

Идентификация рисков при ситуационном анализе долговечности

М.А. Елисеева

аспирант кафедры Технической экспертизы и управления качеством Севастопольского государственного университета;
г. Севастополь

e-mail: marysia_a_a@mail.ru

К.Н. Маловик

д.т.н., профессор, президент Севастопольского отделения Академии проблем качества;
г. Севастополь

С.К. Маловик

старший инженер отдела сервисного обслуживания и авторского надзора АО «Специальное конструкторско-технологическое бюро по электрохимии с опытным заводом»; Москва

А.Н. Мирошниченко

инженер по метрологии 1 категории АО «ГППП «Гранит»; г. Севастополь

Аннотация. В статье предложено решение актуальной задачи идентификации риска для обеспечения безопасной эксплуатации оборудования опасных производственных объектов при мониторинге предотказных и предельных состояний, а также остаточной дефектности. Показана возможность количественной оценки степени риска как вероятности прогноза характера интенсивности деградации в различных ситуациях эксплуатации опасных производственных объектов.

Ключевые слова: опасные производственные объекты, ресурс, надёжность, долговечность, остаточная дефектность, предотказное и предельное состояние, интенсивность деградации, ситуационный анализ, степень риска.

Проблемные вопросы социально-экономического развития регионов России, обеспечения экологической безопасности, оценивания и прогнозирования технического состояния оборудования и объектов речной и морской инфраструктуры, включая транспортные комплексы, а также других опасных производственных объектов (ОПО), определяют [1–5]:

- выполнение экспертного оценивания ресурсных характеристик;

- осуществление прогнозирования остаточной дефектности, предотказных и предельных состояний;
- формирование технических заключений по обеспечению их долговечной и безопасной эксплуатации.

Опыт безопасной эксплуатации оборудования ОПО показывает [2, 4], что, поскольку назначенные показатели долговечности весьма занижены, то предопределяется преждевременное прекращение применения ОПО по назначению или необходимость выполнения сложного комплекса научно-технических работ по переназначению их показателей долговечности и, как следствие, неэффективное использование средств, затраченных на их разработку, производство и эксплуатацию. В связи с этим возникают задачи оценивания и прогнозирования показателей долговечности ОПО либо по результатам испытаний, либо по данным их лидерной эксплуатации, под которой принято понимать штатную эксплуатацию заданного числа ОПО, выделенных для более интенсивного расходования ресурса, в целях получения определяющей информации о влиянии наработки на их техническое состояние и определение возможности установления новых значений показателей долговечности ОПО [2]. При этом долговечность определяется как свойство сохранять работоспособность при выбранной системе технического обслуживания и ремонта с учетом установленных нормативно-технической документацией видов предельных состояний [3].

Практическая необходимость обеспечения безопасной долговечности ОПО предопределяется многими причинами [6], что требует достоверного предвидения, прогнозирования нежелательных ситуаций, которые могут привести к отказам ОПО. Под ситуацией принято понимать совокупность обстоятельств, определяющих внутреннее состояние объекта, и обстоятельств, определяющих состояние окружающей среды по отношению к данному ОПО [7]. При исследовании долговечности ОПО в заданных условиях окружающей среды наибольший интерес представляет оценивание и прогнозирование остаточной дефектности, предотказных и предельных состояний [4, 5], а задачей ситуационного анализа следует считать выявление параметров и существенных факторов, определяющих ситуацию, взаимосвязи между факторами



и степень их взаимовлияния [7]. При этом ситуационный анализ включает [7]: анализ проблемных ситуаций, выявление путей разрешения проблемных ситуаций, определение критериев оценки альтернатив, анализ альтернатив, выбор и реализацию наилучшей альтернативы [7]. Возможность появления таких ситуаций обусловлена случайными и хаотичными процессами, характеризующимися как риски, идентификация которых позволяет определить их соответствие заданным вероятностям, уровню и источнику опасности, а также их последствиям [8]. Такая идентификация может позволить оценить степень риска, применение которой рекомендуется международными стандартами в области менеджмента риска, а также способствует усовершенствованию применения параметров для повышения точности и достоверности риска [9].

Целью настоящей работы является дальнейшее развитие менеджмента риска на базе системной концепции обеспечения ресурса, надежности и безопасности оборудования ОПО и ситуационного анализа при оценивании и прогнозировании их долговечности.

При исследовании проблемных вопросов долговечности оборудования ОПО целесообразно применять термины и определения, характеризующие ресурсоспособность оборудования ОПО, рассмотренные в работах [2, 4, 5]. В общем случае мно-

жество технических состояний контролируемого оборудования ОПО можно сгруппировать следующим образом: предельное состояние, предотказное состояние и остаточная дефектность.

Предельное состояние – состояние, определяемое стандартом [3], характерным параметром которого можно считать время предельного состояния t_{Π} (или время жизни). Знание этого параметра позволяет оценить и прогнозировать остаточный ресурс как одну из определяющих ресурсных характеристик исследуемого оборудования ОПО.

Рассматривая различные подходы к оценке времени предельного состояния [5, 6], можно показать, что, используя эксплуатационную информацию о надежности оборудования ОПО на стадии технического устаревания или старения материалов, исследуемый процесс изменения интенсивности отказов $\lambda(t)$ является стабильным и монотонно возрастающим. Поскольку такой процесс является типичным для большинства оборудования ОПО, состав аппроксимирующих функций для определения вида тренда $\lambda(t)$ можно ограничить совокупностью двухпараметрических семейств, которая приведена в табл. 1.

Предотказное состояние – состояние, которое можно характеризовать зоной «физического старения», в которой наблюдается рост интен-

Таблица 1.

Аналитическая оценка времени предельного состояния t_{Π}

Аппроксимирующая функция $\lambda(t)$	Время предельного состояния t_{Π}	a	b
$a+bt$	$\frac{t_y - t_H}{\lambda_y - \lambda_H} \cdot \left(\lambda_{\Pi} - \lambda_H + \frac{\lambda_y - \lambda_H}{t_y - t_H} \cdot t_H \right)$	$\lambda_H \cdot \frac{\lambda_y - \lambda_H}{t_y - t_H} \cdot t_H$	$\frac{\lambda_y - \lambda_H}{t_y - t_H}$
at^b	$\frac{\ln t_y - \ln t_H}{\ln \lambda_y - \ln \lambda_H} \cdot \left(\ln \frac{\lambda_{\Pi}}{\lambda_H} + \frac{\ln \lambda_y - \ln \lambda_H}{\ln t_y - \ln t_H} \cdot \ln t_H \right)$	$\ln \lambda_H + \frac{\ln \lambda_y - \ln \lambda_H}{\ln t_y - \ln t_H} \cdot \ln \lambda_H$	$\frac{\ln \lambda_y - \ln \lambda_H}{\ln t_y - \ln t_H}$
ae^{bt}	$\frac{1}{b} \ln \frac{\lambda_{\Pi}}{a}$	$\lambda_H \left(\frac{t_H}{t_y} \right)^{\frac{t_H}{t_y - t_H}}$	$\frac{\ln \lambda_H - \lambda_y}{t_H - t_y}$
$e^{at} t^b$	$t_{\Pi} - \frac{\ln \lambda_{\Pi}}{a} - \frac{b}{a} \ln t_{\text{итт}} - 1$, где $t_{\text{итт}}$ – время окончания итерационного процесса при решении трансцендентного уравнения методом последовательных приближений, обеспечивающего требуемую точность $ t_{\text{итт}} - t_{\text{итт}-1} < \varepsilon$	$\frac{t_y \ln \lambda_H - t_H \ln \lambda_y}{t_y \ln t_H - t_H \ln t_y}$	$\frac{t_y \ln \lambda_H - t_H \ln \lambda_y}{t_y \ln t_H - t_H \ln t_y}$

где для исследуемого оборудования ОПО обозначено [5]:

t_{Π} – назначенный ресурс; t_y – γ -процентный ресурс; λ_H – значение интенсивности отказов, соответствующее начальному уровню надежности; λ_y – значение интенсивности отказов при заданном t_y ; λ_{Π} – предельный уровень интенсивности отказов.

сивности отказов, а также накопление ненадежности в связи с деградацией различных элементов оборудования ОПО [5]. При мониторинге предотказного состояния можно оценить скорость изменения интенсивности отказов, учитывая пессимистический и оптимистический прогноз, определить характер процесса старения (деградации) и коренные причины отказов. Кроме того, при исследовании предотказных состояний интенсивность отказов целесообразно рассматривать с учетом системной концепции обеспечения ресурса оборудования ОПО, при которой надежность оборудования ОПО рекомендуется оценивать с помощью уровней первого, второго, третьего и четвертого рода [4]. Тогда, предусматривая возможность экстенсивного и интенсивного развития деградационных процессов, можно выделить ранние и поздние этапы их развития, что дает возможность определять ресурсные резервы, оценивая вероятности недопустимых изменений интенсивности отказов $\lambda(t)$ как степень риска в условиях мониторинга предотказных состояний оборудования ОПО [11]. Таким образом, оценивание известных параметров риска – чувствительность, показатель неопределенности и остаточный риск [9] – целесообразно дополнить определением степени риска с помощью предлагаемого подхода. Рекомендованная международными стандартами в области менеджмента риска параметризация риска практически не содержит указаний по выбору и применению методик при их контроле.

Остаточная дефектность – состояние, которое после изготовления, испытаний и восстановления оборудования ОПО характеризуется не выявленными отказами, заложенными при его создании [10]. Следует отметить, что вопросы исследования остаточной дефектности после проведения неразрушающего контроля слабо освещены в отечественной и зарубежной литературе. Поэтому необходимы теоретические и экспериментальные исследования по определению коренных причин отказов оборудования ОПО, обусловленных наследственностью, накоплением ненадежности, деградацией и имеющих скрытый (латентный) характер.

Известно [2, 4–6, 8], что в основе современных методов обеспечения безопасной и долгосрочной эксплуатации оборудования ОПО, множество технических состояний которых рассмотрено выше, лежит вероятностный подход, применяемый в условиях определения статической устойчивости процессов, когда имеется некоторая закономерность частоты отказов как индикаторов возможной нештатной ситуации (аварии). Учитывая, что

при безопасной эксплуатации ОПО должна обеспечиваться идентификация риска [1], рассмотрим динамику изменений $\lambda(t)$ при различных ситуациях проведения мониторинга технического состояния эксплуатируемого оборудования ОПО. Тогда, используя известные вероятностные ресурсные характеристики и показатели надежности [2–4] и задавая область мониторинга предельных и предотказных состояний с помощью верхнего и нижнего значений интенсивности отказов, λ_M^b и λ_M^h соответственно, можно представить геометрическую интерпретацию изменения $\lambda(t)$ при ситуационном анализе динамики ресурсоспособности исследуемого оборудования ОПО, показанную на рис. 1, где обозначено (учитывая обозначения, принятые в табл. 1): t_{np} – время «приработки», $t_I - t_{IV}$ – время предельного состояния для каждого соответствующего уровня надежности $I - IV$; $t_1 - t_8$ – выбранные фиксированные моменты времени при контроле предотказных и предельных состояний; $\lambda_I(t) - \lambda_{IV}(t)$ – выбранные (или заданные) аппроксимирующие функции при ресурсах $t_I - t_{IV}$ соответственно; $\varphi_I - \varphi_{IV}$ – плотности распределения, характеризующие техническое состояние в моменты времени $t_1 - t_8$; $P_I - P_{IV}$ – вероятности прогноза интенсивного или экстенсивного деградационного процесса в условиях предотказного состояния в моменты времени $t_1 - t_8$; знак «-» означает, что предотказное состояние находится в области мониторинга; знак «+» – предотказное состояние приближается к предельному.

Рассматривая предложенную на рис. 1 геометрическую интерпретацию, следует отметить, что исследуемые изменения $\lambda(t)$ предотказных и предельных состояний определяются следующими воздействующими факторами:

- допустимой областью мониторинга предотказных и предельных состояний, ограниченной допустимыми значениями и λ_M^b и λ_M^h ;
- трендами аппроксимирующих функций, выбранных с учетом уровней надежности $I - IV$;

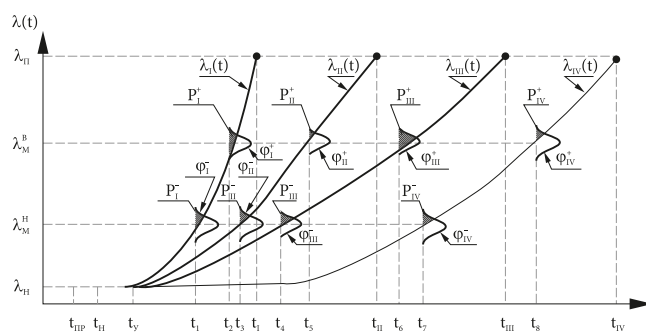


Рис. 1. Геометрическая интерпретация изменений $\lambda(t)$ при ситуационном анализе динамики ресурсоспособности ОПО



- моментами времени контроля предотказных и предельных состояний $t_1 - t_8$ при мониторинге эксплуатируемого оборудования ОПО;
- коренными причинами отказов, определяющих плотности распределения $\varphi_I - \varphi_{IV}$, характеризующие техническое состояние в моменты времени $t_1 - t_8$.

Тогда идентифицировать риски при ситуационном анализе трендов деградационных процессов предотказных состояний оборудования ОПО можно с помощью вероятностей прогноза $P_I - P_{IV}$, которые характеризуют степень риска. Определить степень риска при исследовании остаточной дефектности можно с помощью прогнозирования области наследственных (латентных) отказов, что показано в работе [10].

Для аналитического решения задачи оценивания степени риска в общем виде можно на основании геометрической интерпретации, показанной на рис. 1, иллюстрировать процесс образования вероятности прогноза деградации в условиях предотказного и предельного состояний, а также остаточной дефектности, представленной на рис. 2, где обозначено:

$\varphi_i(\lambda)$ – плотность распределения интенсивности отказов (коренные причины которых установлены) для конкретной исследуемой i -ой ситуации при контроле предотказного и предельного состояния, а также остаточной дефектности эксплуатируемого оборудования ОПО;

$\lambda_i(t)$ – аппроксимирующая функция, выбранная для исследования конкретной i -ой ситуации, с учетом данных табл. 1;

Π – точка (с координатами λ_{Π} ; φ_{Π}) пересечения $\lambda_i(t)$ и $\varphi_i(\lambda)$;

Π_a – точка (с координатами λ_a ; 0) пересечения $\lambda_i(t)$ и осью;

Π_0 – точка (с координатами 0; φ_0) пересечения $\lambda_i(t)$ и оси;

M_i и σ_i – математическое ожидание и дисперсия плотности распределения $\varphi_i(\lambda)$.

Иллюстрация, представленная на рис. 2, показывает, что исследуемая степень риска определяется суммой площадей S_1 и S_2 .

Известно [12], что площадь $S_1 = \Phi \frac{(m_i - \lambda_n)}{\sigma_i}$ вычисляется с помощью квантовых оценок, широко используемых в метрологической практике, а площадь S_2 определяется выражением

$$S_2 = \frac{a\lambda^3}{3} + \frac{b\lambda^2}{2} + c\lambda, \quad [13]$$

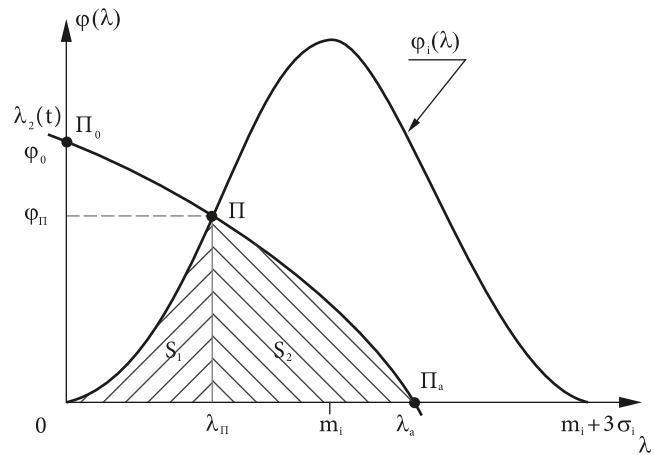


Рис. 2. Иллюстрация оценивания степени риска

где

$$a = \frac{\varphi_0(\lambda_a - \lambda_{\Pi}) - \varphi_{\Pi} \cdot \lambda_a}{\lambda_a \cdot \lambda_{\Pi}(\lambda_{\Pi} - \lambda_a)}, \quad b = -a\lambda_a - \frac{\varphi_0}{\lambda_a}, \quad c = \varphi_0.$$

Таким образом, предложенный подход позволяет идентифицировать риски, характеризующие вероятность прогноза интенсивности деградации при мониторинге предотказных и предельных состояний, а также вероятность остаточной дефектности в различных ситуациях эксплуатируемого оборудования ОПО.

В результате проведенных исследований:

- предложен подход ситуационного анализа риска отказов оборудования ОПО в условиях предотказного и предельного состояний, а также остаточной дефектности с учетом воздействия определяющих влияющих факторов;
- показаны аналитические выражения для оценивания вероятностей, характеризующих степень риска отказов при обосновании предложений, способствующих повышению качества эксплуатации оборудования ОПО.

Литература

1. Федеральный закон РФ №116-ФЗ от 21.07.1-997 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
2. Надежность и эффективность в технике: Справочник: в 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдудевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. Т. 6: Экспериментальная отработка и испытания. Под ред. Р.С. Судакова и О.И. Тескина.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения, 1989.
4. Аркадов Г.В., Гетман А.Ф., Маловик К.Н., Смирнов С.Б. Ресурс и надежность оборудования и трубопроводов АЭС: учеб. пособие. – Севастополь: СНУЭИП, 2012.

5. Маловик К.Н. Развитие научных основ повышения качества оценивания и прогнозирования ресурсных характеристик сложных объектов: Монография / К.Н. Маловик. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2013.

6. Згуровский Н.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения. – Киев. : Наукова думка, 2011.

7. Массель Л.В., Массель А.Г. Ситуационное управление и систематическое моделирование в энергетике. Материалы IV Международной научно-технической конференции. – Минск. – 2014. – С. 111–114.

8. Анализ и повышение безопасности водородных энергетических реакторов / Н.А. Махутов, К.В. Фролов, Ю.Т. Драгунов и др; под ред. Н.А. Махутова и М.М. Гаденина; Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М.: Наука, 2009.

9. Елисеева М.А., Маловик К.Н. Совершенствование оценивания риска // Качество и жизнь. – 2016. – № 1. – С. 74–76.

10. Елисеева М.А., Маловик К.Н., Мирошниченко А.Н. Менеджмент ресурсоспособности оборудования горного производства // Научно-технический журнал ГИАБ, 2015, № 8. – С. 315–322.

11. Маловик К.Н., Федосов А.Л. Менеджмент риска при эксплуатации опасных производственных объектов // Научно-технический журнал ГИАБ 2016». № 8. – 2016. – С. 69–77.

12. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: учеб. пособ. для вузов. – М.: Логос, 2001.

13. Рывкин А.А. Справочник по математике [Текст] / А.А. Рывкин, А.З. Рывкин, Л.С. Хренов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987.

Identification of Risks in Situational Analysis of Longevity

M.A. Eliseeva, graduate student of department of Technical expertise and quality management of the Sevastopol state university; Sevastopol

e-mail: marysia_a_a@mail.ru

K.N. Malovik, doctor of technical sciences, professor, President of the Sevastopol branch of the Academy of quality problems; Sevastopol

S.K. Malovik, senior engineer of department of service and architectural supervision of JSC Special designing and technological bureau in electrochemistry with experimental plant, Moscow

A.N. Miroshnichenko, Engineer on metrology of 1 category of JSC Head Technological Enterprise Granit, Sevastopol

Summary. In article the solution of an actual task for identification of risk for ensuring safe operation of the equipment of hazardous production facilities during the monitoring of prenegative and limit states and also residual deficiency is proposed. The possibility of quantitative assessment of degree of risk as probabilities of the forecast of nature of intensity of degradation in various situations of operation of hazardous production facilities is shown.

Keywords: hazardous production facilities, resource, reliability, durability, residual deficiency, prenegative and limit state, intensity of degradation, situation analysis, risk degree.

References:

1. The federal law of the Russian Federation No. 116-FZ from 7/21/1997 «About industrial safety of hazardous production facilities»

2. Avdyevsky V.S., Sudakova R.S., Teskina O.I. Reliability and efficiency in the equipment. Experimental working off and tests. *Mechanical engineering*. Moscow, 1986, Volume 6.

3. State Standard 27.002-89 Reliability in the equipment. Basic concepts. Terms and definitions. 1989.

4. Arkadov G.V., Hetman A.F., Malovik K.N., Smirnov S.B. Resource and reliability of the equipment and pipelines of Nuclear power plant: manual. *Sevastopol national university of nuclear energy and industry*. Sevastopol, 2012.

5. Malovik K.N. Development of scientific bases of improvement of quality of estimation and forecasting of resource characteristics of difficult objects: Monograph. *Sevastopol national university of nuclear energy and industry*. Sevastopol, 2013.

6. Zgurovsky N.Z., Pankratova N.D. System analysis. Application methodology problems. *Naukova thought*. Kiev, 2011.

7. Massel L.V., Massel A.G. Situational management and systematic modeling in power. *Materials of the IV International scientific and technical conference*. Minsk, 2014. pp. 111–114.

8. Makhutov N.A., Frolov K.V., Dragunov Yu. T., Gadenina M.M. Analysis and increase in safety of water-to-water power reactors. *Institute of engineering science of A.A. Blagonravov of the Russian academy of Sciences*. Science, Moscow, 2009.

9. Eliseeva M.A., Malovik K.N. Improvement of estimation of risk. *Quality and life*. 2016. No. 1. pp. 74–76

10. Eliseeva M.A., Malovik K.N., Miroshnichenko A.H. Management of a resource-ability of the equipment of mining. *Scientific and technical magazine of the Mountain information and analytical bulletin*. 2015, No. 8. pp. 315–322.

11. Malovik K.N., Fedosov A.L. Management of risk at operation of hazardous production facilities. *Scientific and technical magazine of the Mountain information and analytical bulletin*. 2016. No. 8. pp. 69–77.

12. Sergeev A.G., Krokhin V.V. Metrology. Manual for higher education institutions. *Lagos*. Moscow, 2001.

13. Ryvkin A.A., Ryvkin A.Z., Hrenov L. S. Reference book on mathematics. The higher school. Moscow, 1987.