

DOI: 10.53078/20778481\_2021\_3\_46

УДК 629.113.001

*А. Н. Панов, Ж. А. Мрочек, В. М. Пашкевич*

## **АНАЛИЗ РИСКОВ НЕСООТВЕТСТВИЙ ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

---

*A. N. Panov, Z. A. Mrochek, V. M. Pashkevich*

## **ANALYSIS OF THE RISKS OF NONCONFORMITIES OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTS AND TECHNOLOGICAL PROCESSES OF THEIR MANUFACTURE IN THE DESIGN PROCESS**

---

### **Аннотация**

Рассматривается проблема необходимости переосмысления процесса проектирования продукции машиностроения и технологического проектирования в связи с изменившейся парадигмой – переходом с детерминированно-вероятностного постулата проектирования на риск-ориентированный. Предлагаются основополагающие элементы методологии и модели анализа рисков, реализуемых в рамках перспективного планирования качества, в том числе надежности и безопасности. Модели необходимы для идентификации рисков несоответствий продукции машиностроения и процессов ее изготовления при проектировании и для достижения приемлемых вероятностей несоответствия как типа продукции, так и типа процессов ее тиражирования, а также обеспечения конкурентоспособной эффективности.

### **Ключевые слова:**

риски, продукция, качество, технология, проектирование.

### **Для цитирования:**

Панов, А. Н. Анализ рисков несоответствий продукции машиностроения и технологических процессов ее изготовления при проектировании / А. Н. Панов, Ж. А. Мрочек, В. М. Пашкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2021. – № 3(72). – С. 46–58.

### **Abstract**

The article deals with the necessity to rethink the process of designing mechanical engineering products and technological design in connection with the paradigm change, i.e. the transition from the deterministic-probabilistic postulate of design to the risk-oriented one. The basic elements of the methodology and the model of risk analysis implemented in long-term quality planning, including reliability and safety, are proposed. The models are necessary to identify risks of nonconformity of mechanical engineering products and their manufacturing processes in the design and to achieve acceptable probabilities of nonconformity of both the type of product and the type of its replication processes, as well as to ensure competitive efficiency.

### **Keywords:**

risks, products, quality, technology, design.

### **For citation:**

Panov, A. N. Analysis of risks of nonconformities of mechanical engineering products and technological processes of their manufacture in the design process / A. N. Panov, Z. A. Mrochek, V. M. Pashkevich // The Belarusian-Russian university herald. – 2021. – № 3(72). – P. 46–58.

---

## Введение

Требования потребителей продукции по вероятности соответствия (функционирование, надежность, безопасность), а также конкуренция значительно выросли за последние годы. Отказ от детерминированного и даже вероятностного мышления, переход к мышлению на основе рисков требует включения как в конструкторское, так и технологическое проектирование этапов анализа рисков продукции и процессов изготовления, например с применением методики FMEA. Указанное определяет актуальную задачу современности – совершенствование процессов проектирования с использованием анализа рисков.

Традиционно при проектировании критериями достижения качества типа продукции является соответствие требованиям, в том числе по надежности, которое подтверждается расчетами и испытаниями машиностроительной продукции, а надежность процессов изготовления – апробацией технологических процессов и оценкой достижения приемлемого процента брака [1–8]. В новых системах постановки продукции на производство [9–14] для достижения

требуемой вероятности несоответствия продукции в показателях, таких как ppm или даже ppb, например 50 ppm, в дополнении к традиционным [1], предложено использовать расчеты по рискам [1–14].

Традиционное проектирование основывается на детерминированном подходе и вероятностной оценке, т. е. на предположении, что условия эксплуатации машин, технологические и производственные процессы и объекты, в них участвующие (условия среды эксплуатации, производственное оборудование, инфраструктура, персонал и т. д.), практически неизменны в течение времени и это позволяет стабильно достигать соответствия продукции, которое было оценено в момент ее постановки на производство, эксплуатации в неизменных условиях. Фактически указанным процессам присущи риски событий, вариаций и бифуркаций (рис. 1) [13, 14]. В связи с этим при реализации процессов и этапов перспективного планирования качества продукции и процессов изготовления и использования продукции машиностроения [11–21] для достижения соответствия следует проводить анализ всех трех видов рисков.

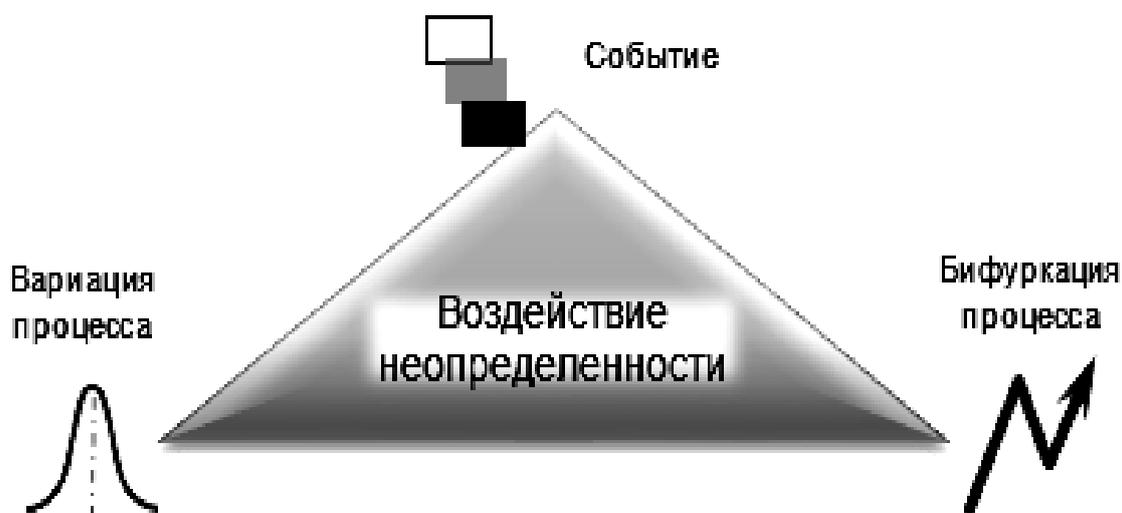


Рис. 1. Классификация рисков в зависимости от времени

Анализ рисков, соответственно, предлагает наличие моделей как для рисков-событий, рисков-вариаций и рисков-бифуркаций. Это позволяет обеспечить пригодность продукции и процессов изготовления и использования для фактически нестабильных условий и выполнить установленные требования технического задания при проектировании и производстве [15–20].

В соответствии с требованиями [15, 16] после проведения анализа рисков (рис. 2) для подготовки и реализации планов на случай чрезвычайных об-

стоятельств для обеспечения непрерывности поставок (например, на сборочные конвейеры), при возникновении нештатных событий (например, отказ ключевого оборудования; прерывание поставок извне продукции, процессов и услуг; повторяющиеся стихийные бедствия; пожары; прерывание предоставления коммунальных услуг; кибер-атаки) предлагается (рис. 3) модель управления рисками процесса методами предупреждения и парирования (с учетом вариации и бифуркации) при чрезвычайных обстоятельствах.

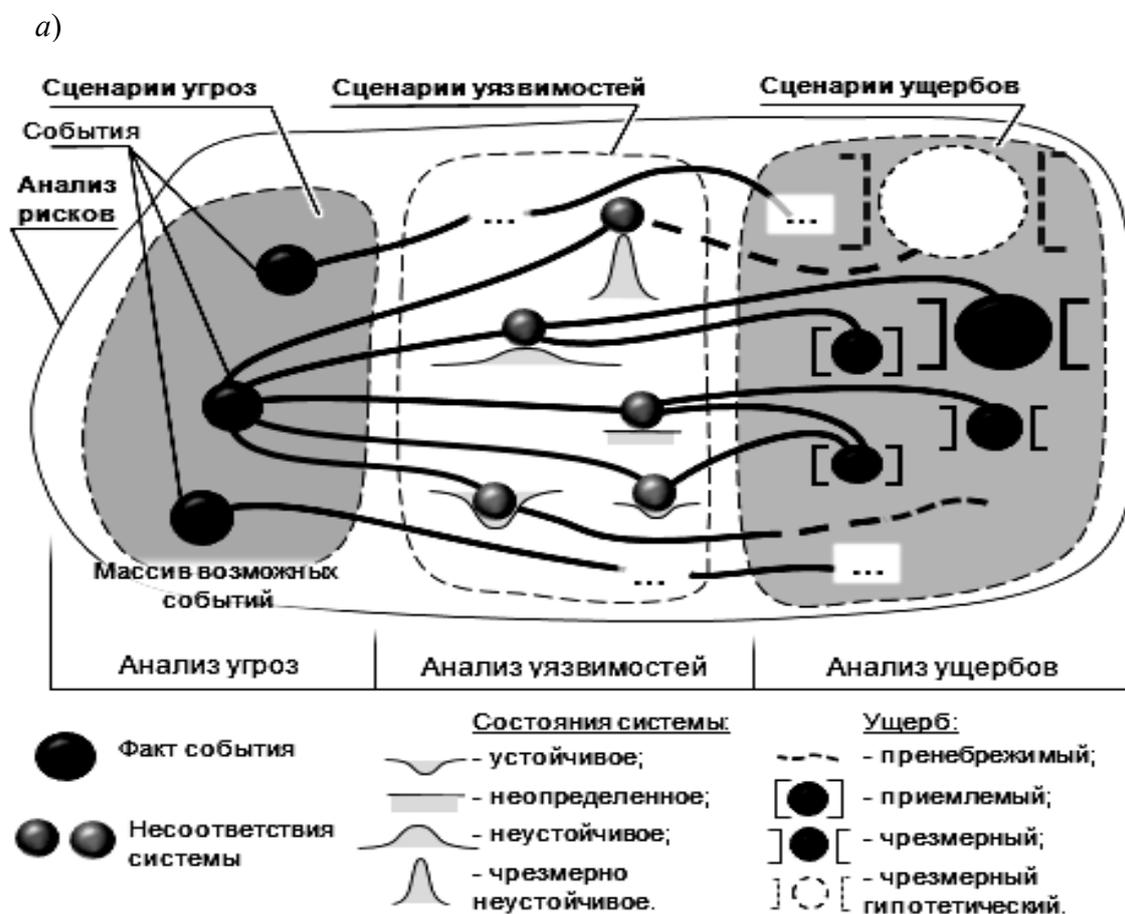
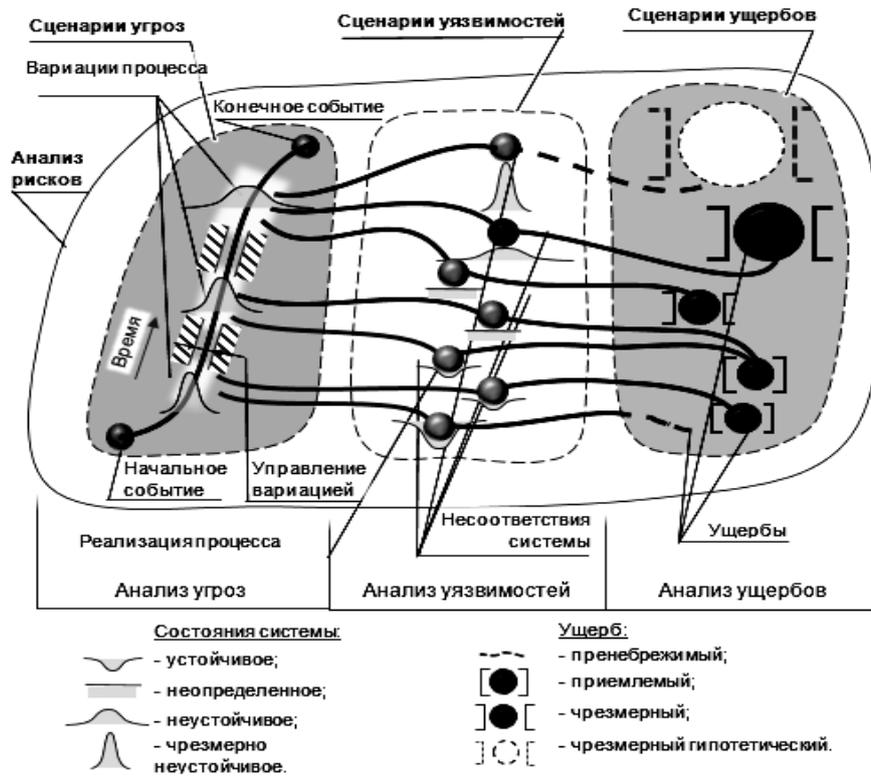
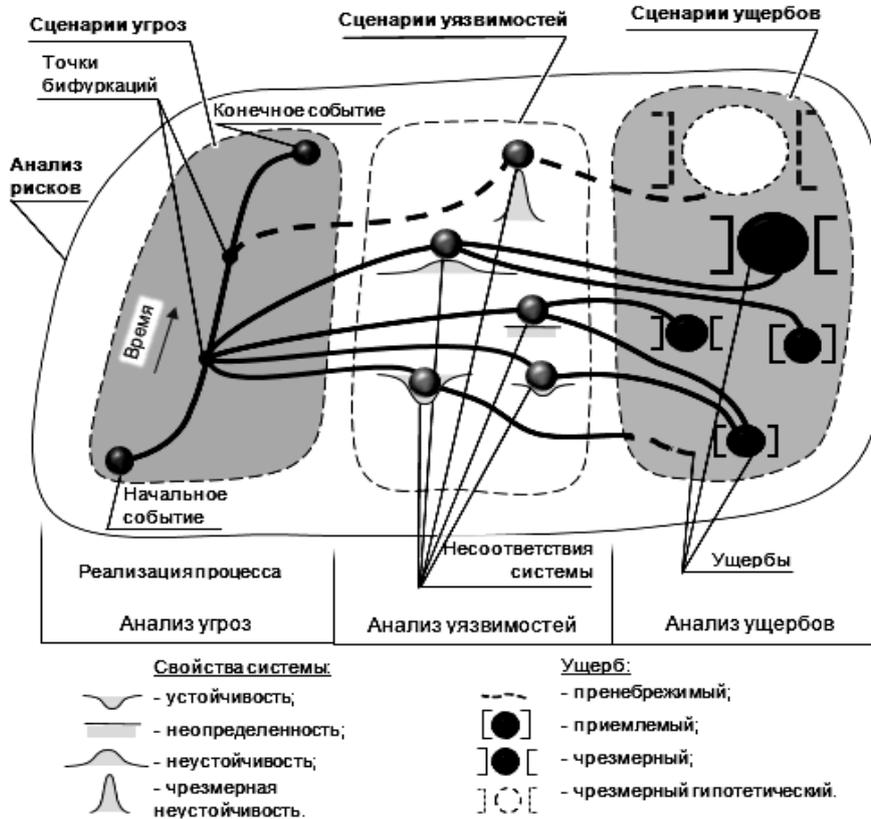


Рис. 2. Структуры анализа рисков на основе риск-ориентированного проектно-процессного подхода: угрозы, уязвимости и ущербы: а – события; б – вариации процесса; в – бифуркации процесса

б)



в)



Окончание рис. 2

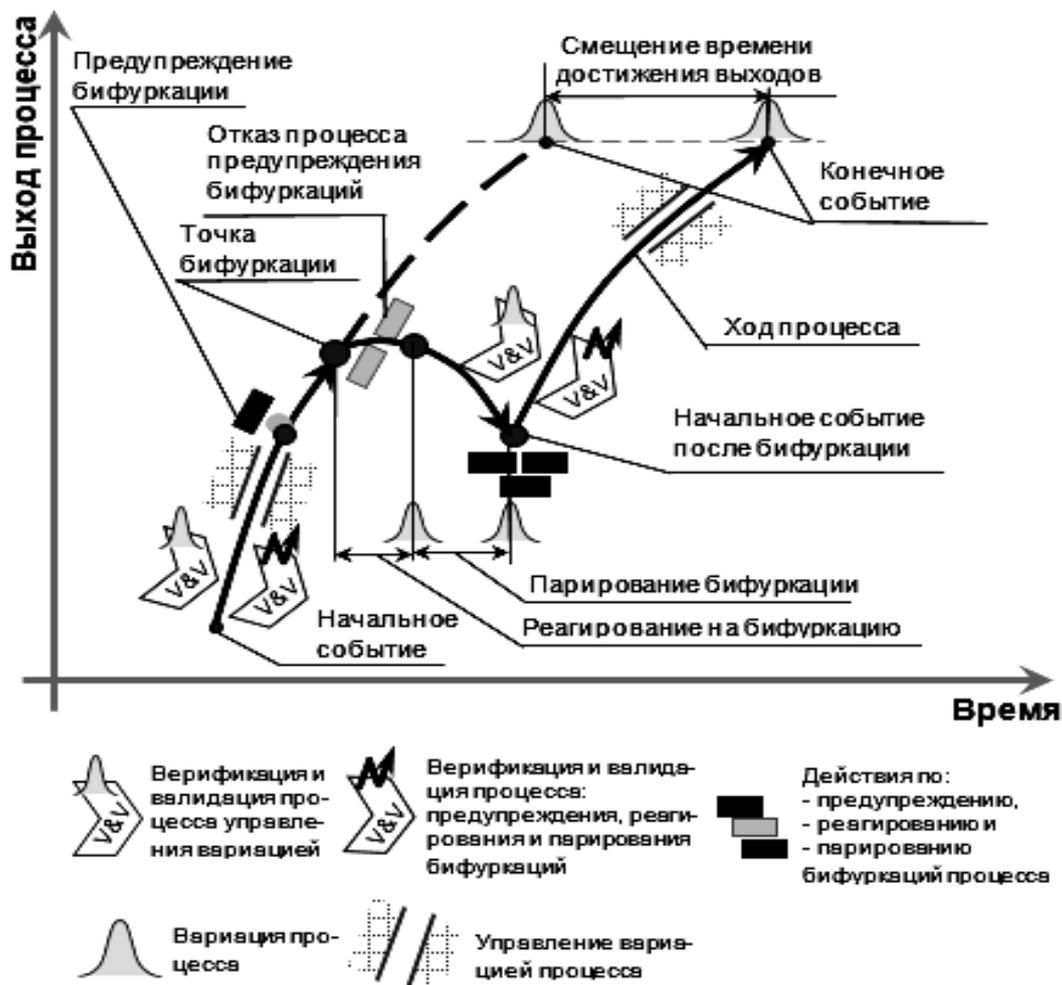


Рис. 3. Структура управления рисками процесса методами предупреждения и парирования с учетом вариации и бифуркации процесса при чрезвычайных обстоятельствах

Для проведения анализа продукции машиностроения и процессов ее изготовления и эксплуатации при анализе рисков предложено идентифицировать при построении деревьев причинно-следственных связей соответствующие ущербы, что позволяет при проектировании в условиях ограниченных временных и других ресурсов сфокусироваться на приоритетах [21]. На рис. 4–6 соответственно представлены предложенные модели:

– идентификация причинно-следственных связей методом дедукции в цепи декомпозиции «система – подсистема – элемент – первопричина» с фокусированием на приоритетных рисках про-

дукции и процесса на основе менеджмента знаний;

– идентификация причинно-следственных связей методом индукции в цепи декомпозиции «система – подсистема – элемент – первопричина» с фокусированием на приоритетных рисках продукции и процесса на основе менеджмента знаний;

– идентификация цепей причинно-следственных связей источников отказов «подсистема – элемент – первопричина» и их результатов «следствие – промежуточные события – последствие для конфигуратора» на основе менеджмента знаний, так называемое сдвоенное дерево индукции-дедукции.

Сдвоенное дерево индукции-дедукции позволяет определить величину возможных ресурсов, необходимых и целесообразных для предупреждения и парирования возможных ущербов при риск-ориентированном подходе в соответствии с предложенной моделью оптимизации зависимостей «вероятность – ущерб» – «качество – цена» – «вариация – ущерб» [21].

Для результативного анализа рисков и, соответственно, разработки предложений по предупреждению и парированию возникновения коренных причин несоответствий / отказов необходимо иметь соответствующие знания. Уровень знаний определяется как используемым при проектировании, изготовлении и применении продукции технологическим укладом, так и вариацией в рамках знаний в конкретной стране и организации. Для обеспечения конкурентоспособности с учетом риск-ориентированного подхода предложены [11–14] фундаментальные модели (рис. 7 и 8):

- оптимальной связи значимости ущерба и вероятности событий с учетом изменения уровня знаний;
- оптимизации затрат на достижение требуемых знаний.

Предложенные модели анализа рисков использованы при разработке государственных стандартов [15–20] для широкого применения в различных отраслях машиностроения. На рис. 9 и 10 приведены примеры анализа рисков с использованием методики FMEA [18] и разработанных моделей, в том числе моделей [21], для идентификации коренной причины несоответствия транспортного средства требованиям технического регламента по внешнему шуму зубчатой передачи (главная передача заднего моста) как для типа конструктивного решения (выбор номинальной величины биения зубчатого венца) (см. рис. 9), а также приемлемой вариации указанной характеристики

при тиражировании (см. рис. 10), которую должен обеспечивать выбранный технологический процесс с учетом факторов производства (обслуживание оборудования, инструмента, квалификации сотрудников и т. д.).

### Заключение

Развитие методологии и моделей для проведения анализа рисков продукции машиностроения и процессов ее тиражирования как этапов перспективного планирования качества продукции в настоящее время является актуальной задачей.

На основе разработанной классификации рисков предложены модели:

- анализа рисков-событий, рисков-вариаций и рисков-бифуркаций с учетом этапов анализа рисков: угрозы, уязвимости, ущербы;
- управления рисками процесса при чрезвычайных обстоятельствах методами предупреждения и парирования с учетом вариации и бифуркации;
- идентификации причинно-следственных связей методом дедукции в цепи декомпозиции «система – подсистема – элемент – первопричина» с фокусированием на приоритетных рисках продукции и процесса на основе менеджмента знаний;
- идентификации причинно-следственных связей методом индукции в цепи декомпозиции «система – подсистема – элемент – первопричина» с фокусированием на приоритетных рисках продукции и процесса на основе менеджмента знаний;
- идентификации цепей причинно-следственных связей источников отказов «подсистема – элемент – первопричина» и их результатов «следствие – промежуточное событие – последствие для конфигуратора» на основе менеджмента знаний – модель сдвоенного дерева индукции и дедукции.

Предложены фундаменталь-

ные модели:

– оптимальной связи значимости ущерба и вероятности событий с учетом

изменения уровня знаний;

– оптимизации затрат на достижение требуемых знаний.

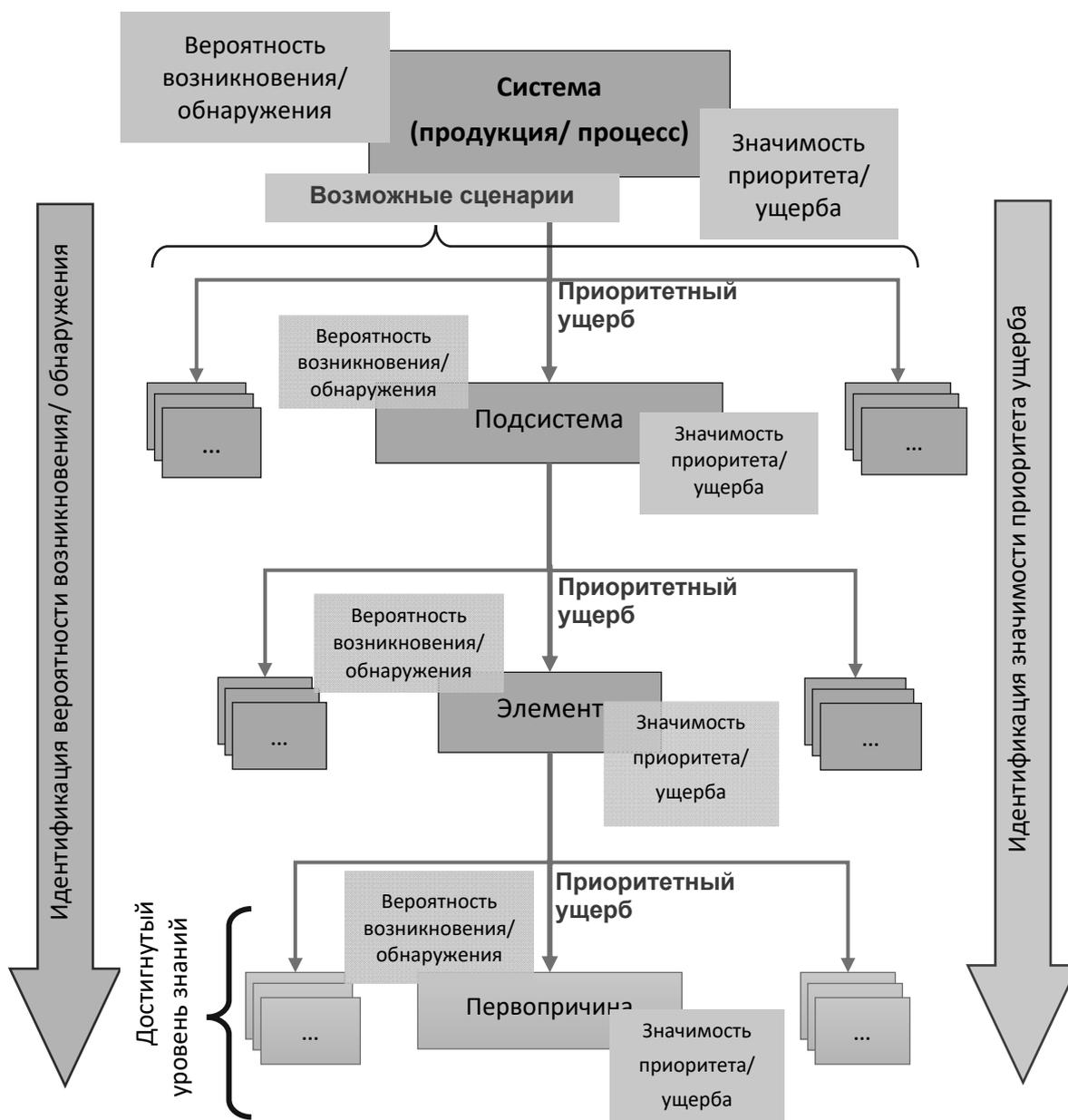


Рис. 4. Идентификация причинно-следственных связей методом дедукции в цепи декомпозиции «система – подсистема – элемент – первопричина» с фокусированием на приоритетных рисках продукции и процесса на основе менеджмента знаний

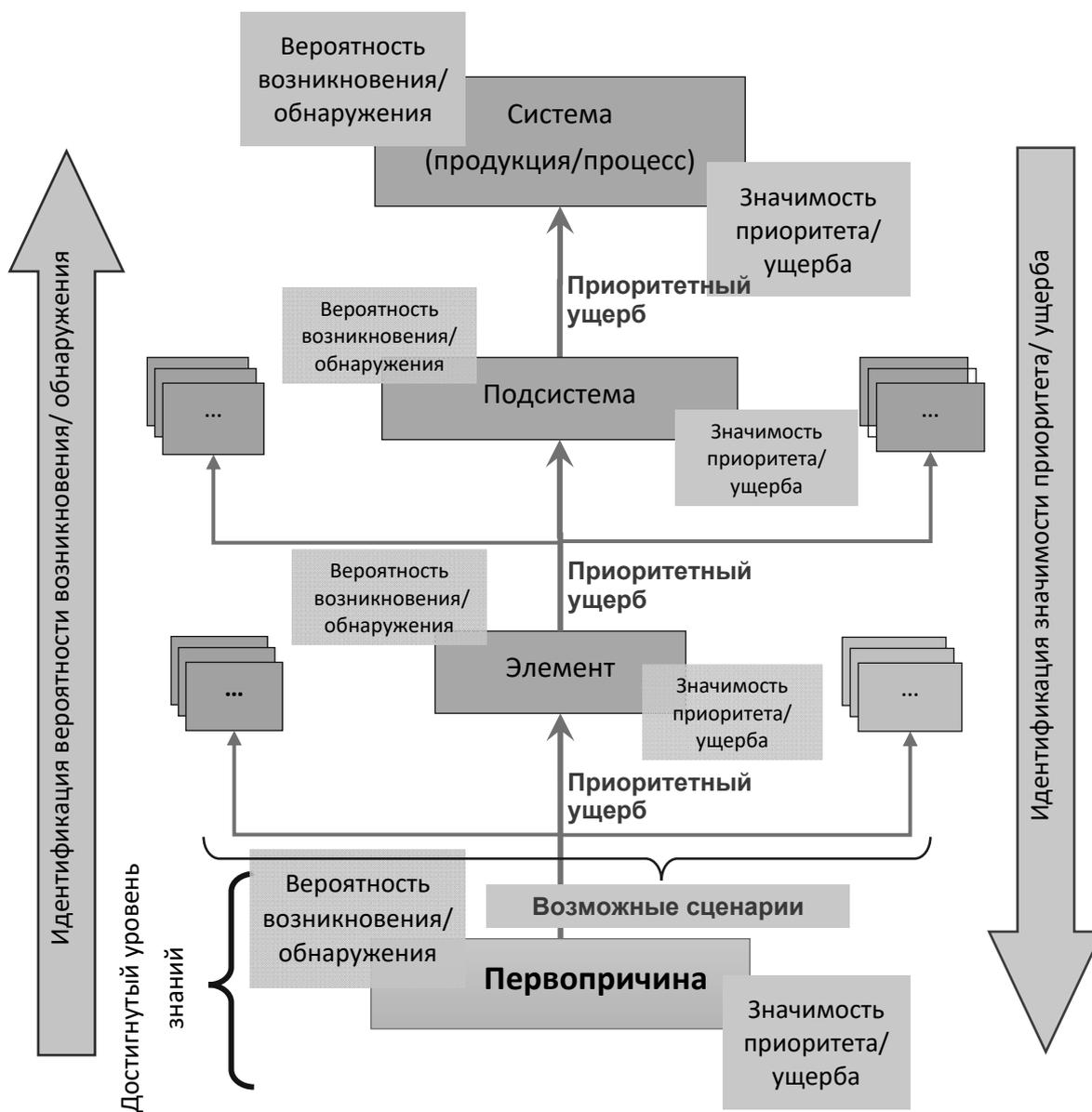


Рис. 5. Идентификация причинно-следственных связей методом индукции в цепи декомпозиции «система – подсистема – элемент – первопричина» с фокусированием на приоритетных рисках продукции и процесса на основе менеджмента знаний

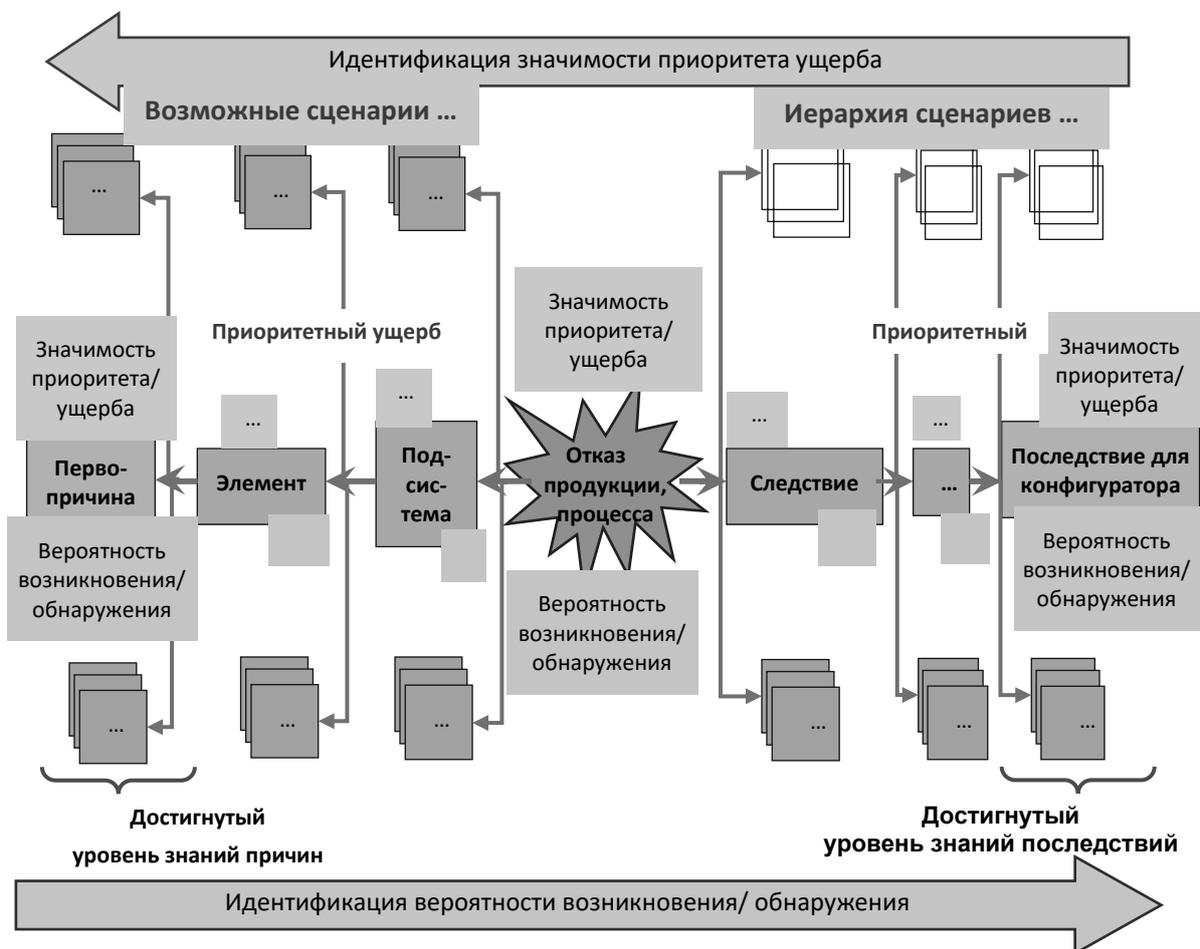


Рис. 6. Идентификация цепей причинно-следственных связей источников отказов «подсистема – элемент – первопричина» и их результатов «следствие – промежуточные события – последствие для конфигуратора» на основе менеджмента знаний. Сдвоенное дерево индукции-дедукции

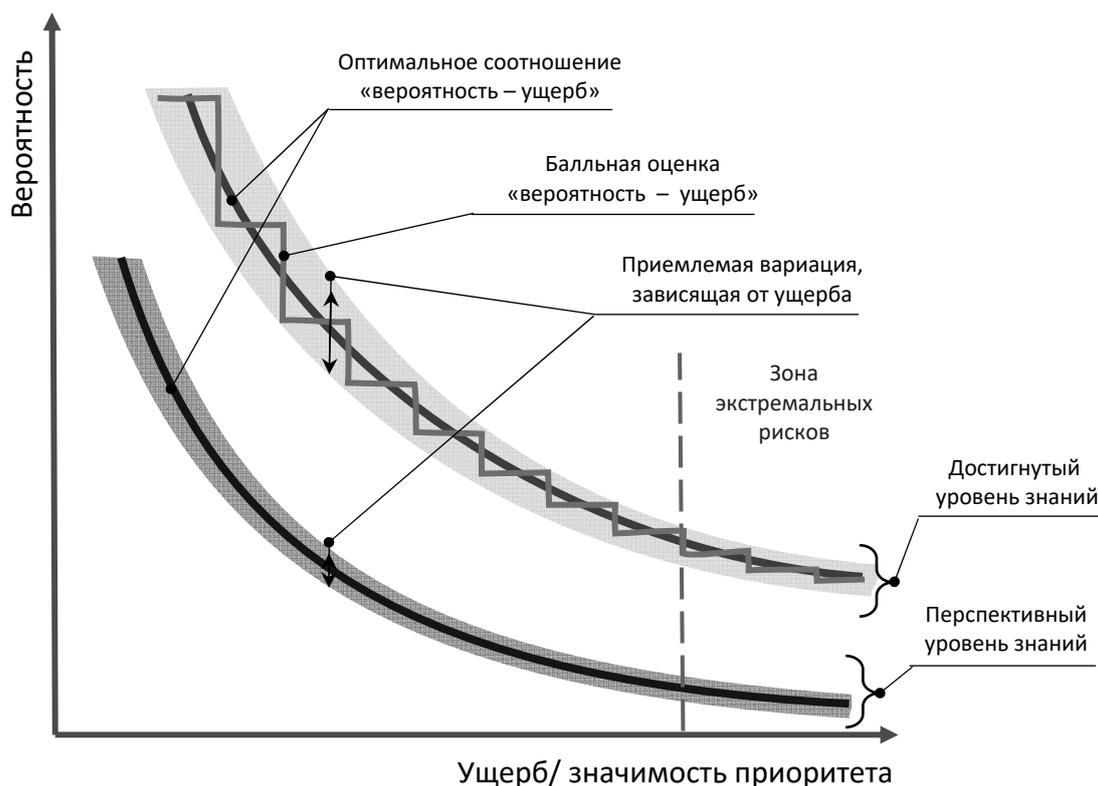


Рис. 7. Модель оптимальной связи значимости ущерба и вероятности событий с учетом изменения уровня знаний



Рис. 8. Модель оптимизации затрат на достижение требуемых знаний

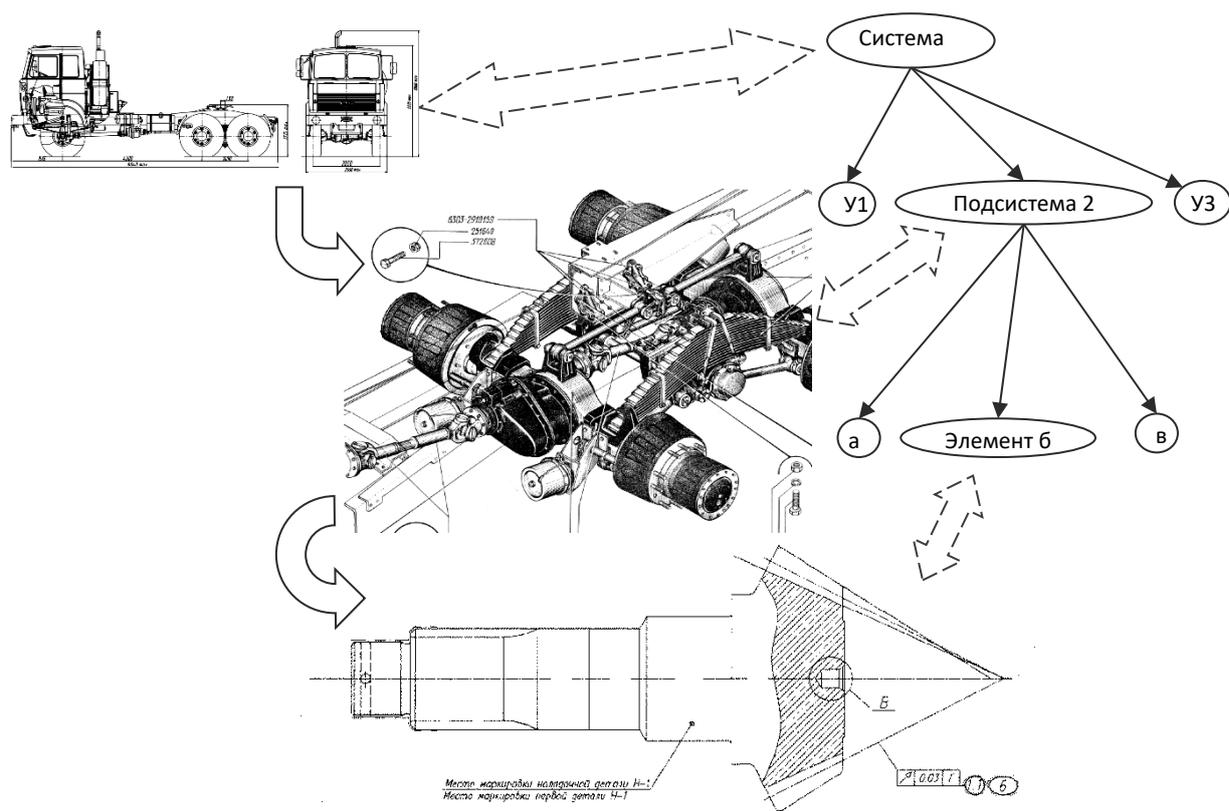


Рис. 9. Пример анализа рисков для идентификации коренной причины несоответствия продукции требованиям технического регламента

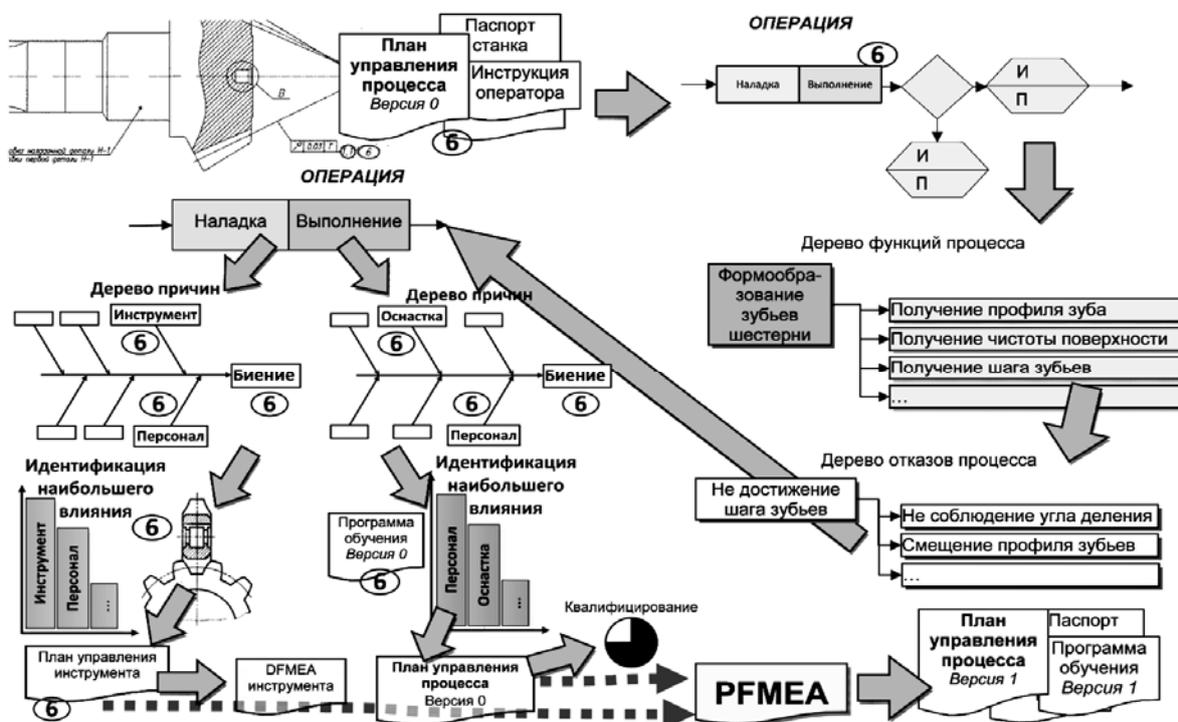


Рис. 10. Пример процесса идентификации информации для проведения PFMEA на примере процесса обработки зубчатого венца шестерни главной передачи

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решетов, Д. Н. Надежность машин: учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов / Д. Н. Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев; под ред. Д. Н. Решетова. – Москва: Высшая школа, 1988. – 238 с.: ил.
2. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / Под ред. В. С. Корсакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1975. – 328 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. М. Дальского [и др.]. – Москва: Машиностроение-1, 2001. – Т. 1. – 912 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. М. Дальского [и др.]. – Москва: Машиностроение-1, 2001. – Т. 2. – 944 с.
5. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник для вузов / А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, Н. М. Федотов. – 6-е изд., доп. и перераб. – Москва: Машиностроение. 1986. – 352 с.
6. Мрочек, Ж. А. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин: учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов / Ж. А. Мрочек, Л. М. Кожуро, И. П. Филонов. – Минск: Технопринт, 2000. – 263 с.
7. Основы технологии автоматизированного производства в машиностроении: учебное пособие / Ж. А. Мрочек [и др.]. – Минск: Технопринт, 2003. – 303 с.
8. Технологическое обеспечение машиностроительного производства: учебное пособие / Ж. А. Мрочек [и др.]; под ред. Ж. А. Мрочека. – Москва: ИКТИ РАН, 2013. – 462 с.
9. Основы системы менеджмента качества машиностроительного предприятия / В. И. Арбузо [и др.]. – Минск: Технопринт, 2000. – 280 с.
10. Панов, А. Н. Как победить в конкурентной борьбе. Гармоничная система качества – основа эффективного менеджмента организации / А. Н. Панов. – Москва: Стандарты и качество, 2003. – 272 с.
11. Горбачевич, М. И. Проектирование транспортных средств: нагруженность, повреждение, ресурс: монография / М. И. Горбачевич, А. Н. Панов, С. М. Минюкович; под общ. ред. А. Н. Панова. – Минск: Технопринт, 2005. – 264 с.: ил.
12. Научно-методические основы проектирования: системное обеспечение приемлемых рисков в автотракторосельхозмашиностроении: монография / А. Н. Панов [и др.]; под общ. ред. А. Н. Панова. – Минск: БГАТУ, 2009. – 486 с.: ил.
13. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности / Под общ. ред. Н. А. Махутова. – Москва: Знание, 2015. – 936 с.: ил.
14. Проблемы прочности, техногенной безопасности и конструкционного материаловедения / Под ред. Н. А. Махутова, Ю. Г. Матвиенко, А. Н. Романова. – Москва: ЛЕНАНД, 2018. – 720 с.
15. СТБ 16949–2018. Системы менеджмента качества. Особые требования по применению СТБ ISO 9001–2015 для организаций, участвующих в цепях поставок автотракторного, сельскохозяйственно-го, погрузочно-транспортного, карьерного и специального машиностроения. – Введ. 01.01.2019. – Минск: Госстандарт, 2018. – 93 с.
16. СТБ В 15.004–2009. Система разработки и постановки на производство оборонной продукции. Военная техника. Системы менеджмента качества. Требования. – Введ. 01.01.2011. – Минск: Госстандарт, 2009. – 52 с.
17. СТБ 1505–2015. Системы менеджмента. Менеджмент процессов. Методы статистического управления процессами. – Введ. 01.06.2016. – Минск: Госстандарт, 2016. – 179 с.
18. СТБ 1506–2015. Системы менеджмента. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий потенциальных отказов. – Введ. 01.04.2016. – Минск: Госстандарт, 2016. – 109 с.
19. СТБ 2450–2016. Системы менеджмента. Менеджмент измерений. Анализ измерительных систем. – Введ. 01.03.2017. – Минск: Госстандарт, 2017. – 250 с.
20. СТБ 2484–2016. Системы менеджмента. Менеджмент верификации и валидации в цепи поставок. – Введ. 01.09.2017. – Минск: Госстандарт, 2017. – 137 с.

21. **Панов, А. Н.** Перспективное планирование качества продукции – основа для проектирование технологических процессов при риск-ориентированном подходе / А. Н. Панов, Ж. А. Мрочек, В. М. Пашкевич // Вестн. Белорус. Рос. ун-та. – 2021. – № 1. – С. 31–41.

*Статья сдана в редакцию 15 июня 2021 года*

**Александр Николаевич Панов**, канд. техн. наук, ООО «Юрс-Русь». E-mail: a.panov@tut.by.

**Жорж Адамович Мрочек**, д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет. E-mail: Vikt@bntu.by.

**Виктор Михайлович Пашкевич**, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. E-mail: pvm@bk.ru.

**Aleksandr Nikolayevich Panov**, PhD (Engineering), URS-Russia, LLC. E-mail: a.panov@tut.by.

**Zhorzh Adamovich Mrochek**, DSc (Engineering), Prof., Belarusian National Technical University. E-mail: Vikt@bntu.by.

**Viktor Mikhailovich Pashkevich**, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. E-mail: pvm@bk.ru.