

УДК 81.93.21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Самигуллин Г.Х.¹, Султанов М.М.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Уфа

¹ e-mail: samgafur@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются принципы различных методик определения остаточного ресурса зданий и сооружений, получивших наибольшее распространение у экспертных организаций. При своем наборе преимуществ и недостатков ни одна из методик не учитывает отраслевой специфики предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Новая методика, предложенная авторами, позволяет оценить остаточный ресурс зданий и сооружений нефтеперерабатывающих предприятий по вероятностной модели на основе оценки степени поврежденности строительных конструкций, а также учесть необходимый уровень надежности при обследовании зданий и сооружений в составе технологических блоков.

Ключевые слова: производственное здание, безопасная эксплуатация, отраслевая специфика, остаточный ресурс, технологический блок, параметры технического состояния

Современные экономические условия, минувший финансовый кризис, обусловивший режим жесткой экономии в реальных отраслях промышленности России, вызвали старение основных производственных фондов, в том числе зданий и сооружений. Практическое отсутствие ввода новых мощностей делает невозможным плановую замену производственных зданий и сооружений, выработавших нормативные сроки службы, и приводит к их сверхнормативной эксплуатации. Использование таких объектов в соответствии с Федеральным Законом «О промышленной безопасности...» [1] должно осуществляться после проведения экспертизы промышленной безопасности.

В качестве основных требований, предъявляемых при экспертизе промышленной безопасности зданий и сооружений, является оценка срока безопасной эксплуатации в пределах остаточного ресурса несущих и ограждающих конструкций. При этом продление срока безопасной эксплуатации конструкций зданий и сооружений запрещает их дальнейшую эксплуатацию при достижении установленного срока эксплуатации, а при его отсутствии – по опыту эксплуатации аналогов или с учетом результатов анализа документации, условий эксплуатации и технического диагностирования (экспертного обследования) по согласованной с Ростехнадзором методике.

В настоящее время, с учетом специфики диагностируемых объектов, специализированными организациями используются различные методики (рис. 1).

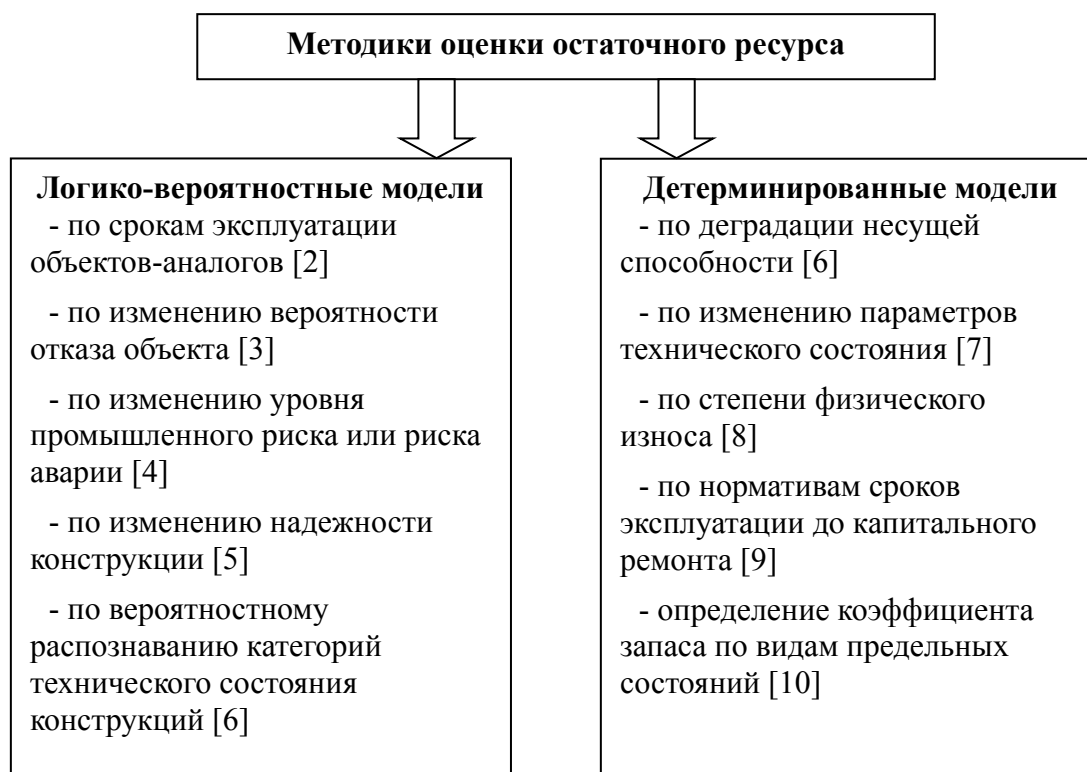


Рис. 1. Классификация методик определения остаточного ресурса

В качестве примера можно рассмотреть основные принципы, на которых основаны приведенные выше методики. В рекомендациях [5] модель деградации несущей способности и надежности представлена степенной функцией:

$$\theta(t) = \theta_0(1 - kt^n), \quad (1)$$

где $\theta(t)$, θ_0 – текущее в момент времени t и начальное значения запаса безопасности (разности прочности и нагрузки);

k – постоянный коэффициент;

n – характеристика моды деградационного процесса (при линейной деградации $n = 1$).

В некоторых случаях возможна оценка ресурса по функции изменения вероятности отказа (аварии) во времени (рис. 2) [4]. Риск аварии определяется по выражению:

$$R = \frac{P_f}{P_t} = \frac{P_t + \Delta P}{P_t}, \quad (2)$$

где P_f , P_t – значения фактического и теоретического рисков аварии;

ΔP – дополнительный риск, привнесенный ошибками проектирования, строительства и эксплуатации.

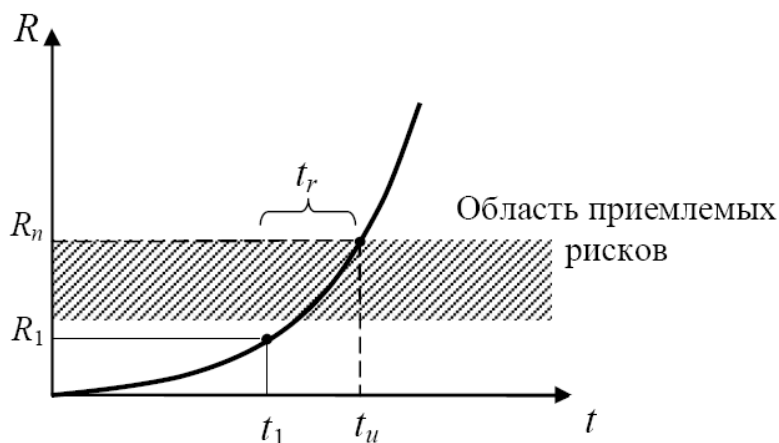


Рис. 2. Оценка остаточного ресурса по риску аварии

Принцип определения остаточного ресурса как надежности или безотказности используется в методике прогнозирования срока службы пролетных конструкций железобетонных мостов [11]. Значение вероятности безотказной работы, равное 0,9986 установлено как нормативное значение надежности. По истечении срока приработки конструкции t_0 из-за износа происходит снижение надежности (рис. 3). При значении вероятности $P = 0,5$ определяется предельный срок службы t_u .

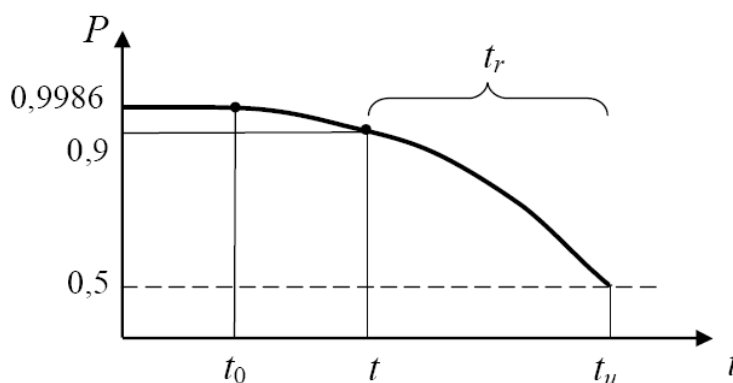


Рис. 3. Определение остаточного ресурса по изменению вероятности безотказной работы

В целях оперативной оценки остаточного ресурса конструкций используется методика, основанная на использовании теории нечетких множеств, значительно снижающая трудоемкость вычисления вероятности отказа конструкций [6]. Надежность представляется как функция распределения возможностей $\pi(t)$, а вероятность как возможность. Остаточный ресурс определяется с учетом интервального и предельного значения надежности строительных конструкций (рис. 4).

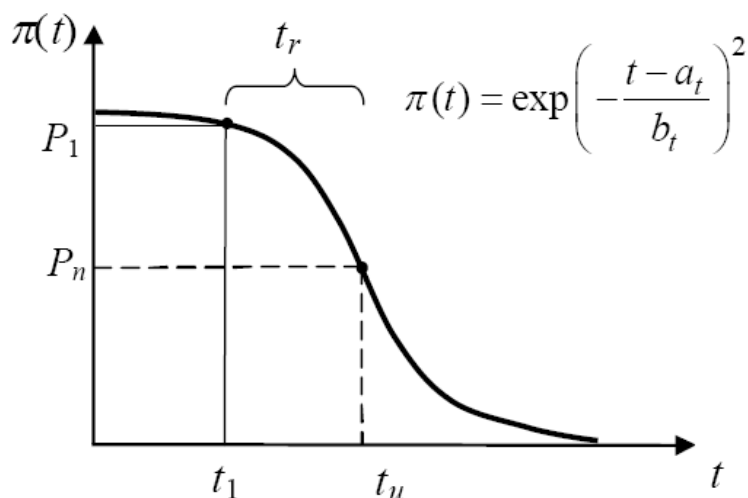


Рис. 4. Определение остаточного ресурса на основе теории нечетких множеств

Приведенные выше методики, наряду с многочисленными достоинствами (обоснованность, детальная проработка, длительное время практической апробации) имеют существенные недостатки, связанные, по-видимому, с устареванием использованных при их разработке методологических и нормативных предпосылок. Во-первых, отсутствие формальных критериев по дифференциации объектов, для которых определяется остаточный ресурс. Во-вторых, невозможность использования имеющихся методик для различных отраслей промышленности, говоря иначе – отсутствие в них отраслевой специфики.

В частности, для предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности особый интерес представляют методики, основанные на моделях деградации, старения или коррозионного износа материалов и конструкций в условиях агрессивного коррозионного и температурного воздействия [12].

В работе [13] приводится методика оценки остаточного ресурса зданий и сооружений нефтеперерабатывающих предприятий по вероятностной модели на основе оценки степени поврежденности строительных конструкций. При этом методе оценка степени опасности дефектов, выявленных при обследовании элементов здания, производится по трехуровневой системе с определением весовых коэффициентов (табл. 1). Критические дефекты (категории опасности «А» по существующей классификации) не рассматриваются, поскольку их наличие является недопустимым при эксплуатации зданий из-за угрозы непосредственного обрушения (аварии).

Таблица 1. Классификация дефектности элементов конструкций

Уровень дефектности	Характеристика дефектов	Весовой коэф.
I	Отсутствие механических повреждений, деформаций и перемещений, слабые проявления коррозионных воздействий, без снижения несущей способности материалов	0,1
II	Незначительные дефекты, которые не оказывают влияния на дальнейшую эксплуатацию конструкций, наличие механических и коррозионных повреждений, деформации и снижение прочностных показателей материалов в пределах, регламентированных нормативно-технической документацией	0,3
III	Опасные дефекты не приводящие к разрушению элементов, но ограничивающие дальнейшую эксплуатацию конструкций – значительные механические и коррозионные повреждения, сверхнормативные деформации и снижение прочностных показателей материалов, что требует проведения мониторинга динамики развития дефектов и/или выполнения корректирующих мероприятий (ремонт, снижение нагрузок, реконструкция и т.д.).	0,6

В общем случае степень дефектности однотипных элементов конструкций можно представить выражением вида:

$$S = f \left\{ M \left(\frac{m_i}{n} \right), K \left(\frac{m_i}{n} \right), D \left(\frac{m_i}{n} \right), R \left(\frac{m_i}{n} \right) \right\}, \quad (3)$$

где M – уровень механических повреждений;
 K – уровень коррозионных повреждений;
 D – уровень деформаций и перемещений;
 R – уровень снижения несущей способности материала;
 m – количество элементов, имеющих дефекты и повреждения i -го уровня;
 n – общее количество элементов.

Таким образом, параметрическая модель, основанная на данных, полученных в результате обследования, позволяет численно оценить степень опасности дефектов элементов несущих и ограждающих конструкций, определить уровень дефектности, как различных типов конструкций, так и итоговое значение поврежденности производственного здания в целом.

Численно выраженные значения поврежденности являются параметром, который при соответствующем анализе позволяет прогнозировать моменты наступления неработоспособного состояния, т.е. выступают параметрами технического состояния (ПТС).

Возможность прогнозирования величины остаточного ресурса обеспечивается при одновременном наличии следующих условий [14]:

- известны параметры, определяющие техническое состояние элементов несущих и ограждающих конструкций (ПТС);
- известны критерии предельного состояния элементов конструкций;
- имеется возможность периодического (или непрерывного) контроля значений ПТС.

Прогнозирование ресурса осуществляется по схеме (рис. 5). Через определенные периоды эксплуатации t_1, t_2, \dots и т.д. оценивают величины контролируемого параметра – степень поврежденности конструкций S_1, S_2, \dots и т.д. и экстраполируют зависимость до предельно допустимой величины повреждений $S_{пр}$. Исходя из разработанной системы оценки дефектности конструкций предельным случаем является значение $S_{пр} \approx 1$.

В предположении того, что показатели степени поврежденности монотонно изменяются во времени, а дисперсия показателей не изменяется, для прогнозирования остаточного ресурса используется метод, изложенный в ГОСТ 23942-80 [15], где условный средний остаточный ресурс определяют по формуле:

$$t_{ост}^{cp} = \int_0^{\infty} t_{ост} dQ[t_{ост}/Y(t_k)=Y_k], \quad (4)$$

где $Q[t_{ост}/Y(t_k)=Y_k]$ – условная вероятность отказа (условие состоит в том, что в момент t_k значение отклонения параметра составляет Y_k).

Необходимая точность оценки обеспечивается в том случае, если изменение параметра технического состояния к моменту контроля составляет не менее половины предельного отклонения параметра Y_n и при соблюдении условия $t_{ост} < 0,5 t_k$ – т.е. для зданий, эксплуатирующихся достаточно длительное время (свыше 30 лет).

Принимая линейный закон изменения параметров состояния, получаем:

$$Y(t) = C_1 + C_2 t, \quad (5)$$

где C_1, C_2 – неизвестные коэффициенты;

t – время эксплуатации;

$$t = t_i - t_0, t \geq 0,$$

$t_0 = 0$ – начальное значение времени эксплуатации.

Показатель поврежденности оценивают по измеренным значениям контролируемого параметра – дефектности:

$$Y_i = \max(F(t_i)), i = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

где t_i – значение i -го момента измерения: $t_0 \leq t_1 \leq \dots \leq t_N$.

При линейном законе изменения параметра прогнозирование проводится с использованием метода наименьших квадратов.

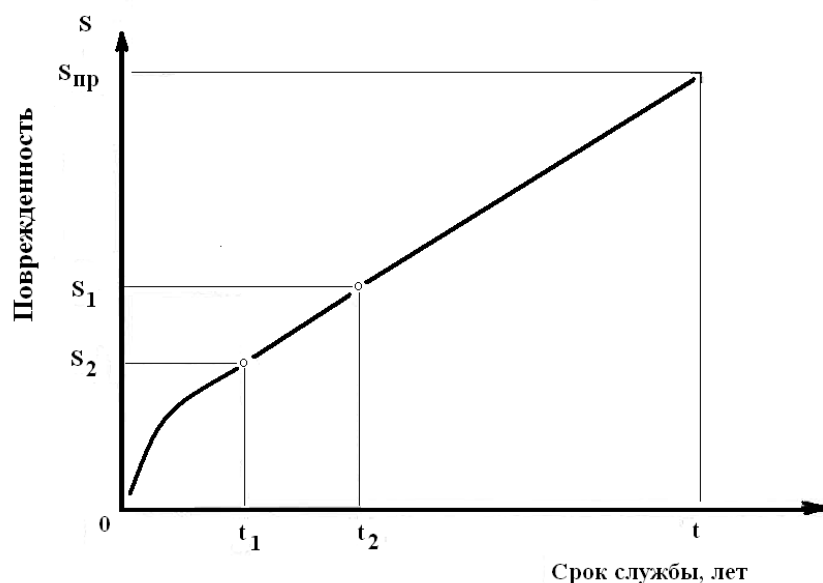


Рис. 5. Схема определения остаточного ресурса

Гарантированные оценки коэффициентов:

$$C_j = C_j + K \cdot \sigma_j \quad (j=1,2) \quad (7)$$

где K – коэффициент, определяемый с учетом доверительной вероятности γ .

Значение доверительной вероятности и коэффициента K устанавливается по табл. 2 в соответствии с ПБ 09-540-03 [16] для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

Таблица 2. Значения доверительной вероятности γ и коэффициента K

Здания и сооружения в составе технологического блока	Доверительная вероятность, γ	Коэффициент K
1 категории	0,99	2,326
2 категории	0,95	1,645
3 категории	0,90	1,282

Гарантированный остаточный ресурс определяется по выражению:

$$T_\gamma = (Y_n - C_1) / C_2 - t_k, \quad (8)$$

где t_k – время эксплуатации на момент последнего контроля.

Приведенная методика позволяет оценить остаточный ресурс зданий по критериям предельного состояния, в том числе, при различных законах изменения контролируемых параметров:

- квадратического $Y(t) = C_1 + C_2 t + C_3 t^2$;
- экспоненциального $Y(t) = \exp(C_1 + C_2 t)$.

Литература

1. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изм. от 27.07.2010 г.).
2. Порядок продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений (приказ №195 Минприроды РФ от 30.06.2009 г.).
3. Методика расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автодорожных мостов. – М.: Росавтодор, 2002. – 146 с.
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. Durability desing of concrete structures. Report of RILEM Technical Committee 130-csl. Edited by A. Sarja and E. Vesicary. E&SPON, 165pp.
6. Соколов В.А. Определение категорий технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений с использованием вероятностных методов распознавания // Предотвращение аварий зданий и сооружений: Электронный журнал. URL: <http://pamag.ru/prensa/oktssk-zis> (дата обращения 03.02.11).
7. Шматков С.Б. Определение остаточного ресурса промышленных дымовых труб// Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сб. науч. трудов. – М.: МДП, 2008. – С. 44-51.
8. ВСН 53-86(р) Правила оценки физического износа жилых зданий.
9. СА-03-006-06 Методические указания по проведению технического обслуживания, ремонта, обследования, анализа промышленной безопасности производственных зданий и сооружений предприятий, эксплуатирующих взрывопожароопасные и химически опасные объекты. – М., 2008. – 236 с.
10. 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.
11. Кузьминов А.Л., Уткин А.Л., Кожевников А.В., Канев А.В. Методика расчета остаточного ресурса металлоконструкций грузоподъемных кранов на основе теории возможностей // Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сб. науч. трудов. – М.: МДП, 2008. – С. 225-231.
12. Галеев Р.М. Основы методологии экспертизы промышленной безопасности зданий и сооружений, эксплуатируемых в коррозионно-опасных условиях) // Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сб. науч. трудов. Вып. 8. – М.: МДП, 2010. – С. 312-317.
13. Султанов М.М. Обеспечение безопасной эксплуатации производственных зданий предприятий нефтепереработки. – Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2010, 16 с.

14. РД 26.260.004-91 «Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации» Изд-во НИИХИММАШ, М. – 1992. – 50 с.

15. ГОСТ 23942-80 «Оценка показателей качества продукции по изменениям контролируемого параметра». М.: Изд-во стандартов, 1980 г.

16. ПБ-09-540-03 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

DETERMINATION RESIDUAL RESOURCE OF INDUSTRIAL BUILDINGS AND FACILITIES AT REFINERIES

G.Kh. Samigullin¹, M.M. Sultanov

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

¹ e-mail: samgafur@gmail.com

Abstract. *The article considers the principles of various methods for determining residual resource buildings and structures which are widely known in expert organizations. When its set of advantages and disadvantages of any one technique does not account for industry-specific enterprise refining and petrochemical industries. A new technique proposed by the authors to evaluate the residual life of buildings and construction of refineries on the probabilistic model an assessment of the degree of damage in building structures, as well as take into account the necessary level of reliability when examining buildings and structures composed of processing units.*

Keywords: *industrial building, safe operation, industry-specific, residual life, technology block, the technical condition parameters*

References

1. O promyshlennoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov (Federal law no. 116-FZ on industrial safety of hazardous industrial objects (with the Amendments and Additions of July 27, 2010)).
2. Poryadok prodleniya sroka bezopasnoi ekspluatatsii tekhnicheskikh ustroystv, oborudovaniya i sooruzhenii (The order renewal the safe operation of technical devices, equipment and facilities. Order no. 195 of Ministry of Natural Resources of the Russian Federation of 30.06.2009).
3. Metodika raschetnogo prognozirovaniya sroka sluzhby zhelezobetonnykh proletnykh stroenii avtodorozhnykh mostov (Methods of predicting the estimated service life of reinforced concrete road bridge superstructures). Moscow, Rosavtodor, 2002. 146 p.
4. Mel'chakov A.P., Cheboksarov D.V. Prognoz, otsenka i regulirovanie riska avarii zdaniy i sooruzhenii. Teoriya, metodologiya i inzhenernye prilozheniya (Prognosis, assessment and management accident risks of buildings and structures. Theory, methodology and engineering applications). Chelyabinsk, YuURGU Publishing House, 2009. 111 p.
5. Durability desing of concrete structures. Report of RILEM Technical Committee 130-csl. Edited by A. Sarja and E. Vesicary. E&SPON, 165 p.
6. Sokolov V.A. Opredelenie kategorii tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksii zdaniy i sooruzhenii s ispol'zovaniem veroyatnostnykh metodov raspoznavaniya (Determination of categories of technical condition the constructions of buildings and structures using probabilistic methods of recognition theory) in *Predotv-*

rashchenie avarii zdanii i sooruzhenii : Electronic scientific journal.
<http://pamag.ru/prensa/oktssk-zis> .

7. Shmatkov S.B. Opredelenie ostatochnogo resursa promyshlennykh dymovykh trub (Determining the residual life of industrial chimneys) in *Predotvrashchenie avarii zdanii i sooruzhenii: Sb. nauch. trudov. Vyp. 8. (Collection of scientific works "Prevention of Breakdowns of Buildings and Facilities")*. Moscow: MDP, 2008. pp. 44-51.

8. VSN 53-86(r). Pravila otsenki fizicheskogo iznosa zhilykh zdanii (Rules for assessing physical deterioration of residential buildings).

9. SA-03-006-06. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu tekhnicheskogo ob-sluzhivaniya, remonta, obsledovaniya, analiza promyshlennoi bezopasnosti proizvodstvennykh zdanii i sooruzhenii predpriyatii, ekspluatiruyushchikh vzryvopozharno opasnye i khimicheski opasnye ob"ekty (Methodological guidelines for the maintenance, repair, inspection, analysis, industrial safety industrial buildings and structures of companies operating explosive and chemically dangerous objects). Moscow, 2008. 236 p.

10. Sushchev S.P., Samolinov N.A., Adamenko I.A. Ostatochnyi resurs konstruktov (sooruzhenii) i vozmozhnye metody ego otsenki (Residual life of structures (buildings), and possible methods of its estimation) in *Predotvrashchenie avarii zdanii i sooruzhenii: Sb. nauch. trudov. Vyp. 8. (Collection of scientific works "Prevention of Breakdowns of Buildings and Facilities". Issue 8)*. Moscow: MDP, 2009. pp. 320-327.

11. Kuz'minov A.L., Utkin A.L., Kozhevnikov A.V., Kanev A.V. Metodika rascheta ostatochnogo resursa metallokonstruktov gruzopod"emnykh kranov na osnove teorii vozmozhnostei (Method of calculating the residual life of metal structures of cranes on the basis of the theory of possibilities) in *Predotvrashchenie avarii zdanii i sooruzhenii: Sb. nauch. trudov. Vyp. 8. (Collection of scientific works "Prevention of Breakdowns of Buildings and Facilities")*. Moscow: MDP, 2008. pp. 225-231.

12. Galeev R.M. Osnovy metodologii ekspertizy promyshlennoi bezopasnosti zdanii i sooruzhenii, ekspluatiruemyykh v korrozionno-opasnykh usloviyakh (Methodological Principles of expert examination of industrial safety of buildings and structures operating in corrosive hazardous conditions) in *Predotvrashchenie avarii zdanii i sooruzhenii: Sb. nauch. trudov. Vyp. 8. (Collection of scientific works "Prevention of Breakdowns of Buildings and Facilities". Issue 8)*. Moscow: MDP, 2010. pp. 312-317.

13. Sultanov M.M. Obespechenie bezopasnoy jekspluatacii proizvodstvennykh zdaniy predpriyatij neftepererabotki (Providing safe operation of industrial buildings oil refineries). Ufa: "Oil and gas business" Publishing House, 2010. 16 p.

14. RD 26.260.004-91. Prognozirovaniye ostatochnogo resursa oborudovaniya po izmeneniyu parametrov ego tekhnicheskogo sostoyaniya pri ekspluatatsii (Predicting the residual life of the equipment by technical condition parameters changes). Moscow, NIIKhIMMASH, 1992. 50 p.

15. GOST 23942-80. Otsenka pokazatelei kachestva produktsii po izmeneniyam kontroliruemogo parametra (Evaluation of indices for production quality based on changes in control parameters). Moscow, 1980.

16. RV-09-540-03. Obshchie pravila vzryvobezопасnosti dlya vzryvopozharоопасnykh khimicheskikh, neftekhimicheskikh i neftepererabatyvayushchikh proizvodstv (General codes on explosion protection for explosive and fire hazardous chemical, petrochemical plants and oil-refineries).