

DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-5-5-12

*Шутова М.Н., кандидат технических наук,
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова, Россия,
Евтушенко С.И. *, доктор технических наук, профессор,
НИУ Московский государственный строительный университет, Россия*
Ответственный автор E-mail: evtushenkosi@mgsu.ru

РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЗДАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ И ТЕОРИИ ГРАФОВ

Аннотация: рассмотрены методы и подходы к определению остаточного ресурса строительных объектов, проведен анализ методов с целью выбора оптимального. Для расчета остаточного ресурса конструкций промышленного цеха в г. Саратове был применен комплексный метод на основе вероятностных методов (для конструкций, чьи прочностные характеристики были выявлены методом неразрушающего контроля) и с использованием теории графов (для остальных конструкций, техническое состояние которых было установлено по внешним признакам). Установленная величина остаточного ресурса (времени до наступления неработоспособного состояния) до реконструкции составила 3,8 года с учетом эксплуатации конструкций в режиме промышленного предприятия. Остаточный ресурс здания в режиме торгового центра составил 18,1 года с учетом снижения эксплуатационных нагрузок (отсутствуют крановые нагрузки, изменена конструкция кровли), данный ресурс недостаточен для объекта, вводимого в эксплуатацию. В процессе реконструкции были восстановлены коммуникации, внешняя и внутренняя отделка, благоустройство прилегающей территории, усилены конструкции ферм, частично заменены конструкции покрытия и внешних стен. Техническое состояние здания улучшилось, что нашло отражение в величине остаточного ресурса – 64,7 года, что больше проектного срока эксплуатации для зданий подобного типа. Следовательно, комплексный расчет остаточного ресурса является эффективным методом для определения объемов и видов работ по реконструкции и восстановлению зданий.

Ключевые слова: остаточный ресурс, оценка технического состояния строительных конструкций, дефекты и повреждения строительных конструкций

Введение

В настоящее время в РФ действует несколько нормативных документов, регламентирующих определение остаточного ресурса зданий и сооружений (время до наступления неработоспособного состояния) в зависимости от отрасли народного хозяйства. При этом утвержденной, единообразной методики для определения остаточного ресурса нет. Эксперты организаций, проводящие оценку технического состояния применяют несколько различных методов:

- с использованием вероятностных методов с учетом экстраполяции повреждений до критических величин [1, 2];
- с использованием вероятностных моделей изменения во времени нагрузок (снеговых, ветровых, временных), геометрических характеристик сечения с учетом повреждений [3];
- с учетом риска аварии [4];
- с учетом степени физического износа, в том числе и по визуальным признакам [5, 6];
- с учетом экономической эффективности восстановления.

Однако ни одна из представленных методик не позволяет представить здание в виде сложной системы взаимосвязанных элементов: расчет ведется либо по группе конструкций, находящейся в худшем техническом состоянии, либо по укрупненным показателям, не учитывающим специфику и особенность напряженно-деформированного состояния конструкций здания. Возможность учета особенностей проявляется в предложенной авторами методике определения остаточного ресурса на основе теории графов [7, 8].

Методы и материалы

Сотрудниками ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова было проведено обследование и оценка технического состояния строительных конструкций здания цеха Саратовского авиационного завода. Работы проводились с целью определить возможность дальнейшей эксплуатации объекта с перепрофилированием здания под торговый центр. Основная задача, которая была поставлена перед экспертами: определить остаточный ресурс и надежность основных несущих конструкций, указать конструкции с потерей надежности для реконструкции и демонтажа. Здание производственного цеха

построено в 1960-1962 годах прошлого столетия. К моменту проведения обследования здание несколько лет не эксплуатировалось.

Здание корпуса №11 конструктивно и функционально разделено на две части: одноэтажный производственный корпус (цех) в осях А-Тх1-70 и четырехэтажный административно-бытовой (инженерный) корпус (АБК) в осях Т-Фх3*-67*. В плане здание имеет прямоугольную форму с габаритными размерами в осях 104,8×414,0 м. Производственный корпус представляет собой многопролетное одноэтажное производственное здание, состоящее из 23 параллельно расположенных пролетов по 18 метров, длиной по 96,0 м каждый. Высота цеха в осях 1-61 составляет 9,1 м от уровня пола, высота цеха в осях 61-70 – 13,1 м (рис. 1, 2).

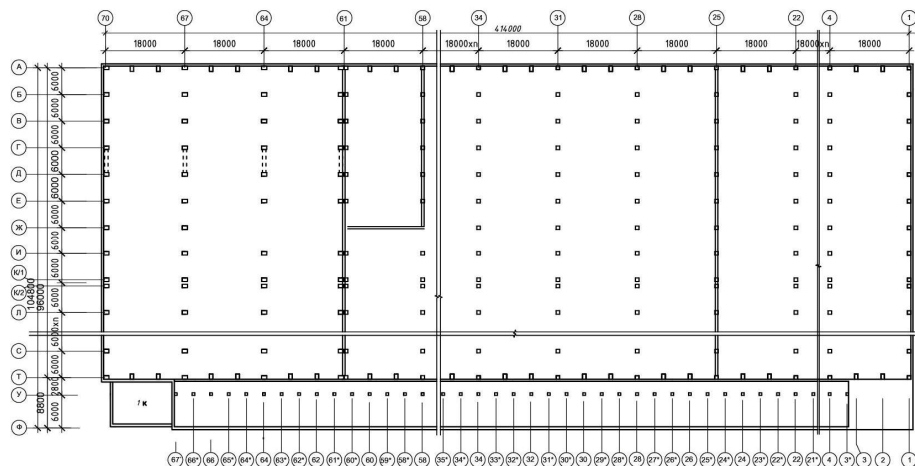


Рис. 1. План цеха
Fig. 1. Workshop Plan

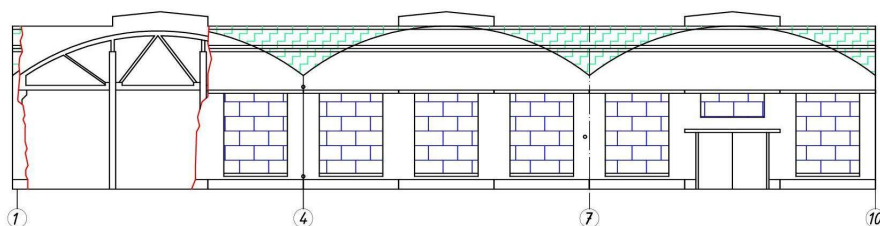


Рис. 2. Фрагмент фасада по оси А в осях 1-10
Fig. 2. Elevation Fragment Along Axis A in Axes 1-10

При обследовании здания, были установлены следующие характеристики, дефекты и повреждения конструкций: фундаменты имеют прочность бетона не ниже класса В12,5 и среднее давление по подошве на 15-45% меньше расчетного значения; железобетонные колонны имеют разную прочность, установленную при проведении неразрушающего контроля (табл. 2), наблюдаются вертикальные трещины, ослабляющие капители колонн, участки с нарушенным защитным слоем бетона, оголенными рабочими арматурными стержнями, которые поражены незначительной коррозией; железобетонные фермы покрытия находятся в работоспособном состоянии за исключением нескольких элементов, непригодных к эксплуатации; кровля здания частично демонтирована; кирпичные ограждающие стены имеют значительное количество вертикальных и наклонных трещин (рис. 3).



Рис. 3. Внешний вид конструкций цеха до и во время реконструкции
Fig. 3. Workshop Structures Surfaces Before and During Reconstruction

Для определения категории технического состояния (относительной надежности) здания был выбран метод с использованием сетевого графа [8]. Сетевая модель системы «Здание» (рис. 4) состоит из следующих вершин: 1 – исправное состояние объекта, 2 – коммуникации, 3 – отделка, 4 – прилегающая территория, 5 – ограждающие конструкции, 6 – стропильные фермы, 7 – колонны и связи, 8 – основания и фундаменты; 9 – разрушение объекта; ребра – проявление взаимодействий подсистем.

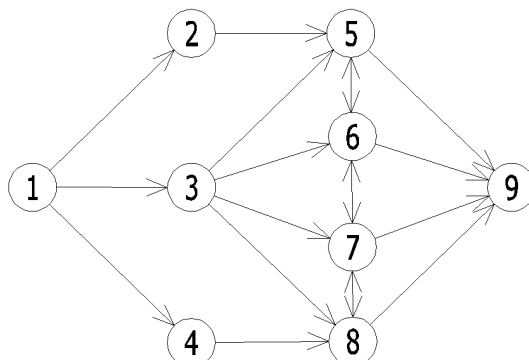


Рис. 4. Сетевая модель системы «Здание»
Fig. 4. Network System Model “Zdaniye”

Минимальным путем называется множество работоспособных элементов, достаточное для работоспособности системы, причем никакое его собственное подмножество не обладает подобным свойством. Обозначив j -й путь P_j и выразим его булеву функцию $f_j(x)$ через булевы переменные пути, получим:

$$f_j(x) = \bigcap_{i \in P_j} x_i.$$

По определению функции конъюнкции:

$$f_j(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } \forall x_i \in P_j \quad x_i = 1; \\ 0, & \text{если } \exists x_i \in P_j \quad x_i = 0; \end{cases}$$

$$\varphi(x) = \bigcup_{j=1}^P f_j(x) = 1 - \bigcap_{j=1}^P (1 - f_j(x)), \quad (1)$$

где P – количество всех путей.

Оценки вероятности работоспособного состояния системы, структурная функция которой выражена через минимальные пути и минимальные сечения, определяют из соотношения:

$$\prod_{j=1}^k \left(1 - \prod_{i \in k_j} q_i \right) \leq R\{\varphi(x)\} \leq 1 - \prod_{j=1}^P \left(1 - \prod_{i \in P_j} r_i \right),$$

где q_i – вероятность отказа i -й подсистемы; r_i – вероятность безотказной работы i -й подсистемы; P – количество всех путей, k – количество всех сечений.

Относительная поврежденность i -той системы равна ε_i . Перепишем формулу (1) для данной сетевой модели:

$$\varphi(x) = P_{зд} = 1 - f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6 \cdot f_7 \cdot f_8 \cdot f_9 \cdot f_{10} \cdot f_{11} \cdot f_{12} \cdot f_{13} \cdot f_{14} \cdot f_{15}.$$

Результаты и обсуждения

Категория технического состояния, как и показатели надежности (вероятность отказа и безотказной работы) для всех конструкций, кроме колонн каркаса, оценивались согласно методике [10, 11] и сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты оценки технического состояния конструкций цеха

Table 1

Results of assessment of technical condition of workshop structures

№ подсистемы	Подсистема конструкций, согласно рис. 4.	Категория технического состояния	Вероятность безотказной работы (относительная надежность)	Вероятность отказа (относительная поврежденность)
2	коммуникации	Неработоспособная (демонтированы)	0,75	0,25
3	отделка	Ограничено работоспособная	0,8	0,2
4	прилегающая территория	Ограничено работоспособная	0,84	0,16
5	ограждающие конструкции (плиты, стены)	Ограничено работоспособная	0,8	0,2
6	Стропильные фермы	Ограничено работоспособная	0,8	0,2
8	Основания и фундаменты	Работоспособная	0,9	0,1

Для определения относительной надежности (вероятности безотказной работы) колонн цеха были применены вероятностные методы [10, 11].

Вероятность отказа выражается в виде:

$$P_f = \frac{1}{s_g \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{g}}{s_x} \right)^2 \right] dx;$$

где \bar{g} – математическое ожидание резерва прочности, равное:

$$\bar{g} = \bar{R} - \bar{F};$$

где \bar{R} – математическое ожидание наименьшего значения резерва прочности;

\bar{F} – математическое ожидание наибольшего значения нагрузочного эффекта, выраженного через внешнюю нагрузку;

s_g – стандартное отклонение резерва прочности:

$$s_g = \sqrt{s_R^2 + s_F^2};$$

здесь s_R и s_F – дисперсия при определении резерва прочности и нагрузочного эффекта соответственно.

Индекс надежности:

$$\beta = \frac{g}{s_g}$$

Нагрузочный эффект рассчитывался для двух режимов:

- 1) Режим эксплуатации в условиях промышленного предприятия;
- 2) Режим эксплуатации в условиях торгового центра.

Всего было рассчитано 52 колонны. Класс бетона для 43 колонн согласно проведенным исследованиям – В 20 и выше (вероятность отказа таких колонн стремится к нулю). При одинаковой нагрузке на колонну меньшая надежность присуща тем колоннам, у которых возникает дефицит резерва прочности, а именно колоннам с классом бетона В15. Расчет данных колонн сведен в табл. 2.

Таблица 2

Расчет колонн с ненулевой вероятностью отказа

Table 2

Calculation of Columns with Non-Zero Failure Probability

№п.п	Оси	Несущая способность, МПа	Класс материала по прочности на сжатие	Нагрузочный эффект, МПа		Вероятность безотказной работы	
				1 режим	2 режим	1 режим	2 режим
1	10хП	13,2	B15	11,3	10,2	0,962	0,996
2	10хМ	14,3	B15	11,3	10,2	0,996	0,999
3	10хВ	14,9	B15	11,3	10,2	0,998	0,9999
4	16хЖ	12,6	B15	11,3	10,2	0,943	0,982
5	28хЖ	14,4	B15	11,3	10,2	0,997	0,9999
6	37хВ	12,5	B15	11,3	10,2	0,938	0,9782
7	49хГ	14,0	B15	11,3	10,2	0,988	0,9993
8	55хР	14,1	B15	11,3	10,2	0,990	0,9994
9	55хС	13,0	B15	11,3	10,2	0,958	0,993

Таким образом, для режима эксплуатации 1 (нагрузки от собственного веса, от веса стропильных ферм и плитной кровли, крановая нагрузка, снеговая и ветровая нагрузка) вероятность безотказной работы составила 0,79; для режима эксплуатации 2 (нагрузки от собственного веса, от веса стропильных ферм и облегченной кровли, нагрузка от подвесного оборудования, снеговая и ветровая нагрузка) вероятность безотказной работы составила 0,94.

Согласно графу системы «Здание» были определены 15 возможных путей разрушения здания (табл. 3). Расчет относительной поврежденности (вероятности отказа) для здания проводился в двух случаях

- случай 1 (до ремонта, конструкции находятся в том состоянии, которое установило обследование, рис. 3);
- случай 2 (восстановлены коммуникации, отделка, расчищена прилегающая территория, частично заменены плиты покрытия, стеновое ограждение, проведено усиление опор и сечений ферм). На рис. 5 показан вид на конструкции после реконструкции, стрелками указаны недемонтированные колонны и фермы).



Рис. 5. Вид на несущие конструкции торгового зала после реконструкции

Fig. 5. View of the Bearing Structures of the Trading Hall after Reconstruction

Расчеты проводились также для 2 загрузений: от промышленного и торгового предприятия. Результаты расчета сведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета вероятности отказа

Table 3

Results of Failure Probability Calculation

Наименование системы/ полного пути	Случай 1 (до реконструкции)		Случай 2 (после реконструкции)	
	Режим 1	Режим 2	Режим 1	Режим 2
Коммуникации P_2	0,25	0,25	0,05	0,05
Отделка P_3	0,2	0,2	0,05	0,05
Прилегающая территория P_4	0,16	0,16	0,05	0,05
Ограждающие конструкции P_5	0,2	0,2	0,05	0,05
Стропильные фермы P_6	0,2	0,2	0,2	0,2

Продолжение таблицы 3
Continuation of Table 3

Колонны P_7	0,21	0,06	0,21	0,06
Основания и фундаменты P_8	0,1	0,1	0,1	0,1
Полные пути				
1-2-5-9 ($f_1 = P_2 \cdot P_5$)	0,05	0,05	0,0025	0,0025
1-3-5-9 ($f_2 = P_3 \cdot P_5$)	0,04	0,04	0,0025	0,0025
1-3-6-9 ($f_3 = P_3 \cdot P_6$)	0,04	0,04	0,005	0,005
1-3-7-9 ($f_4 = P_3 \cdot P_7$)	0,042	0,012	0,0105	0,003
1-3-8-9 ($f_5 = P_3 \cdot P_8$)	0,02	0,02	0,005	0,005
1-3-5-6-9 ($f_6 = P_3 \cdot P_5 \cdot P_6$)	0,008	0,008	0,00025	0,00025
1-3-5-6-7-9 ($f_7 = P_3 \cdot P_5 \cdot P_6 \cdot P_7$)	0,00168	0,00048	5,25E-05	0,000015
1-3-5-6-7-8-9 ($f_8 = P_3 \cdot P_5 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_8$)	0,000168	0,000048	5,25E-06	0,0000015
1-3-6-7-9 ($f_9 = P_3 \cdot P_6 \cdot P_7$)	0,0084	0,0024	0,00105	0,0003
1-3-6-7-8-9 ($f_{10} = P_3 \cdot P_6 \cdot P_7 \cdot P_8$)	0,00084	0,00024	0,000105	0,00003
1-3-7-8-9 ($f_{11} = P_3 \cdot P_7 \cdot P_8$)	0,0042	0,0012	0,00105	0,0003
1-4-8-9 ($f_{12} = P_4 \cdot P_8$)	0,016	0,016	0,005	0,005
1-4-8-7-9 ($f_{13} = P_4 \cdot P_8 \cdot P_7$)	0,00336	0,00096	0,00105	0,0003
1-4-8-7-6-9 ($f_{14} = P_4 \cdot P_8 \cdot P_7 \cdot P_6$)	0,000672	0,000192	0,000105	0,00003
1-4-8-7-6-5-9 ($f_{15} = P_4 \cdot P_8 \cdot P_7 \cdot P_6 \cdot P_5$)	0,000134	0,0000384	5,25E-06	0,0000015
Относительная поврежденность здания	0,235454	0,1915584	0,034173	0,014228

Остаточный ресурс здания определяется как время до наступления неработоспособного состояния (относительная надежность $P_{нер} = 0,75$):

$$R_{ост} = \frac{\ln P_{нер} - \ln P_{зд}}{\lambda_{зд}};$$

где $\lambda_{зд}$ – скорость разрушения здания:

$$\lambda_{зд} = \frac{\ln P_{зд}}{t},$$

где t – для случая 1 – время от ввода в эксплуатацию до обследования, для случая 2 – срок от проведения ремонта по настоящее время.

Результаты расчета остаточного ресурса сведены в табл. 4

Таблица 4

Результаты расчета остаточного ресурса

Table 4

Results of Residual Resource Calculation

Наименование системы/ полного пути	Случай 1 (до реконструкции)		Случай 2 (после реконструкции)
	Режим 1	Режим 2	Режим 2
Относительная надежность здания, $P_{зд}$	0,7646	0,8085	0,9757
Время, t	52	52	6
Остаточный ресурс $R_{ост}$	3,8	18,1	64,7

Выводы

Установленная величина остаточного ресурса до реконструкции составила 3,8 года с учетом эксплуатации конструкций в режиме промышленного предприятия. Остаточный ресурс здания в режиме торгового центра составил 18,1 года, данный ресурс недостаточен для объекта, вводимого в эксплуатацию, так как здание торгового центра «Оранжевый» в г. Саратове относится согласно табл.1 [14] к зданиям и сооружениям массового строительства в обычных условиях эксплуатации, срок службы которых составляет не менее 50 лет. Остаточный ресурс здания с учетом проведенных работ по реконструкции составит 64,7 года, что соответствует проектному сроку службы для подобных зданий и сооружений.

Таким образом, комплексный подход с использованием вероятностных методов и теории графов позволяет учесть техническое состояние каждого вида конструкций и рассчитать оптимальный объем работ для восстановления надежности и увеличения остаточного ресурса.

Литература

1. РД 24-112-5Р Руководящий документ по оценке остаточного ресурса кранов мостового типа.
2. РД 03-421-01 Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов.
3. Сушев С.П., Самолинов Н.А., Адаменко И.А. Остаточный ресурс конструкций (сооружений) и возможные методы его оценки // Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сб. науч. трудов. Вып. 8. М.: МДП, 2009. С. 320 – 327.
4. Мельчаков А.П., Чебоксаров Д.В. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений. Теория, методология и инженерные приложения. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. 111 с.
5. ВСН 53-86(р) Правила оценки физического износа жилых зданий.
6. ВСН 58-88(р) Положение об организации и проведению реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения.
7. Соболев В.И. и др. Математическая модель определения остаточного ресурса зданий и сооружений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2006. №2.
8. Шутова М.Н. Определение величины относительной надежности зданий // Материалы V Междунар. конф. «Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований и фундаментов». Волгоград, 2007 г. С. 275 – 279.
9. Евтушенко С.И., Галашев Ю.В., Авакян А.Г., Волосухин В.А., Шкураков Л.В., Моисеенко В.В., Шутова М.Н., Крахмальный Т.А., Пихур В.Н. Обследование и оценка технического состояния строительных конструкций здания корпуса №11 Саратовского авиационного завода в г. Саратове по адресу пл. Орджоникидзе, 1. Том 2. Производственный цех: техн. отчет к заключ. по договору 517-07 от 14 мая 2007 г. Новочеркасск, 2007. 189 с.
10. Добромислов А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений. Litres, 2015. 121 с.
11. Добромислов А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам: Справочное пособие. М.: Изд-во АСВ, 2008. 72 с.
12. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 1998. 230с.
13. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. М.: Изд-во АСВ, 2010. 381 с.
14. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.

References

1. Russian State Standart RD 24-112-5R Rukovodyashchij dokument po ocenke ostatochnogo resursa kranov mostovogo tipa. (rus.)
2. Russian State Standart RD 03-421-01 Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya i opredeleniyu ostatochnogo sroka sluzhby sosudov i apparatov. (rus.)
3. Sushchev S.P., Samolinov N.A., Adamenko I.A. Ostatochnyj resurs konstrukcij (sooruzhenij) i vozmozhnye metody ego ocenki. Predotvrashchenie avarij zdaniy i sooruzhenij: Sb. nauch. trudov. 8. M.: MDP, 2009. P. 320 – 327. (rus.)
4. Mel'chakov A.P., CHEboksarov D.V. Prognoz, ocenka i regulirovanie riska avarii zdaniy i sooruzhenij. Teoriya, metodologiya i inzhenernye prilozheniya. CHelyabinsk: Izd-vo YUUrGU, 2009. 111 p. (rus.)
5. Russian State Standart VSN 53-86(r) Pravila ocenki fizicheskogo iznosa zhilyh zdaniy. (rus.)
6. Russian State Standart VSN 58-88(r) Polozhenie ob organizacii i provedeniyu rekonstrukcii, remonta i tekhnicheskogo obsluzhivaniya zdaniy, ob"ektov kommunal'nogo i social'no-kul'turnogo naznacheniya. (rus.)
7. Sobolev V.I. i dr. Matematicheskaya model' opredeleniya ostatochnogo resursa zdaniy i sooruzhenij. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki. 2006. 2. (rus.)
8. SHutova M.N. Opredelenie velichiny odnositel'noj nadezhnosti zdaniy. Materialy V Mezhdunar. konf. «Nadezhnost' i dolgovechnost' stroitel'nyh materialov, konstrukcij i osnovanij i fundamentov». Volgograd, 2007 g. P. 275 – 279. (rus.)
9. Evtushenko S.I., Galashev YU.V., Avakyan A.G., Volosuhin V.A., SHkurakov L.V., Moiseenko V.V., SHutova M.N., Krahmal'nyj T.A., Pihur V.N. Obsledovanie i ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nyh konstrukcij zdaniya korpusa №11 Saratovskogo aviacionnogo zavoda v g. Saratove po adresu pl. Ordzhonikidze, 1. 2. Proizvodstvennyj cekh: tekhn. otchet k zaklyuch. po dogovoru 517-07 ot 14 maya 2007 g. NovoCherkassk, 2007. 189 p. (rus.)
10. Dobromyslov A. Diagnostika povrezhdenij zdaniy i inzhenernyh sooruzhenij. Litres, 2015. 121 p. (rus.)

11. Dobromyslov A.N. Ocenka nadezhnosti zdaniy i sooruzhenij po vneshnim priznakam: Spravochnoe posobie. M.: Izd-vo ASV, 2008. 72 p. (rus.)
12. Rajzer V.D. Teoriya nadezhnosti v stroitel'nom proektirovanii. M.: Izd-vo Assoc. stroit. vuzov, 1998. 230 p. (rus.)
13. Rajzer V.D. Teoriya nadezhnosti sooruzhenij. Rajzer V.D. Teoriya nadezhnosti v stroitel'nom proektirovanii. M.: Izd-vo ASV, 2010. 381 p. (rus.)
14. Russian State Standart GOST 27751-2014 Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij. Osnovnye polozeniya. (rus.)

*Shutova M.N., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.),
Platov South-Russian State Polytechnic University, Russia,
Evtushenko S.I. *, Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Moscow State (National Research) University of Civil Engineering, Russia*
*Corresponding author E-mail: evtushenkosi@mgsu.ru

CALCULATION OF RESIDUAL LIFE OF A BUILDING USING PROBABILISTIC METHODS AND GRAPH THEORY

Abstract: methods and approaches to determining the residual resource of construction objects are considered, methods are analyzed to select the optimal one. To calculate the residual life of structures of the industrial workshop in the city of Saratov, a complex method was applied based on probabilistic methods (for structures whose strength characteristics were determined by non-destructive testing) and using graph theory (for other structures, the technical condition of which was established by external signs) The established value of the residual resource (time before the onset of an inoperative state) before the reconstruction was 3.8 years, taking into account the operation of structures in the industrial enterprise mode. The residual resource of the building in the mode of the shopping center was 18.1 years, taking into account the reduction in operational loads (there are no crane loads, the roof structure was changed), this resource is insufficient for the object put into operation. In the process of reconstruction, communications, external and internal decoration, improvement of the adjacent territory were restored, truss structures were strengthened, the structures of the coating and external walls were partially replaced. The technical condition of the building was improved, which is reflected in the residual life - 64.7 years, which is more than the design life for buildings of this type. Therefore, a comprehensive calculation of the residual resource is an effective method for determining the scope and types of work on reconstruction and restoration of buildings.

Keywords: residual life, assessment of the technical condition of building structures, defects and damage to building structures

Для цитирования: Шутова М.Н., Евтушенко С.И. Расчет остаточного ресурса здания с использованием вероятностных методов и теории графов // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №5. С. 5 – 12. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-5-5-12

For citation: Shutova M.N., Evtushenko S.I. Calculation of the residual life of a building using probabilistic methods and graph theory. Construction Materials and Products. 2019. 2 (5). P. 5 – 12. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-5-5-12

*Поступила в редакцию 15 октября 2019 г.
Принята в доработанном виде 2 ноября 2019 г.
Одобрена для публикации 5 декабря 2019 г.*

*Received: October 15, 2019.
Revised: November 2, 2019.
Accepted: December 5, 2019.*