения, что представлено на диаграмме (рис. 2), позволяющей визуальнo оценить последствия изменения показателя, а также установить границы ранжирования веса элементов системы ОСПУО в целом.

Выполнена критериальная оценка и установлены границы диапазона величин показателя уровня смещения: от 1 — период начала эксплуатации, до 4,5 — факторное влияние, соответствующее максимальному ресурсу.

В расчетах принято допущение сохранения надежности объекта на уровне 80 % во всем ресурсном периоде, что достигается проведением различных управляющих, обслуживающих воздействий [15].

Полученные графики носят линейный характер из-за теоретической оценки параметров для визуализации результатов при решении поставленной задачи при внедрении разработанной методики. Наглядно показана недопустимость снижения нормированного по величине гамма-ресурса: 80%-ного показателя надежности, и также установлен критический уровень повышения значения смещения — 4,5.

Выводы

1. Установлена общность научных представлений строительной инфраструктуры как сложной системы, способной к саморазвитию и процессному саморегулированию.

2. Предложено при обосновании надежности строительных объектов применять вариативный процессный подход верификационного моделирования.

3. Модель верификации представляет комплексность объектов строительной сферы.

4. Представлен алгоритм альтернативного процесса интеллектуального контроля уровня безопасности, включающего научно-техническое сопровождение категорирования рисков ситуаций и их параметрического нормирования.

Рис. 2. Вариационная характеристика взаимовлияния показателей уровня надежности ОСПУ и риска вероятности возникновения опасности при различных значениях смещения

5. Получена графическая визуализация расчета вероятности возникновения риска опасной ситуации при варьированном смещении параметра надежности на эксплуатационном периоде, также решается обратная задача: при заданном уровне надежности и установленной вероятности возникновения опасной ситуации вводятся ограничения по величине смещения контролируемых параметров.

Библиографический список

1. Смоляр И. М. Градостроительство и общество // Архитектура и строительство Москвы. 2000. № 2. С. 13–17.
2. Теличенко В. И., Завалишин С. И., Хлыстунов М. С. Глобальные риски и новые угрозы безопасности ответственных строительных объектов мегаполиса // Сб. докл. тематической науч.-практ. конф. «Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан». М.: МГСУ, 2005. С. 211–218.
3. Болотин С. А., Дадар А. Х., Магамадов Р. А., Мальсагов А. Р. Особенности организации мониторинга в процессе оперативного управления строительством // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 4 (63). С. 146–152.
4. Гусакова Е. А. Системотехника организации жизненного цикла объекта строительства. М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2004. 256 с.
5. Донцова Т. В., Семёнова Е. А. Достижение экологически устойчивого развития планеты как социального процесса в рамках концепций биосферной совместимости и экологического следа // Научные проблемы гуманитарных исследований. 2012. № 7. С. 176–180.
6. Никонов Н. Н., Мельчаков А. П., Рудин В. Н. О безопасности сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 3. С. 49–52.
7. Конюшков В. В., Бабаев М. В., Володкович Е. А., Максимова Н. С. Учет основных рисков при строительстве подземных сооружений в условиях плотной городской застройки // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4 (69). С. 64–71.
8. Капырин П. Д., Романова Е. С. Анализ состояния современной промышленности строительных материалов и факторы, способствующие развитию производства // Вестник МГСУ. 2010. № 4–1. С. 165–170.
9. Донцов Д. Г. Проблемы территориального развития и ориентиры градостроительной политики в документах регионального планирования // Вестник Волгоградского гос. архит.-строит. ун-та. Серия: Строительство и архитектура. 2014. № 38. С. 196–209.
10. Глаголев С. Н., Севрюгина Н. С., Конев А. А. Математическая модель оценки эффективности разви-

тия территорий региона при формировании кластеров придорожного сервиса // Мир транспорта и технологических машин. 2013. № 3 (42). С. 121–125.

11. Глаголев С. Н., Севрюгина Н. С., Козлова Н. В., Конев А. А. Формирование придорожных сервисных комплексов как компонента транспортно-логистического кластера в общей системе инновационного развития региона // Автотранспортное предприятие. 2012. № 11. С. 42–44.

12. Щербина Г. Ф. Теория и практика внедрения процессного подхода в деятельность строительного холдинга // Вопросы экономики и права. 2010. № 12. С. 174–179.

13. Юдина А. Ф., Нгуен Тхай Хуен. Механизмы контроля качества в строительной области в условиях Вьетнама // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 1 (66). С. 88–96.

14. Kapyrin P., Sevryugina N. The procedural approach to reliability of objects of the raised level of responsibility // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365 (4), 042018.

15. Sevryugina N. S., Stepanov M. A. Vertical transport: Resource by the criterion of safety // Magazine of Civil Engineering. 2017. Vol. 75 (7). Pp. 23–36.

References

1. Smolyar I. M. *Gradostroitel'stvo i obshchestvo* [Urban planning and society]. *Arkhitektura i stroitel'stvo Moskvy – Architecture and construction of Moscow*, 2000, no. 2, pp. 13–17.

2. Telichenko V. I., Zavalishin S. I., Khlystunov M. S. *Global'nye riski i novye ugrozy bezopasnosti otvetstvennykh stroitel'nykh ob'ektov megapolisa* [Global risks and new threats to the safety of important construction projects of the megalopolis]. *Trudy tematicheskoy nauch.-prakt. konf. «Gorodskoy stroitel'nyy kompleks i bezopasnost' zhizneobespecheniya grazhdan»* [Proc. of the thematic sci.-pract. conf. "City building complex and the security of the citizens' life"]. Moscow, MGSU Publ., 2005, pp. 211–218.

3. Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Magamadov R. A., Ma'sagov A. R. *Osobennosti organizatsii monitoringa v protsesse operativnogo upravleniya stroitel'stvom* [Features of monitoring organization in the process of construction operational management]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 4 (63), pp. 146–152.

4. Gusakova E. A. *Sistemotekhnika organizatsii zhiznennogo tsikla ob'ekta stroitel'stva* [System engineering of organizing the life cycle of a construction object]. Moscow, Novoe tysyacheletie Publ., 2004, 256 p.

5. Dontsova T. V., Semyonova E. A. *Dostizhenie ehkologicheskoy ustoychivogo razvitiya planety kak*

sotsial'nogo protsessa v ramkakh kontseptsii biosfernoy sovmestimosti i ehkologicheskogo sleda [Achieving sustainable development of the planet as a social process within the frames of the concept of biosphere compatibility and ecological trace]. *Nauchnye problemy gumanitarnykh issledovaniy – Scientific problems of humanitarian studies*, 2012, no. 7, pp. 176–180.

6. Nikonov N. N., Mel'chakov A. P., Rudin V. N. *O bezopasnosti sooruzheniy* [About the safety provision of structures]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil engineering*, 2013, no. 3, pp. 49–52.

7. Konyushkov V. V., Babaev M. V., Volodkovich E. A., Maksimova N. S. *Uchet osnovnykh riskov pri stroitel'stve podzemnykh sooruzheniy v usloviyakh plotnoy gorodskoy zastroyki* [Taking into account the major risks at construction of underground structures in conditions of dense urban development]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 4 (69), pp. 64–71.

8. Kapyrin P. D., Romanova E. C. *Analiz sostoyaniya sovremennoy promyshlennosti stroitel'nykh materialov i faktory, sposobstvuyushchie razvitiyu proizvodstva* [Analysis of the current state of the building materials industry and the factors contributing to the production development]. *Vestnik MGSU – Bulletin of MGSU*, 2010, no. 4–1, pp. 165–170.

9. Dontsov D. G. *Problemy territorial'nogo razvitiya i orientiry gradostroitel'noy politiki v dokumentakh regional'nogo planirovaniya* [Problems of territorial development and guidelines of urban policy in the regional planning documents]. *Vestnik Volgogradskogo gos. arkh.-stroit. un-ta. Stroitel'stvo i arkhitektura – Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Engineering. Construction and architecture*, 2014, no. 38, pp. 196–209.

10. Glagolev S. N., Sevryugina N. S., Konev A. A. *Matematicheskaya model' otsenki ehffektivnosti razvitiya territoriy regiona pri formirovani klasterov pridorozhnogo servisa* [Mathematical model of estimating the development efficiency of territories in the region with the formation of clusters of roadside service]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – World of transport and technological machines*, 2013, no. 3 (42), pp. 121–125.

11. Glagolev S. N., Sevryugina N. S., Kozlova N. V., Konev A. A. *Formirovanie pridorozhnykh servisnykh kompleksov kak komponenta transportno-logisticheskogo klastera v obshchey sisteme innovatsionnogo razvitiya regiona* [Formation of roadside service complexes as a component of the transport and logistics cluster in the overall system of innovative development of the region]. *Avtotransportnoe predpriyatie – Auto-transport enterprise*, 2012, no. 11, pp. 42–44.

12. Shcherbina G. F. *Teoriya i praktika vnedreniya protsessnogo podkhoda v deyatel'nost' stroitel'nogo kholdinga* [Theory and practice of implementation of the

process approach to the construction holding activities]. *Voprosy ekonomiki i prava – Issues of economics and law*, 2010, no. 12, pp. 174–179.

13. Yudina A. F., Nguen Tkhai Khiep. *Mekhanizmy kontrolya kachestva v stroitel'noy oblasti v usloviyakh V'etnama* [Quality control mechanisms in the construction industry of Vietnam]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 1 (66), pp. 88–96.

14. Kapyrin P., Sevryugina N. The procedural approach to reliability of objects of the raised level of responsibility. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 365 (4), 042018.

15. Sevryugina N. S., Stepanov M. A. Vertical transport: Resource by the criterion of safety. *Magazine of Civil Engineering*, 2017, vol. 75 (7), pp. 23–36.