
DOI: 10.53078/20778481_2022_1_49

УДК 629.113.001

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

МЕТОДОЛОГИЯ И МОДЕЛИ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПРОИЗВОДСТВА, ЭКСПЛУАТАЦИИ, ОБСЛУЖИВАНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ – НОВАЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

METHODOLOGY AND MODELS OF RISK-ORIENTED DESIGN, PRODUCTION, OPERATION, MAINTENANCE AND UTILIZATION AS A NEW FUNDAMENTAL SYSTEM FOR ENSURING COMPETITIVENESS OF MECHANICAL ENGINEERING

Аннотация

Разработаны методология и комплексные инновационные модели: риск-ориентированного проектирования и производства в машиностроении; оптимизации зависимостей «вероятность – ущерб» для продукции и процессов; идентификации значимости приоритета характеристик в конструкторско-технологической документации; определения приоритетных цепей причинно-следственных связей, индукции/дедукции источников отказов на основе менеджмента знаний; выбора статистических методов для верификации достижения соответствия на основе рисков; оптимальной связи значимости ущерба и вероятности событий с учетом изменения уровня знаний; оптимизации эффективности для организации в проектах и для конечного потребителя в жизненном цикле продукции на основе приоритизации характеристик и оптимизации вариаций.

Ключевые слова:

система, качество, надежность, безопасность, риски, процессы, машиностроение.

Для цитирования:

Панов, А. Н. Методология и модели риск-ориентированного проектирования, производства, эксплуатации, обслуживания и утилизации – новая фундаментальная система обеспечения конкурентоспособности машиностроения / А. Н. Панов, Ж. А. Мрочек, В. М. Пашкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 1 (74). – С. 49–63.

Abstract

Methodology and complex innovative models have been developed, such as risk-oriented design and production in mechanical engineering; optimization of probability-damage dependencies for products and processes; identification of significance of the priority of characteristics in design and technological documentation; determination of priority chains of cause-and-effect relationships, induction/deduction of failure sources based on knowledge management; selection of statistical methods for verifying compliance based on risks; an optimal relationship between the significance of damage and the probability of events, taking into account changes in the level of knowledge; optimization of efficiency in projects for the organization and in the product lifecycle for the end user, based on prioritization of characteristics and optimization of variations.

Keywords:

system, quality, reliability, safety, risks, processes, mechanical engineering.

For citation:

Panov, A. N. Methodology and models of risk-oriented design, production, operation, maintenance and utilization as a new fundamental system for ensuring competitiveness of mechanical engineering / A. N. Panov, Z. A. Mrochek, V. M. Pashkevich // The Belarusian-Russian university herald. – 2022. – № 1 (74). – P. 49–63.

Введение

Машиностроение – одна из основных отраслей промышленного комплекса гражданского и оборонного назначения высокоразвитых стран. Особое место в нем занимает создание мобильных машин (ММ), например, автомобилей, тракторов, сельскохозяйственной и карьерной техники. ММ являются, в том числе, составной частью военной и специальной техники (например, перевозящей опасные вещества), а также вооружения. ММ, с одной стороны, являются объектами технического регулирования (ОТР), т. е. на них распространяются, например, Федеральное законодательство России (ФЗ) и других стран ЕАЭС о техническом регулировании, нормировании, стандартизации и подтверждении соответствия, технические регламенты Таможенного союза (такие как ТР ТС 018), с другой – в соответствии с ФЗ и решениями Совета Безопасности Российской Федерации ММ могут выступать составной частью так называемых критически важных для национальной безопасности объектов (КВО). С учетом этого для ММ актуальны: обеспечение статической и циклической прочности, долговечности и надежности в нормальных и экстремальных условиях эксплуатации; живучесть и безопасность при возникновении существенных повреждений в случае экстремальных воздействий. Двойное назначение ММ позволяет снизить стоимость их производства, повысить качество и конкурентоспособность. Для ММ, которые одновременно являются объектами ОТР и КВО, могут стать характерными вероятности локальных, объектовых, местных, региональных и национальных катастроф от 10^1 до 10^{-2} ед./год с ущербом от 10^3 до 10^{10} р. Специальными свойствами для ММ является повышенная живучесть и защищенность от экстремальных поражений при сохранении повышенных скорости, проходимости и грузо-

подъемности.

Для ММ, как объектов ОТР, в соответствии, например, с законом о транспортной безопасности Российской Федерации, вероятности локальных и объектовых катастроф могут быть более 10 ед./год с ущербом $10^3 \dots 10^7$ р. Следует отметить, что если в настоящее время в отдельных странах Европы в ДТП ежегодно погибает порядка 0,01 %...0,02 %, травмируется свыше 0,04 % численности населения, то, по прогнозам ВОЗ, через 10 лет одной из основных причин гибели людей могут быть дорожно-транспортные происшествия на автомобильном гражданском транспорте.

Необходимо не только создавать новые типы ММ, но и как при изготовлении, так и при эксплуатации обеспечивать приемлемые риски отказов, вероятность несоответствия техническим требованиям, безопасности и защищенности от аварий и катастроф. Анализ показывает, что усложнение конструкции, технологии, производства и эксплуатации при использовании традиционных методов проектирования и изготовления будет приводить к увеличению количества отказов ММ и связанных с ними аварий и катастроф. Следует отметить, что человеко-машинные системы весьма сложные и традиционные методы оценки, например, надежности (схемной и т. п.), не являются адекватными для достижения требуемых вероятностей.

Актуальной задачей в научном и прикладном плане является разработка взаимоувязанных методологии, моделей, методов расчетов, испытаний, нормирования и обеспечения в первую очередь показателей прочности, надежности и безопасности ММ и процессов их проектирования и изготовления для обеспечения приемлемых конструкторско-технологических рисков. Сами риски определяются как связь вероятности возникновения несоответствий (отказов, аварийных и катастрофических ситуаций) и величины ущерба (экономиче-

ские последствия в связи с потерей жизни и здоровья людей, разрушением объектов ОТР, КВО, поражением окружающей среды и т. д.) на анализируемом отрезке жизненного цикла ММ.

Многокритериальное обоснование развития методологии и моделей управления рисками

Комплексный анализ теории и практики проектирования и изготовления технических и технологических систем (ТТС) для автомобильной промышленности, тракторостроения, сельскохозяйственного, погрузочно-транспортного, карьерного и специального машиностроения, принятых в странах СНГ, ЕАЭС и за рубежом, выявил системные проблемы и закономерности, не позволяющие традиционными методами и существующей инженерной практикой при создании ТТС обеспечить требуемое эффективное соотношение «цена – качество – сроки поставки» для достижения малых вероятностей (например, 40...100 ppm). Особыми проблемами являются: взаимосвязь процессов жизненного цикла ТТС; достижение установленных показателей нагруженности (прочность, ресурс, надежность, живучесть, эксплуатационная безопасность) и сопротивления повреждению; вариации и бифуркации процессов проектирования, испытаний, изготовления, контроля качества, обслуживания, эксплуатации в условиях ограниченных ресурсов у заинтересованных сторон. Причины – использование комплекса моделей, методов и средств, не адекватных концепции управления рисками и затратами, возникающими как при проектировании, так и при производстве и эксплуатации ТТС. Поэтому разработка и внедрение методологии системного исследования, планирования и обеспечения надежности и безопасности ММ из условий прочности и долговечности при оптимальных затратах на их производство и эксплуата-

цию является важнейшей научной и практической проблемой. Об актуальности темы, целей и задач для стран свидетельствует, например, ее соответствие: требованиям о внедрении риск-ориентированного подхода (Федеральные законы Российской Федерации № 172-ФЗ от 28.06.2014, № 390-ФЗ от 28.12.2010), о научно обоснованных представлениях о рисках (Указ Президента Российской Федерации № 400 от 02.07.2021), о приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники (Указ Президента Российской Федерации № 899 от 07.07.2011); Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы (Указ Президента Республики Беларусь № 292 от 29.07.2021), распоряжению Правительства Российской Федерации № 831-р «Об утверждении стратегии развития автомобильной промышленности до 2025 года» от 28.04.2018.

Документы направлены:

1) на устранение основных проблем:

– неконкурентоспособный уровень качества продукции и качества производства;

– низкая эффективность и производительность труда;

2) на создание и применение новых технологий проектирования, методик конструирования и подготовки производства для:

– сокращения сроков разработки;

– обеспечения и повышения конкурентоспособности по продукту и по себестоимости путем осуществления комплексных программ снижения себестоимости (включая design-to-cost);

3) на гармонизацию:

– требований технических регламентов, стандартов и правил с международной практикой;

– отраслевых стандартов требованиям международных стандартов, применяемых за пределами Евразийского экономического союза.

В настоящее время в мире в стандартах для машиностроительной отрасли устанавливаются требования и рекомендации, основанные на использовании фундаментально новой концепции – риск-ориентированного подхода, отраженного, например, в стратегии национальной безопасности Российской Федерации [1], в законодательстве о промышленной безопасности Российской Федерации [2, 3], а также ряде национальных и международных стандартов (ISO 31000 и др.). К наиболее значимым стандартам следует отнести определяющие взаимодействие и риски персонала при создании продукции. Это стандарты для менеджмента организаций в областях: качество (ISO 9001), надежность (IEC 60300), безопасность (ISO 45001), экология (ISO 14001), знания (ISO 30401) и т. д. Цель – эффективное создание конкурентоспособной продукции с ускоренными сроками подготовки и ведения производства машиностроительного комплекса [1–5].

Традиционная, сложившаяся как в мире, так и в СССР и СНГ, система разработки техники основана на единой системе проектирования продукции и процессов изготовления, обслуживания и ремонта, например, для предупреждения отказов и разрушений по характеристикам прочности

$$\sigma_{\max}^3 = F_{\sigma} \{Q(F, w)\} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_o}{n_{\sigma}}, \quad (1)$$

где σ_{\max}^3 – максимальные номинальные или местные напряжения; Q – расчетные нагрузки (механические, аэродинамические, электромагнитные, тепловые); F, w – размеры опасных сечений и моменты сопротивления; $[\sigma]$ – допускаемые напряжения; σ_o – опасные напряжения; n_{σ} – запасы прочности.

Система включает правила разработки и оформления документации, в том числе назначения номинальных размеров, полей допусков, влияющих на Q, F и w . Действующие технологиче-

ские нормы проектирования и производства являются основой для назначения соответствующих объемов выборки из партии продукции при проведении, например, ее статистического контроля. Следует отметить, что термин «дефект» по ГОСТ 15467 констатирует уже установленный факт несоответствия продукции установленным требованиям, критичность также рассматривается как совершенное событие.

Введение в (1) временных по τ и вероятностных по p характеристик позволяет получить параметры новой платформы риск-ориентированного подхода с определением ресурса по времени τ и числу циклов N

$$\{\tau, N\} = F_{\tau, N} \{\sigma_{\max}(\tau, N), \sigma_{on}(\tau, N)\} \quad (2)$$

и надежности по характеристикам вероятности разрушения

$$p(\tau, N) = F_p \{Q(\tau, N, p), \sigma_{on}(\tau, N, p)\}. \quad (3)$$

В целом платформа риск-ориентированного подхода (позволяющая достигать цели при общем планетарном сокращении ресурсов с фокусированием на приоритетах) в настоящее время в мире системно недостаточно подкреплена методологией связи последствий рисков с первопричинами – характеристиками продукции и процессов изготовления и эксплуатации [1–5]. Основными причинами этого являются: недостаточно развитый терминологический аппарат качества, надежности и т. п. (см. ГОСТ 16504, ГОСТ 15467, ГОСТ 22732, ISO 9000, ГОСТ 27.002–89, ГОСТ 27.002–2016 и др.), в частности, в связи с определением термина «риск» (воздействие неопределенности, см. ISO 9000); несбалансированность систем [1, 2] и целей, а также недостаточная разработанность методологий и моделей на базе риск-ориентированного подхода.

Научная гипотеза

Выдвинута гипотеза о том, что достижение максимума эффективности при приемлемом риске несоответствий при создании и применении ТТС возможно в рамках жизненного цикла ТТС на основе оптимизации нормирования и затрат на качество, надежность и безопасность путем: опережающего планирования вероятности несоответствия ТТС, процесса ее изготовления, эксплуатации, обслуживания и утилизации в зависимости от значимости последствий как критериев приемлемости риска; реализации планов для достижения вероятностей как возникновения всех причин несоответствий, так и их обнаружения при контроле до приемлемой величины, определяемых достигнутым уровнем развития науки и техники [1, 2].

Традиционно в машиностроении используются классификации, которые разделяют по значимости компоненты технической системы / изделия, например, «отказ приводит к аварии», «отказ приводит к повышенным расходам». Наиболее часто причиной отказов в эксплуатации для серийно выпускаемых изделий является необеспечение качества при производстве, что может быть оценено расчетом надежности технологического процесса по параметрам качества продукции (например, по ГОСТ 27.202) и расчетом вариации процесса тиражирования. В связи с тем, что на практике процессы проектирования, изготовления, эксплуатации, восстановления и утилизации реализуются в течение времени t , происходят значительные изменения, вариации и возникают бифуркации – на первый план выходит не столько анализ и оценка дефектности, а предупреждение и управление рисками, которые следует начинать с концептуального проектирования и продолжать на протяжении всего жизненного цикла продукции. Следует отметить, что в настоящее время накоплены базы данных и базы знаний глу-

бинных причинно-следственных связей для III–IV укладов техники, за исключением V, VI технологических укладов. Они позволяют не только идентифицировать первопричины отказов/рисков еще на стадии зарождения и формирования, но и управлять вероятностью p возникновения первопричин несоответствий как для типа продукции, так и для типа процесса тиражирования, восстановления, утилизации [1–5]. Наличие базы знаний дает возможность определить, в том числе приоритетные для последствий с позиции величины потенциального ущерба, первопричины отказов (рис. 1). На рис. 1 представлены взаимосвязанные сценарии методом индукции для идентификации на основе причинно-следственных связей следствий и взаимосвязанных рисков (ущербов с учетом значимости приоритета, а также вероятности возникновения/обнаружения). Рассматриваются цепи взаимосвязанных событий – следствий до последнего значимого для заинтересованных сторон уровня – последствия для конфигуратора (система высшего уровня для данного сценария). Достигнутый уровень знаний определяет возможные варианты следствий и последствий. При проведении анализа сценариев необходимо фокусироваться на наибольших ущербах. Указанное определяет необходимость в идентификации значимости приоритетов. Требования к вероятности возникновения/обнаружения несоответствия последствия определяет соответствующую иерархию цепей сценариев участвующих соответствующих подсистем, элементов и первопричин.

На рис. 1 представлен анализ отказа системы (продукция/процесс) как иерархии методом дедукции для идентификации причинно-следственных связей рисков. Рассматриваются система, подсистемы, элементы, первопричины несоответствий и взаимосвязанных ущербов с учетом значимости, а также вероятности их возникновения и обна-

ружения. Достигнутый уровень знаний определяет глубину поиска первопричины в ходе анализа рисков. При проведении анализа следует фокусироваться на наибольших ущербах. Все это определяет необходимость в идентификации

значимости приоритетов. Требования к вероятности возникновения/обнаружения несоответствия продукции/процессов определяют соответствующую иерархию для подсистем, элементов и первопричин.

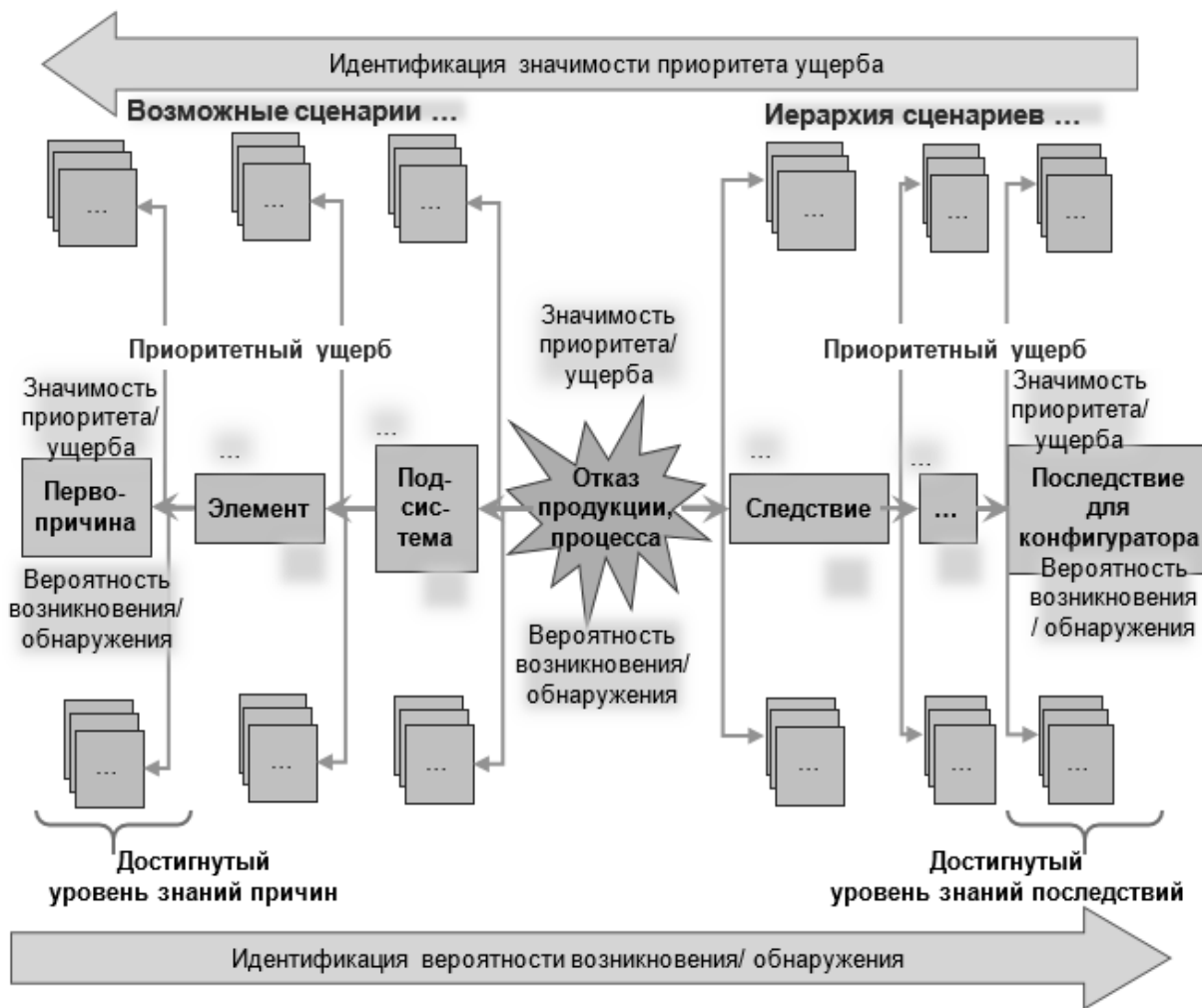


Рис. 1. Идентификация цепей причинно-следственных связей источников отказов «подсистема – элемент – первопричина» и их результатов «следствие – ... – последствие для конфигуратора» на основе менеджмента знаний. Сдвоенное дерево индукции/дедукции

Следует отметить, что ущербы отказа ММ сами по себе (простой единицы техники, травмирование или даже гибель человека) значимы, но при этом, как правило, не являются существенными для организации и ее экономической безопасности.

Отказы ММ в значительно большей степени определяют последствия для будущего проекта, в рамках которого осуществляется создание, эксплуатация, обслуживание, утилизация ММ, и даже могут быть критичны для существования организации в целом (рис. 2).

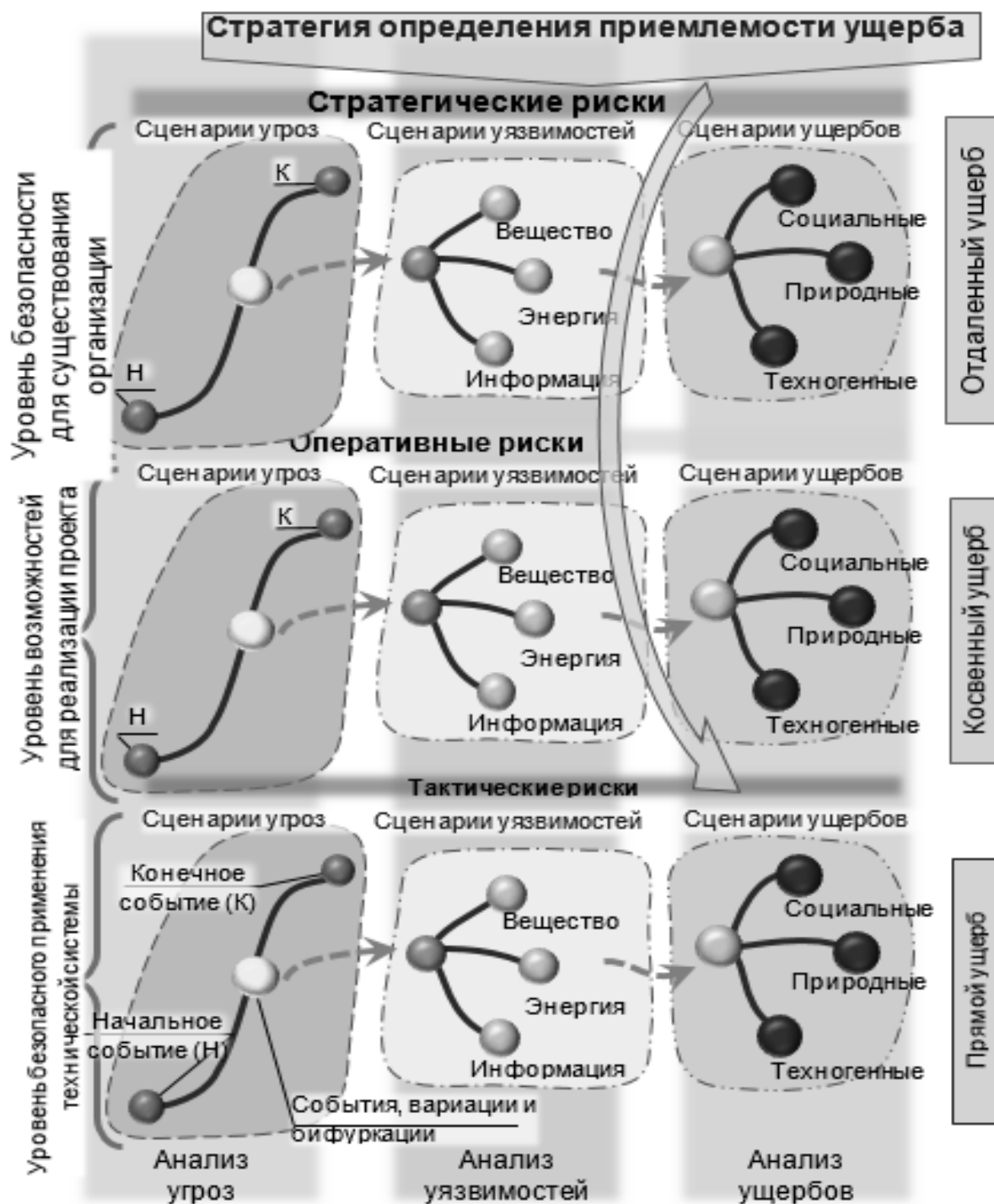


Рис. 2. Модель анализа прямых, косвенных и отдаленных рисков на основе риск-ориентированного проектно-процессного подхода

Модель анализа прямых, косвенных и отдаленных рисков представлена на рис. 2. Определены иерархии тактических, оперативных и стратегических рисков: анализа угроз в жизненных циклах продукции, проектов и органи-

зации от начального до конечного события; анализа уязвимостей – вероятность несоответствующих информации, энергии, вещества в жизненных циклах продукции, проектов и организации; анализа ущерба: техногенные,

природные и социальные в жизненных циклах продукции – прямой ущерб, проектов – косвенный ущерб и организации – отдаленный ущерб. Исходя из стратегических рисков определяется приемлемость оперативных рисков проекта и тактических рисков продукции – ММ. Последовательность расчетов ущербов определяется следующим порядком построения сценариев ущербов: тактический, оперативный и стратегический уровни. Предложены и уточнены [1–5] ряд терминов, определений и классификаций, например, приоритетность характеристик рисков: событий, вариаций, бифуркаций; ранжирования рисков: пренебрежимые, приемлемые и чрезмерные.

Совместное рассмотрение функций «качество – цена» для поставщика и потребителя позволило определить зоны оптимальности [1–5] для заинтересованных сторон при использовании риск-ориентированного подхода. Совершенствование научной базы для нормативного обоснования безопасности мобильной высокоответственной и высокорисковой техники двойного назначения, например, для колесных машин, для подвижного состава железнодорожного транспорта, а также категорирование отказов, аварий и катастроф в зависимости от последствий – потенциального ущерба – широко представлено в многотомном издании «Безопасность России» [1].

Следует отметить, что практика [4–6] управления рисками ММ серийного и массового производства без разработанной и внедренной методологической поддержки приводит к недостаточной результативности, даже при наличии фундаментальных наработок. Анализ свидетельствует, что необходимо продолжить развитие методологии и методов результативного и эффективно управления рисками на основе системной взаимосвязи категорирования последствий отказов и научно-технической базы знаний их идентифициро-

ванных первопричин.

В истории развития теории и практики машиностроения [1, 2] можно выделить базовые положения, которые используются для достижения соответствия требованиям к продукции машиностроения, среди которых наиболее значимые:

1) изменение научных основ проектирования [1–5]: детерминированное – когда определено требование по установлению в технической документации номинальной величины характеристики; вероятностное – когда для номинального значения характеристики появилось поле допуска – система качеств, а затем оценивается статистика попадания в это поле фактической величины при производстве;

2) анализ причины отказов техники и технологий осуществляется путем декомпозиции расчетов и испытаний машин и процессов их изготовления [1–5]: машина в целом, узел, деталь и далее зоны (например, концентрации) зарождения повреждений;

3) использование при анализе этапов жизненного цикла продукции соответствующих подходов: детерминированный – нагруженность в эксплуатации и процессы изготовления неизменны; вероятностный – все процессы нестабильны и им присущи вариации;

4) критерии достижения соответствия качества продукции, начиная с использования «запасов прочности», развивались далее – к планируемым и достигаемым параметрам ресурса и надежности/вероятности отказа, например, по ГОСТ 15467 и [1–5];

5) критерии безопасности и защищенности по параметрам рисков [1, 2].

Следует отметить, что решение о совершенствовании системы нормирования технических требований без методологической поддержки приводит к недостаточной результативности управления рисками в практике, хотя при этом имеются фундаментальные наработки по управлению рисками [1–5],

в том числе в машиностроении. Известен [1–3] статистический подход для достижения соответствия выхода процесса / цели потребителя, который основан на снижении вариаций процесса, измерительной системы или робастности процесса [4]. Для повышения результативности, эффективности и конкурентоспособности организаций в экономике создается научное обоснование методологии и моделей риск-ориентированного проектно-процессного подхода для нормирования рисков технических характеристик [1–4].

Разработаны [1–5] модели риск-ориентированного подхода для достижения приемлемой степени соответствия выходов процессов проектирования и изготовления целям потребителя и поставщика на основе оптимизации вариаций процессов и измерительной системы, а также достижения робастности процессов: риск-ориентированного подхода для достижения приемлемой степени соответствия выхода процесса / цели потребителя и поставщика на основе оптимизации вариаций процесса, измерительной системы, а также робастности процесса [2–5]; оптимизации эффективности для потребителя и поставщика на основе риск-ориентированного подхода для достижения приемлемой степени соответствия выхода процесса / цели потребителя и поставщика на основе оптимизации вариации процесса [2–5]. Совместное рассмотрение функций качества поставщика и потребителя [1–5] определяет зоны оптимальности. Указанные зоны являются результатом компромисса «качество – цена» при использовании риск-ориентированного подхода.

Для результативного применения риск-ориентированного подхода, в том числе риск-ориентированного проектирования, в машиностроении предложено [1–5] системно развить все четыре упомянутых базовых положения. Во-первых, введение в конструкторско-

технологической документации (наряду с полем допуска) идентификаторов значимости (приоритетности) характеристик для заинтересованных сторон. Во-вторых, проведение анализа корневой причины отказов (с учетом приоритетности) до уровня декомпозиции первопричины, определяемой актуальным на момент проектирования знанием науки, техники и технологий (см. рис. 1). В-третьих, введение риск-ориентированного подхода и осуществление анализа процессов жизненного цикла машины/продукции по сценариям угроз (события, вариации, бифуркации) для идентификации уязвимости техники, технологии и возможных ущербов (см. рис. 2). В-четвертых, установление критериев качества, надежности, безопасности: не просто обеспечение соответствия показателя типа продукции техническому заданию, а «ущерб – вероятность» недостижения соответствия типа продукции требованиям заинтересованных сторон; не вероятность попадания характеристики в поле допуска, например, при тиражировании/восстановлении/утилизации, а «достижение приемлемого риска» («ущерб – вероятность»).

Уровень неуязвимости технических систем (номинальных значений и оптимальной вариации характеристик) должен достигать уровня приемлемых рисков несоответствия требованиям заинтересованных сторон. Этого можно достичь путем управления рисками с фокусированием на коренных первопричинах (рис. 3).

Для этого в развитии существующей системы конструкторско-технологической документации предлагается ввести дополнительные группы документов: «планы управления рисками продукции и процессов» (начиная с этапа концепции и заканчивая утилизацией), а также «анализ достижения приемлемых рисков продукции и процессов» [1–4].

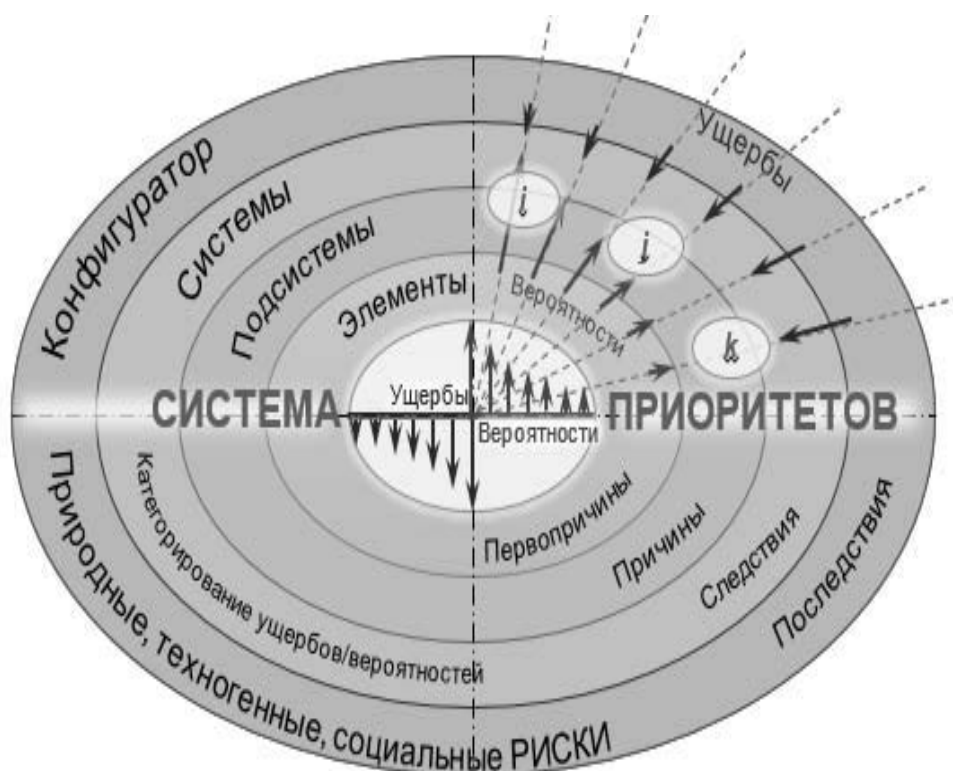


Рис. 3. Система приоритизации рисков

На основе развития приведенных парадигм обеспечения соответствия машиностроительной продукции при использовании риск-ориентированного подхода предложены [1–5]:

1) **фундаментальная пятикомпонентная модель оптимизации** зависимостей «вероятность – ущерб» – «качество – цена» – «вариация – ущерб», а также шкала «значимость приоритета – вероятность» для продукции (процесса) (рис. 4). При этом модель менеджмента рисков оптимизации зависимостей «вероятность – ущерб» развивалась начиная от двухступенчатой (соответствующая/несоответствующая продукция), через трехступенчатую (критические, значительные, незначительные дефекты), к многоступенчатой классификации;

2) **модель оптимизации выбора типа измерительной системы и ее вариации** в зависимости от ущерба. Указанное позволяет на основе идентифицированной значимости приоритета

адекватно управлять рисками измерительных систем [1–4];

3) **модель идентификации «значимости приоритета характеристики»** в конструкторско-технологической документации в дополнении к традиционным параметрам – номинальной величине и полю допуска (рис. 5). Указанное является принципиально новым при разработке конструкторско-технологической и эксплуатационной документации, что позволяет эффективным образом управлять первопричинами возникновения последствий в зависимости от приоритетов [1–4];

4) **модель идентификации приоритетных цепей причинно-следственных связей** источников отказов «подсистема – элемент – первопричина» и их результатов «следствие – промежуточные события – последствие для конфигулятора» на основе менеджмента знаний. Применение модели позволяет снизить требуемые ресурсы на разработку техники и технологий без

потери качества продукции, а также существенно сократить время выхода на рынок;

5) **матрица выбора** необходимых статистических методов, методов оценки вариации метрологических систем, видов аудитов продукции и процессов изготовления в зависимости от приоритетности характеристики для верификации приемлемости вариации для достижения целей (качества, надежности, безопасности) при тиражировании продукции [1–4];

6) **модель оптимальной связи значимости ущерба и вероятности событий с учетом изменения уровня знаний.** Указанное направлено на обеспечение адекватной оценки вариантов повышения качества, надежности и безопасности продукции, а также рисков в зависимости от используемого при проектировании технологического уклада [1–4];

7) **модель оптимизации затрат на достижение требуемых знаний.** Позволяет обосновывать и оптимизировать в рамках реализации проектов по созданию инновационной техники затраты на проведение НИР и ОК(Т)Р [1–4];

8) **модель оптимизации эффективности для организации в проектах и для конечного потребителя в жизненном цикле продукции** (рис. 6). Использование системы идентификации приоритетов в конструкторско-технологической документации и оптимизации вариации при изготовлении и восстановлении (см. рис. 1–5) позволяет снизить себестоимость продукции и эксплуатационные затраты при аналогичных технических характеристиках продукции, в том числе надежности и безопасности, что дает возможность повысить объем производства в конкурентной экономике.

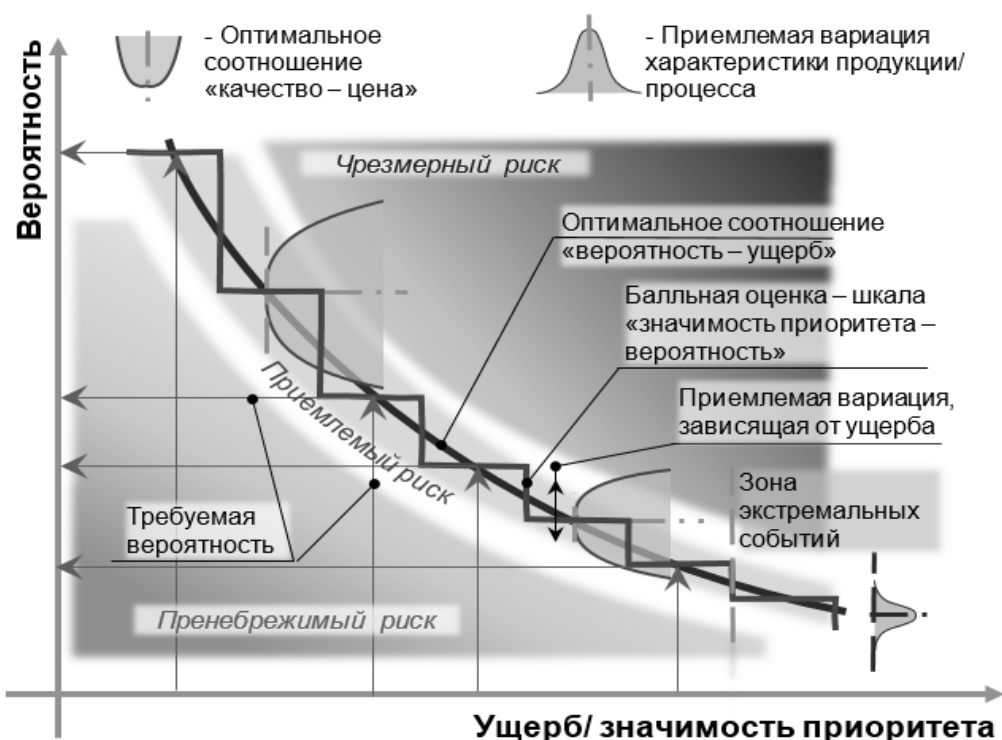


Рис. 4. Пятикомпонентная модель оптимизации зависимостей «вероятность – ущерб» – «качество – цена» – «вариация – ущерб» при риск-ориентированном подходе. Шкала «значимость приоритета – вероятность» для продукции/процесса

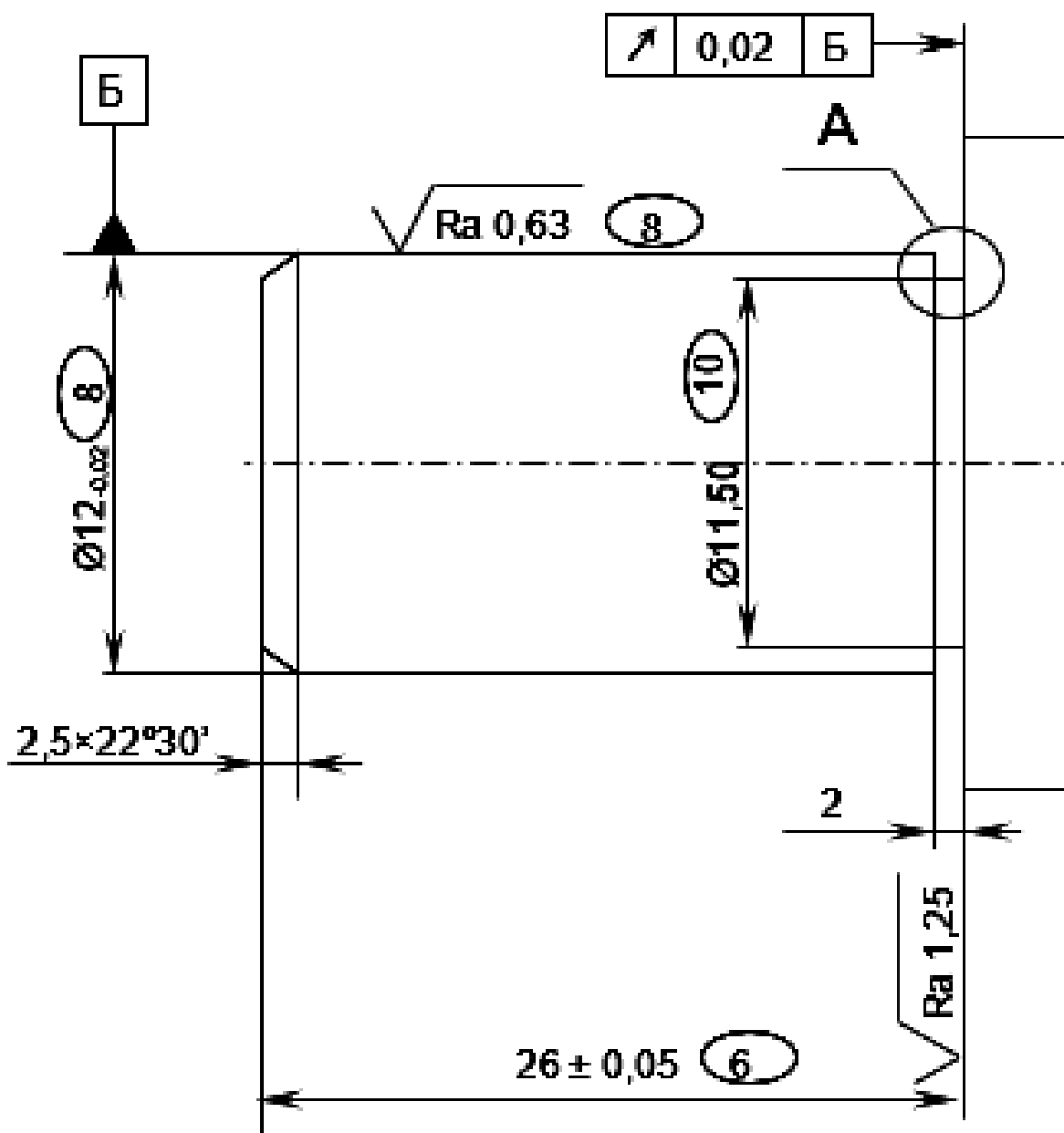


Рис. 5. Модель идентификации значимости приоритета (i) характеристик в конструкторско-технологической документации: 1 – H14, h14, $\pm IT14/2$; 2 – неуказанная значимость характеристик – (3)

Результативность деятельности организации определяется выполнением требований потребителя, а эффективность – наименьшими затратами на их выполнение. Для обеспечения удовлетворенности конечного потребителя следует повышать эффективность владения им продукцией в течение ее жизненного цикла («стоимость владения

продукции»). Для устойчивого успеха организации необходимо в рамках реализации проекта увеличить долю рынка привлечением конечного потребителя большей чем у конкурентов интегральной прибылью (разность между получаемым доходом и суммой затрат на первоначальное приобретение и эксплуатацию продукции).

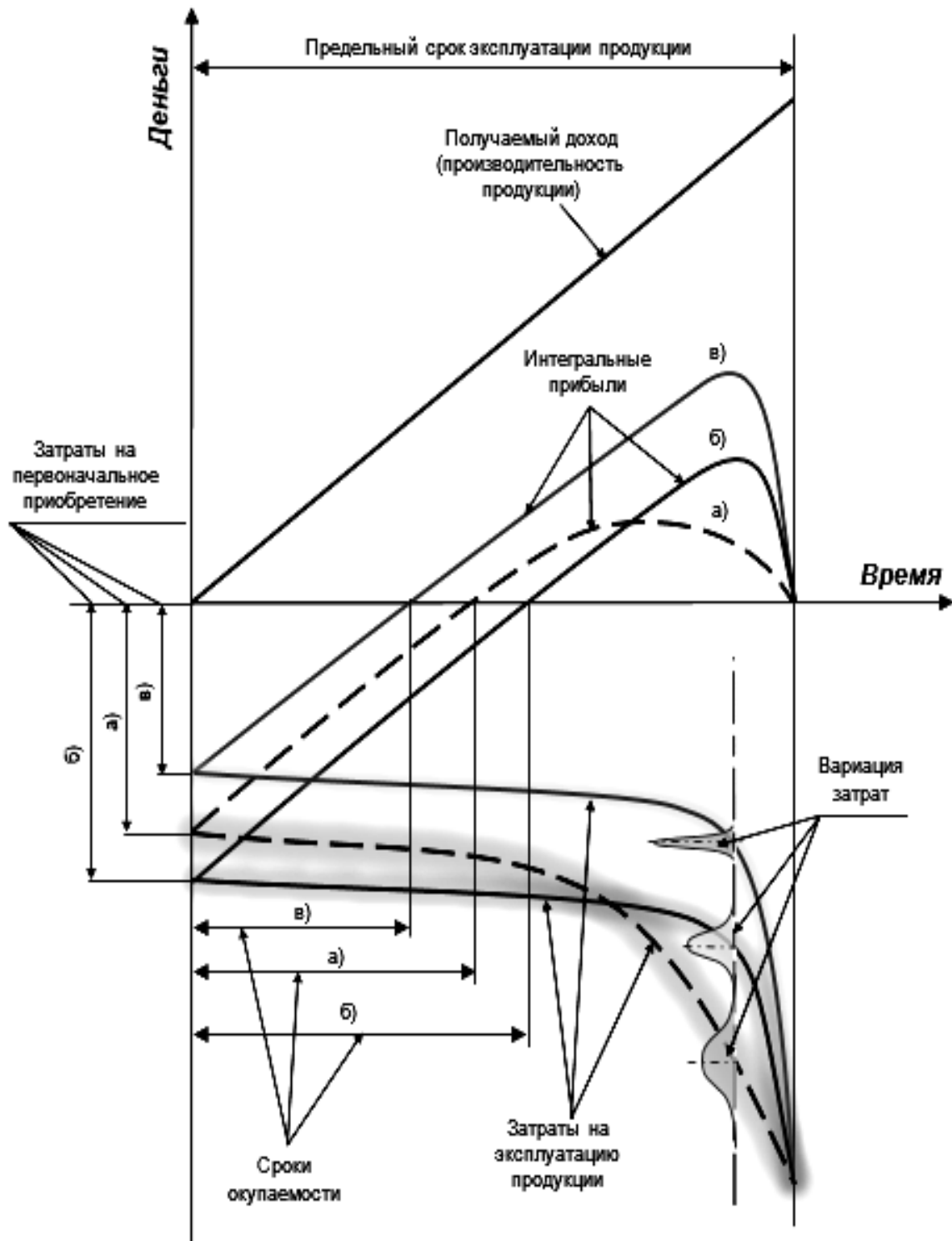


Рис. 6. Модель оптимизации эффективности для организации в проектах и для конечного потребителя в жизненном цикле продукции на основе приоритизации характеристик и оптимизации вариации при риск-ориентированном подходе: *а* – исходный /традиционный вариант приобретения; *б* – вариант приобретения на основе стратегии «качество не может быть дешево»; *в* – вариант приобретения на основе стратегии «приоритизации характеристик и оптимизации вариации»

На рис. 6 представлены возможные варианты оптимизации эффективности приобретения и использования продукции с учетом особенностей формулирования технического задания на закупку:

а) исходный/традиционный вариант выбора продукции на основе детерминированного подхода, например, с целью экономии средств;

б) вариант выбора исходя из стратегии «качество не может быть дешево», т. е. когда решение принимается на основе, например, популярности бренда и/или с установлением требований без использования вероятностного подхода;

в) вариант выбора на основе применения у организаций поставщика и пользователя стратегий «систем приоритизации характеристик и оптимизации их вариаций», т. е. при реализации в системах менеджмента организаций риск-ориентированного проектно-процессного подхода.

Примечания

1. В примере (см. рис. 6) условно рассматривается однотипная продукция, которая имеет: единые требования потребителя к получаемому доходу (производительности продукции); одинаковые технические и технологические решения для продукции и процессов изготовления; единый тип/серийность производства; одинаковый заданный предельный срок эксплуатации продукции (законодательное ограничение, экономическая целесообразность, срок обновления и др.).

2. В затраты на эксплуатацию продукции следует включать: расходные материалы, например, топливо, смазка; затраты на обслуживание, ремонт, восстановление; простои из-за невозможности эксплуатации (из-за обслуживания, ремонта и др.).

В модели оптимизации эффективности учитываются: жизненный цикл продукции, который рассматривается от приобретения до момента дальнейшей экономической нецелесообразности использования (физический и/или моральный износ); положение точек безубыточности приобретения для потре-

бителя; интегральная прибыль как критерий эффективности для организации поставщика и пользователя; варианты различия вариаций характеристик: использование допускового мышления при традиционном подходе, априори предполагая, что более дорогая продукция имеет более стабильное качество, оптимизация вариации в зависимости от приоритета.

Представленная на рис. 6 модель оптимизации эффективности для организации в проектах и для конечного потребителя в жизненном цикле продукции при ее производстве [2, 4], при прочих равных условиях позволяет получать для конечного потребителя наибольшую интегральную прибыль и увеличить доход организации-изготовителя за счет роста доли рынка. Интегральная прибыль является наибольшей при реализации изменений в процессах систем менеджмента организаций поставщиков и пользователей на основе риск-ориентированного проектно-процессного подхода.

Заключение

Разработанные методология и модели направлены на устранение основных проблем: неконкурентоспособный уровень качества продукции и качества производства; низкая эффективность и производительность труда. Методология и методы позволяют результативно и эффективно управлять рисками технических и технологических систем, проектов и организаций на основе системной взаимосвязи категорирования последствий отказов и научно-технической базы знаний их идентифицированных первопричин путем введения в конструкторско-технологическую документацию характеристики идентификаторов классификации значимости последствий. Разработанные методология и модели были применены при создании

инновационных государственных стандартов на системы менеджмента и методики достижения эффективности СТБ 16949, СТБ В 15.004, СТБ 1505,

СТБ 1506, СТБ 2450, СТБ 2484, СТБ 2582, учебных пособий [5], а также используются в практике машиностроения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Техногенная, технологическая и техносферная безопасность / Н. А. Махутов [и др.]; под общ. ред. Н. А. Махутова – Москва: Знание, 2018. – 1016 с.
2. 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. – 482 с.
3. **Панов, А. Н.** Перспективное планирование качества продукции – основа для проектирования технологических процессов при риск-ориентированном подходе / А. Н. Панов, Ж. А. Мрочек, А. М. Пашкевич // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2021. – № 1. – С. 31–41.
4. **Панов, А. Н.** Риск-ориентированное проектирование в машиностроении / А. Н. Панов // Стандарты и качество. – 2021. – № 8. – С. 106–108.
5. Технологическое обеспечение машиностроительного производства: учебное пособие / В. А. Логвин [и др.]; под ред. Ж. А. Мрочека. – Минск: РИВШ, 2021. – 560 с.: ил.

Статья сдана в редакцию 13 декабря 2021 года

Александр Николаевич Панов, канд. техн. наук, 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-Rus, Ltd. E-mail: a.panov@tut.by.

Zhorzh Adamovich Mrochek, DSc (Engineering), Prof., Belarusian National Technical University. E-mail: vikt-ipf@rambler.ru.

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