

АНАЛИЗ РИСКОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РАБОЧЕЙ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассматривается методика анализа рисков технологического оборудования для опасных производственных объектов, предназначенная для обоснования и документирования требований обеспечения надежности и безопасности на стадиях жизненного цикла изделия при разработке рабочей конструкторской документации. *Материалы и методы.* Методика основана на системном и процессном подходе к анализу рисков и реализуется с помощью экспертных технологий анализа и специально разработанной системы информационной поддержки. *Результаты.* Методика анализа рисков стадий жизненного цикла изделия разработана в виде документа системы менеджмента качества ОАО НПП «Химмаш-Старт» и применяется разработчиками как инструмент обоснования надежности и безопасности вновь разрабатываемых сосудов и аппаратов. Результаты обоснования документируются в виде требований рабочей конструкторской документации, а также в виде нового документа «Обоснование безопасности». Приводится информация об опыте внедрения методики на предприятии ОАО НПП «Химмаш-Старт» с помощью специализированной автоматизированной системы информационной поддержки. *Выводы.* Применение разработанной методики анализа рисков на отечественных предприятиях машиностроения позволит решить проблему реализации требований Технического регламента таможенного союза «О безопасности машин и оборудования» в части обоснования надежности и безопасности вновь разрабатываемых машин и оборудования.

Ключевые слова: рабочая конструкторская документация, обоснование безопасности, стадии жизненного цикла изделия, требования надежности и безопасности, опасность, риск.

I. G. Epishin, A. Yu. Repin, L. R. Fionova

PRODUCTIVE LIFE RISK ANALYSIS PROCEDURE ON ENGINEERING DEVELOPMENT OF PROCESS EQUIPMENT FOR MANUFACTURING ENTITIES WITH OPERATIONAL HAZARD SOURCES

Abstract. *Background.* Procedure of risk analysis of process equipment with operational hazard sources intended for safety specification validating and documentation procedure on engineering development is under consideration. *Materials and methods.* The methodology is based on the system concept and operational risk analysis. It is implemented by specially developed information support system and expertise method. *Results.* The procedure of risk analysis is realized as a document of quality management system in JSC "Chemmach-Start". It is used by engineers for substantiation of developed process vessel safety and reliability. Substantiation results are implemented into "Safety case" document and as technical requirements section in engineering documentation. The procedure is used by specialized information support system. *Conclusions.* Developed methodology of risk analysis is useful for fulfill-

ment of requirements of the Customs Union "On the safety of machinery and equipment" regulations by Russian machine building enterprises.

Key words: design drawings and documentation, safety justification, productive life phase, safety specification, hazard, risk.

Введение

За последние 15–20 лет в РФ создана новая нормативная база в области обеспечения надежности и безопасности машин и оборудования, полностью гармонизированная с требованиями международных стандартов. основополагающим документом, устанавливающим общие требования к разработке машин и оборудования (далее изделие), является Технический регламент таможенного союза (ТР ТС) «О безопасности машин и оборудования» [1], разработанный на основе результатов анализа законов, нормативных актов, действующих в промышленно развитых странах и регулирующих сферу безопасности машин и оборудования, технических устройств и изделий (Германия – «Закон о безопасности технических устройств и изделий»; Великобритания – «О безопасности поставок машиностроительной продукции»).

Действие ТР ТС распространяется на изделия, применяемые на опасных производственных объектах (ОПО), а также на процессы их эксплуатации и утилизации в части, не противоречащей требованиям по обеспечению промышленной безопасности, регулируемой национальными законодательствами Сторон. Особенностью ТР ТС является требование подготовки документа «Обоснование безопасности» (ОБ) [2], который разрабатывается при проектировании изделий. ОБ должно содержать анализ рисков, а также сведения из конструкторской, эксплуатационной, технологической документации о минимально необходимых мерах по обеспечению безопасности. ОБ сопровождает изделие на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ) и дополняется результатами экспериментального оценивания рисков, осуществляемого на стадии эксплуатации изделия. Согласно ТР ТС для стадий ЖЦ изделия, следующих за проектированием, должны быть определены требования по обеспечению необходимого уровня безопасности изделия с учетом особенностей условий стадий. То есть требования к стадиям должны быть заданы таким образом, чтобы они могли быть реализованы безопасно и не снижали допустимый риск всего ЖЦ изделия.

1. Особенности анализа рисков стадий жизненного цикла изделия

Как объект анализа ЖЦ изделия характеризуется рядом особых положений, которые необходимо учитывать при решении задач эффективного обеспечения надежности и безопасности изделия, а именно:

– элементный состав предметной области ЖЦ, структурные и функциональные связи элементов характеризуются существенной неоднородностью, большой размерностью и изменчивостью;

– несоответствия, ошибки, дефекты, отказы, возникающие на стадиях ЖЦ, могут приводить к последствиям различной степени тяжести; те ошибки, несоответствия, дефекты, отказы, которые могут стать причинами критических последствий, рассматриваются как опасности;

– надежность и безопасность изделия могут существенно зависеть от вариантов реализации технического и организационного видов обеспечения, которые имеют существенные отличия по показателям результативности и показателям временных и экономических затрат;

– цели и задачи отдельных стадий ЖЦ изделия могут существенно отличаться и, следовательно, должны быть гармонизированы и подчинены общей цели – допустимому риску ЖЦ изделия.

Необходимо отметить актуальность проблемы обоснования допустимого риска ЖЦ изделия. В ГОСТ Р 53195.1 [3] предлагаются следующие подходы к установлению критерия допустимого риска на основе:

– *предыдущих данных*;

– *установленного базового значения*;

– *принципа разумной достаточности ALARP (As Low As Reasonably Practicable)* [4], согласно которому любой риск должен быть снижен настолько, насколько это реально возможно и целесообразно.

В качестве допустимого риска ЖЦ изделия принимается комплексный риск, рассматриваемый как вектор допустимых рисков отдельных стадий ЖЦ изделия, отвечающих следующим условиям:

– допустимые риски стадий ЖЦ должны быть достижимы в условиях ограниченных ресурсов организаций, осуществляющих соответствующие стадии ЖЦ изделия;

– достижимость допустимых рисков должна быть обоснована оценками предельно возможных для машиностроительного предприятия рисков, т.е. допустимый риск не может быть меньше предельного риска;

– допустимые риски стадий ЖЦ должны быть согласованы со всеми заинтересованными сторонами, включая органы власти, осуществляющие техническое регулирование в области безопасности, и лица, попадающие в зону действия данных стадий [5].

При этом необходимо определить критерии рисков стадий ЖЦ в связи с наиболее критичными событиями (инцидентами). Такой подход направлен на повышение роли каждой стадии ЖЦ в достижении конечной цели – максимально возможного предупреждения критических событий.

Указанные особенности подтверждают, что определение допустимого риска ЖЦ изделия является во многом еще нерешенной научной, методической и технологической проблемой, требующей специального исследования. Однако задача оценивания достижимых (предельных) для машиностроительного предприятия, а также для ОПО рисков стадий ЖЦ изделия должна решаться. Примерные цели, задачи и критерии предельных рисков стадий ЖЦ изделия приведены в табл. 1.

В настоящей работе предлагаются методика анализа рисков ЖЦ изделия, предназначенного, во-первых, для обеспечения полноты, адекватности и эффективности разрабатываемой рабочей конструкторской документации (РКД) на изделие в части требований по обеспечению надежности и безопасности, и, во-вторых, для обоснования соответствия безопасности стадий ЖЦ изделия требованиям допустимого риска.

Отметим, что обеспечение безопасности стадии утилизации изделия, как правило, выделяется как отдельная задача и в настоящей работе не рассматривается.

Таблица 1

Примеры целей и задач стадий ЖЦ изделия,
направленных на обеспечение допустимого риска

| Стадия ЖЦ изделия | Цели и задачи | Критерий предельного риска |
|-------------------------------------|---|---|
| 1. Проектирование и разработка РКД | Разработка РКД, отвечающая требованиям системности, полноты, адекватности и эффективности в части документационного обеспечения надежности и безопасности изделия на стадиях ЖЦ изделия | Максимально возможный уровень надежности и безопасности конструкции изделия, обеспеченный применением современных информационных технологий |
| 2. Изготовление | Подготовка производства и изготовление изделия, отвечающие требованиям минимальной критичности процессов | Минимально возможный уровень критических дефектов изготовленного изделия |
| 3. Технический контроль и испытания | Проведение технического контроля и испытаний, отвечающих требованиям достоверности и полноты | Минимально возможные уровни рисков 2-го рода по выявлению критических дефектов изделия |
| 4. Поставка и хранение | Поставка и хранение изделия на ОПО в условиях, гарантирующих сохранение свойств изделия | Отсутствие критических повреждений и расхода ресурса изделия |
| 5. Монтаж | Подготовка монтажных работ и монтажа изделия на ОПО, отвечающие требованиям минимальной критичности процессов | Минимально возможный уровень критических дефектов монтажа изделия |
| 6. Ввод в эксплуатацию | Ввод изделия в эксплуатацию на ОПО при полном соответствии заданным тактико-техническим характеристикам (ТТХ) и требованиям безопасности в условиях ограниченных ресурсов ОПО | Минимально возможные уровни рисков 2-го рода по выявлению критических несоответствий реализации ТТХ и требований безопасности |
| 7. Эксплуатация | Осуществление эксплуатации изделия на ОПО (в течение назначенного срока службы) в полном соответствии заданным ТТХ, требованиям безопасности в условиях ограниченных ресурсов ОПО | Минимально возможные риски нанесения вреда здоровью персонала и ущерба окружающей среде. Выполнение производственной программы |
| 8. Утилизация | Подготовка изделия к утилизации и утилизация изделия, отвечающие требованиям безопасности в условиях ограниченных ресурсов ОПО | Минимально возможные риски нанесения вреда здоровью людей и ущерба окружающей среде |

2. Концепция анализа рисков ЖЦ изделия

2.1. Структурная схема образования рисков на стадиях ЖЦ изделия

Структурная схема образования рисков на стадиях ЖЦ изделия приведена на рис. 1.

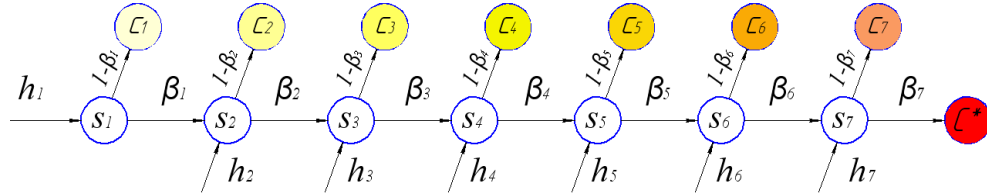


Рис. 1. Обобщенная структурная схема образования рисков на стадиях ЖЦ изделия:
 1) проектирование и разработка РКД; 2) изготовление; 3) технический контроль и испытания; 4) поставка и хранение; 5) монтаж; 6) ввод в эксплуатацию; 7) эксплуатация

В обобщенном виде риски стадий ЖЦ определяются как

$$\mathfrak{R}^i = (h_i' + h_i) \cdot C_i, \quad i = 1, \dots, 7, \quad (1)$$

где h_i – обобщенная количественная характеристика уровня опасностей i -й

стадии ЖЦ; $h_i' = \sum_{k=1}^{i-1} h_k \cdot \prod_{j=k}^{i-1} \beta_j$ – обобщенная количественная характеристика

уровня опасностей, обусловленных предыдущими стадиями ЖЦ и унаследованных i -й стадией ЖЦ; C_i – мера тяжести последствий опасностей i -й стадии ЖЦ. В общем виде мера C_i определяется как

$$C_i = \sum_{j=i}^7 \left(c_j \cdot (1 - \beta_j) \cdot \prod_{k=i}^{j-1} \beta_k \right) + C_7^* \cdot \prod_{k=i}^7 \beta_k, \quad \prod_{k=i}^{j-1} \beta_k = 1 \text{ при } i > j - 1, \quad i = 1, \dots, 7,$$

β_i – вероятность пропуска опасностей на i -й стадии ЖЦ; пропуск опасности рассматривается как событие, заключающееся в невыявлении опасности на данной или предыдущих стадиях ЖЦ и, как следствие, неустранении опасности и ее причин; c_i – мера тяжести последствий опасностей, выявленных и устраненных на i -й стадии ЖЦ; C_7^* – мера тяжести последствий опасностей, которые не были выявлены и устранены на стадии эксплуатации изделия.

Согласно схеме на рис. 1 опасности стадий ЖЦ изделия делятся на опасности собственные и опасности, унаследованные от предыдущих стадий ЖЦ. Необходимо также отметить, что в условиях управления рисками количественная характеристика уровня опасности и степень тяжести ее последствий являются зависимыми параметрами.

Обобщенный риск ЖЦ изделия оценивается как сумма рисков отдельных стадий.

Следует отметить, что в настоящее время для большинства отечественных машиностроительных предприятий проблема анализа рисков ЖЦ изделия связана с ограниченностью и низкой достоверностью информации о качестве процессов стадий ЖЦ и надежности изделий. Статистические данные, собираемые на передовых отечественных предприятиях машиностроения и представляющие интерес для анализа, как правило, являются закрытыми. Поэтому в условиях ограниченных информационных ресурсов машиностроительного предприятия разработка РКД и ОБ в первую очередь должна преследовать цель максимально полного и адекватного документирования требований по обеспечению минимально возможных рисков стадий ЖЦ, основанных на расчетах и экспертных оценках и требованиях действующей нормативной базы.

2.2. Основные положения методики анализа рисков стадий ЖЦ, основанной на экспертном подходе

Каждая i -я стадия ЖЦ характеризуется входами (множеством исходных состояний изделия Z^{i-1}), выходами (множеством конечных состояний изделия Z^i) и множеством возможных реализаций функционального процесса стадии Φ^i

$$Z^{i-1} = \langle z_1^{i-1}, \dots, z_j^{i-1}, \dots, z_{n_{i-1}}^{i-1} \rangle, \quad Z^i = \langle z_1^i, \dots, z_k^i, \dots, z_{n_i}^i \rangle,$$

$$\Phi^i = \langle \varphi_1^i, \dots, \varphi_s^i, \dots, \varphi_{m_i}^i \rangle, \quad i = 1, \dots, 7,$$

где z_j^{i-1} , z_k^i – соответственно возможные состояния входа и выхода; φ_s^i – s -я реализация функционального процесса i -й стадии; Z^0 , Z^1 соответственно представляют множество исходных вариантов конструкции изделия и множество вариантов рабочей документации на конструкцию изделия.

Изделие на i -й стадии ЖЦ и функциональный процесс стадии соответственно характеризуются множеством параметров $\Pi^i = \langle \pi_1^i, \pi_2^i, \dots, \pi_{ki}^i \rangle$ и множеством показателей процесса $\Theta^i = \langle \theta_1^i, \theta_2^i, \dots, \theta_{li}^i \rangle$. Каждое состояние изделия и каждая реализация процесса однозначно определяются соответствующими наборами допустимых значений (лингвистических или числовых) параметров π и показателей θ .

Причинные связи i -й стадии ЖЦ заданы системой бинарных нечетких отношений входов $z_j^{i-1} \in Z^{i-1}$ и выходов $z_k^i \in Z^i$:

$$Z_s^i = \left\{ \langle z_j^{i-1}, z_k^i \rangle, \mu_{\varphi_s^i} \langle z_j^{i-1}, z_k^i \rangle \right\}, \quad i = 1, \dots, 7; \quad s = 1, \dots, m_i$$

где $\mu_{\varphi_s^i} \langle z_j^{i-1}, z_k^i \rangle$ – функция принадлежности данного нечеткого бинарного отношения, соответствующая s -й реализации процесса, φ_s^i есть элемент матрицы принадлежности

$$M_s^i = \left\| \mu_{\varphi_s^i}(z_j^{i-1}, z_k^i) \right\|, \quad j = 1, \dots, n_{i-1}, \quad k = 1, \dots, n_i.$$

Значения функции принадлежности рассматриваются как весовые коэффициенты бинарных отношений, при этом выполняется условие нормирования:

$$\sum_{k=1}^{n_i} \mu_{\varphi_s^i}(z_j^{i-1}, z_k^i) = 1,$$

т.е. весовые коэффициенты отождествляются с вероятностями соответствующих переходов.

Наряду с характеристикой бинарных отношений каждой «тройке» z_j^{i-1} , z_k^i , φ_s^i ставится в соответствие обоснованная количественная оценка уровня опасностей состояния изделия z_k^i в виде вектора

$$H_{jks}^i = \left| h_{jks,v}^i \right|, \quad i = 1, \dots, 7; \quad v = 1, \dots, v_i,$$

где элементы вектора $h_{jks,v}^i$ есть количественные оценки уровней опасностей v -видов i -й стадии ЖЦ; v_i – число идентифицированных видов опасностей i -й стадии ЖЦ.

Результат реализации ЖЦ в виде некоторой L -й последовательности реализаций процессов стадий ЖЦ $\langle \varphi_{L_1}^1, \varphi_{L_2}^2, \dots, \varphi_{L_7}^7 \rangle$ при заданных нечетких бинарных отношениях представляется матрицей распределения состояний надежности и безопасности изделия на стадии эксплуатации, определенной как

$$M_L^7 = \prod_{i=1}^7 M_{L_i}^i, \quad j = 1, \dots, n_0, \quad k = 1, \dots, n_7.$$

Разработка модели рисков стадии эксплуатации изделия рассматривается как отдельная задача. Так как стадия эксплуатации изделия составляет основную часть ЖЦ, характеризуется длительным и многоцикловым режимом работы, технического обслуживания и ремонта, то эксплуатация изделия рассматривается как стационарная система. В качестве модели такой системы предлагается Марковская модель [6] пяти видов обобщенных состояний и переходов процесса эксплуатации изделия. Структурная схема модели в виде графа приведена на рис. 2.

Обобщенные состояния определяются как совокупные состояния конструкции изделия и организационно-технических процессов эксплуатации, характеризующиеся множеством возможных критериев проявления соответствующих состояний:

$$Z_X = \langle z_{X1}, z_{X2}, \dots, z_{Xi}, \dots, z_{X,nx} \rangle, \quad X \in \langle O, A, B, C, D \rangle.$$

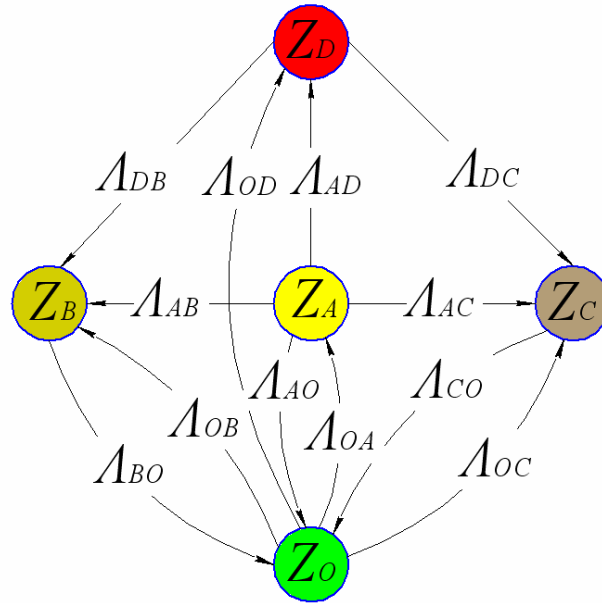


Рис. 2. Граф обобщенных состояний и переходов процесса эксплуатации изделия

Обобщенные состояния классифицируются как:

- основное рабочее (штатное) состояние Z_O ;
- опасное рабочее состояние Z_A ;
- частично работоспособное и безопасное состояние (часть функций изделия временно не реализуется) Z_B ;
- неработоспособное и безопасное состояние (ремонт изделия) Z_C ;
- критическое состояние, неминуемо приводящее к авариям или/и несчастным случаям Z_D .

Обобщенные переходы характеризуются соответствующими обобщенными интенсивностями Λ . Обобщенная интенсивность перехода Λ_{XY} из состояния Z_X в состояние Z_Y представляется множеством интенсивностей λ_{XY} , характеризующих бинарные отношения критериев обобщенных состояний X и Y .

Обобщенные интенсивности переходов рассматриваются как функционалы уровней опасностей, заданных матрицей уровней опасностей стадии эксплуатации при условии реализации $\langle \varphi_{L_1}^1, \varphi_{L_2}^2, \dots, \varphi_{L_7}^7 \rangle$

$$H_L^7 = \|h_{k,L,v}^7\| \cdot \left| \mu_{\varphi_L^7}(z_{L_1}^0, z_k^7) \right|, \quad k = 1, \dots, n_7.$$

Переход из состояния Z_O в состояние Z_A характеризуется интенсивностью Λ_{OA} в связи:

- с несоответствиями требованиям безопасности изделия, износом или постепенными отказами элементов его конструкции;

– с несоответствиями, отказами или ошибками контроля и управления, технического обслуживания, включая человеческий фактор;

– с неконтролируемыми или/и неуправляемыми внешними критическими воздействиями.

Обратный переход из состояния Z_A в состояние Z_O рассматривается в связи с оперативными действиями по устранению причин возникновения опасного состояния и характеризуется тяжестью последствий C_A в связи с затратами на осуществление оперативного воздействия.

Предупреждение опасного состояния Z_A осуществляется путем:

– профилактических мероприятий, например, плановым техническим обслуживанием с переводом изделия в облегченный режим работы, что моделируется переходом из основного состояния Z_O в частично работоспособное безопасное состояние Z_B с интенсивностью Λ_{OB} ;

– прекращения работы изделия в связи с обнаружением тенденции его перехода в состояние Z_A , что моделируется переходом в безопасное неработоспособное состояние Z_C с интенсивностью Λ_{OC} .

Локализация состояния Z_A осуществляется методами и средствами системы аварийного управления и защиты, что моделируется переходом в частично работоспособное безопасное состояние Z_B с интенсивностью Λ_{AB} или переходом в безопасное неработоспособное состояние Z_C с интенсивностью Λ_{AC} .

Состояние Z_B характеризуется тяжестью последствий C_B в связи с ограничением функций изделия или/и плановым техническим обслуживанием, а состояние Z_C – тяжестью последствий C_C в связи с простым изделием и внеплановым ремонтом.

Z_D – состояние аварии, характеризуется тяжелыми последствиями C_D . Переход изделия в данное состояние происходит из:

– состояния Z_O с интенсивностью Λ_{OD} в связи с внезапным критическим отказом изделия или/и в связи с критически недопустимым внешним воздействием при отсутствии срабатывания средств защиты, включая человеческий фактор;

– состояния Z_A с интенсивностью Λ_{AD} в связи с ошибкой 2-го рода, или отказом системы аварийного управления или/и защиты, или грубыми нарушениями требований локализации.

Ликвидация последствий C_B , C_C , C_D и перевод процесса эксплуатации изделия в основное состояние Z_O из состояний Z_B , Z_C , Z_D отображается переходами с интенсивностями восстановления Λ_{BO} , Λ_{CO} и интенсивностями ликвидации последствий инцидента, аварии Λ_{DB} , Λ_{DC} . Причем переход из состояния Z_D в состояние Z_B имеет место при условии, что изделие не получило серьезных повреждений, не требует ремонта или модернизации с целью повышения безопасности эксплуатации. В противном случае имеет место переход из состояния Z_D в состояние Z_C .

$P(Z_O), P(Z_A), P(Z_B), P(Z_C), P(Z_D)$ – вероятности пребывания процесса эксплуатации изделия в состояниях Z_O, Z_A, Z_B, Z_C, Z_D – определяются в результате решения системы уравнений для обобщенных состояний:

$$\begin{aligned}
 &-(\Lambda_{OA} + \Lambda_{OB} + \Lambda_{OC} + \Lambda_{OD}) \cdot P(Z_O) + \Lambda_{AO} \cdot P(Z_A) + \\
 &\quad + \Lambda_{BO} \cdot P(Z_B) + \Lambda_{CO} \cdot P(Z_C) = 0, \\
 &\Lambda_{OA} \cdot P(Z_O) - (\Lambda_{AD} + \Lambda_{AC} + \Lambda_{AB} + \Lambda_{AO}) \cdot P(Z_A) = 0, \\
 &\Lambda_{OB} \cdot P(Z_O) + \Lambda_{AB} \cdot P(Z_A) - \Lambda_{BO} \cdot P(Z_B) + \Lambda_{DB} \cdot P(Z_D) = 0, \\
 &\Lambda_{OC} \cdot P(Z_O) + \Lambda_{AC} \cdot P(Z_A) - \Lambda_{CO} \cdot P(Z_C) + \Lambda_{DC} \cdot P(Z_D) = 0, \\
 &\Lambda_{OD} \cdot P(Z_O) + \Lambda_{AD} \cdot P(Z_A) - (\Lambda_{DC} + \Lambda_{DB}) \cdot P(Z_D) = 0, \\
 &P(Z_O) + P(Z_A) + P(Z_B) + P(Z_C) + P(Z_D) = 1.
 \end{aligned}$$

При переходе от системы уравнений для обобщенных состояний к системе уравнений, декомпозированной до уровня бинарных отношений критериев $Z_X = \langle z_{X1}, z_{X2}, \dots, z_{Xi}, \dots, z_{X, nx} \rangle$ и $Z_Y = \langle z_{Y1}, z_{Y2}, \dots, z_{Yj}, \dots, z_{Y, ny} \rangle$, справедливы следующие преобразования:

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{array}{c} \sum_{j=1}^{ny} \lambda_{X1,Yj} \cdot P_{X1} \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{j=1}^{ny} \lambda_{Xi,Yj} \cdot P_{Xi} \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{j=1}^{ny} \lambda_{Xnx,Yj} \cdot P_{X,nx} \end{array} \right|, \quad \Lambda_{YX} \cdot P_Y = \left. \begin{array}{c} \sum_{j=1}^{ny} \lambda_{Yj,X1} \cdot P_{Yj} \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{j=1}^{ny} \lambda_{Yj,Xi} \cdot P_{Yj} \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{j=1}^{ny} \lambda_{Yj,Xnx} \cdot P_{Yj} \end{array} \right| \\
 & \sum_{i=1}^{nx} p_{Xi} = P_X, \quad \sum_{j=1}^{ny} p_{Yj} = P_Y, \quad X, Y \in \langle O, A, B, C, D \rangle,
 \end{aligned}$$

где $\lambda_{Xi,Yj}, \lambda_{Yj,Xi}$ – соответственно интенсивности переходов от состояния Z_X , характеризуемого критерием z_{Xi} , в состояние Z_Y , характеризуемое критерием z_{Yj} ; p_{Xi}, p_{Yj} – вероятности состояний Z_X и Z_Y , характеризуемых критериями z_{Xi} и z_{Yj} .

2.3. Процедура минимизации риска ЖЦ изделия

Процедура минимизации риска ЖЦ изделия основана на последовательной минимизации рисков стадий ЖЦ. Формально задача минимизации

сводится к идентификации последовательности $\langle \phi_{L_1}^1, \phi_{L_2}^2, \dots, \phi_{L_7}^7 \rangle_{opt}$, обеспечивающей минимум риска ЖЦ изделия

$$\min \mathfrak{R} = \sum_{i=1}^7 \min \mathfrak{R}^i,$$

причем риски стадий ЖЦ, предшествующие стадии эксплуатации, в общем виде определены (1), а риск стадии эксплуатации определяется как

$$\mathfrak{R}^7 = \sum_{i=1}^{na} p_{Ai} \cdot C_{Ai} + \sum_{j=1}^{nb} p_{Bj} \cdot C_{Bj} + \sum_{k=1}^{nc} p_{Ck} \cdot C_{Ck} + \sum_{l=1}^{nd} p_{Dl} \cdot C_{Dl},$$

где i, j, k, l – индексы идентифицированных критериев состояний Z_A, Z_B, Z_C, Z_D .

Результаты минимизации риска ЖЦ изделия документируются в виде требований графических и текстовых документов РКД:

- расчетов (РР);
- программы и методики испытаний (ПМ);
- инструкции по монтажу, пуску, регулированию и обкатке изделия (ИМ);
- руководства по эксплуатации (РЭ);
- обоснования безопасности (ОБ).

3. Автоматизация анализа рисков и разработки документов РКД

Методика анализа рисков стадий ЖЦ изделия внедрена в виде документа системы менеджмента качества ОАО НПП «Химмаш-Старт». Реализация методики рассматривается как одна из основных процедур специализированной диалоговой системы информационной поддержки разработки текстовых конструкторских документов ПМ, ИМ, РЭ и ОБ на сосуды и аппараты [7]. При разработке текстовых документов данная информационная система в соответствии с положениями стандартов ASD S1000D [8] выполняет следующие функции:

- регламентирование порядка разработки, оформления текстового документа с выдачей разработчику запросов (требований) по предоставлению полного набора входных данных для каждого раздела (если необходимо);
- информационная поддержка составления текстов отдельных структурных элементов разрабатываемого документа; поддержка заключается в информационном поиске и предоставлении разработчику фрагментов-аналогов ранее разработанных образцов текстовых документов в соответствии с результатами классифицирования структурных элементов с указаниями о возможности их использования (частичное или полное);
- автоматизированное составление текста директивных процедур в соответствии с входными данными – информационными моделями процессов жизненного цикла изделия;
- анализ и уточнение информационных связей составленных текстов разделов документа.

В процессе разработки документа осуществляется автоматическая проверка и анализ проектов документов на соответствие требованиям системности, комплексности, полноты, адекватности и эффективности достижения целей документирования.

Применение системы информационной поддержки дает предприятию возможность оперативно и качественно выполнять большой объем заказов на разработку комплексов технологического оборудования для опасных химических производств.

Список литературы

1. Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 010/2011) «О безопасности машин и оборудования». Утвержден решением комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. № 823.
2. ГОСТ Р 54122–2010. Безопасность машин и оборудования. Требования к обоснованию безопасности. – М., 2012.
3. ГОСТ Р 53195.1–2008. Безопасность функциональная связанных с безопасностью зданий и сооружений систем. Часть 1. Основные положения. – М., 2009.
4. ГОСТ Р МЭК 61508-5–2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 5. Примеры методов определения уровней полноты безопасности. – М.: Стандартинформ, 2008.
5. ГОСТ Р 14.09–2005. Экологический менеджмент. Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента. – М., 2005.
6. ГОСТ Р 51901.15–2005. Менеджмент риска. Применение Марковских методов. – М., 2005.
7. Репин, А. Ю. Диалоговая система информационной поддержки текстовой конструкторской документации / А. Ю. Репин, Л. Р. Фионова, И. Г. Епишин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 1 (17). – С. 24–34.
8. International specification for technical publications utilizing a common source data base (ASD S1000D) The European Association Aerospace Industries. Issue 2.3. – Brussels: ASD, 2007. – 2609 p.

References

1. *Tekhnicheskij Reglament Tamozhennogo soyuza (TR TS 010/2011) «O bezopasnosti mashin i oborudovaniya»* [Technical regulations of the Customs union (TR TS 010/2011) On machine and equipment safety]. 18 october 2011, no. 823.
2. GOST R 54122–2010. *Bezopasnost' mashin i oborudovaniya. Trebovaniya k obosnovaniyu bezopasnosti* [Machine and equipment safety. Requirements to safety substantiation]. Moscow, 2012.
3. GOST R 53195.1–2008. *Bezopasnost' funktsional'naya svyazannykh s bezopasnost'yu zdaniy i sooruzheniy sistem. Chast' 1. Osnovnye polozheniya* [Functional safety of buildings and facilities safety relating systems. Part 1. Basic provisions]. Moscow, 2009.
4. GOST R MEK 61508-5–2007. *Funktsional'naya bezopasnost' sistem elektricheskikh, elektronnykh, programmiruemykh elektronnykh, svyazannykh s bezopasnost'yu. Chast' 5. Primery metodov opredeleniya urovney polnoty bezopasnosti* [Functional safety of safety relating electrical, electronic, programmable electronic systems. Part 5. Examples of methods of safety integrity levels determination]. Moscow: Standartinform, 2008.

5. GOST R 14.09–2005. *Ekologicheskiy menedzhment. Rukovodstvo po otsenke riska v oblasti ekologicheskogo menedzhmenta* [Ecological management. Guide to risk assessment in ecological management]. Moscow, 2005.
6. GOST R 51901.15–2005. *Menedzhment riska. Primenenie Markovskikh metodov* [Risk management. Application of Markov methods]. Moscow, 2005.
7. Repin A. Yu., Fionova L. R., Epishin I. G. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [University proceedings. Volga region. Engineering sciences]. 2011, no. 1 (17), pp. 24–34.
8. *International specification for technical publications utilizing a common source data base (ASD S1000D) The European Association Aerospace Industries. Issue 2*. Brussels: ASD, 2007, 2609 p.

Епишин Игорь Георгиевич

кандидат технических наук, доцент,
начальник научно-исследовательской
лаборатории, Научно-производственное
предприятие «Химмаш-Старт»
(Россия, г. Пенза, Лермонтова, 3)

E-mail: epishin.igor@yandex.ru

Epishin Igor' Georgievich

Candidate of engineering sciences,
associate professor, head of research
laboratory, JSC Scientific
Production enterprise "Chimmash-Start"
(3 Lermontova street, Penza, Russia)

Репин Андрей Юрьевич

старший научный сотрудник,
Научно-производственное
предприятие «Химмаш-Старт»
(Россия, г. Пенза, Лермонтова, 3)

E-mail: ASAPR-snegovik@mail.ru

Repin Andrey Yur'evich

Senior researcher, JSC Scientific
Production enterprise "Chimmash-Start"
(3 Lermontova street, Penza, Russia)

Фионова Людмила Римовна

доктор технических наук, профессор,
декан факультета вычислительной
техники, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: inoup@pnzgu.ru

Fionova Lyudmila Rimovna

Doctor of engineering sciences, professor,
dean of the faculty of computer
engineering, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 621.001.57

Епишин, И. Г.

Анализ рисков жизненного цикла технологического оборудования для опасных производственных объектов при разработке рабочей конструкторской документации / И. Г. Епишин, А. Ю. Репин, Л. Р. Фионова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 3 (27). – С. 176–188.