

УДК 69.113.001

А. Н. Панов¹, Ж. А. Мрочек², Д. В. Куис³, Ю. И. Суша², Е. П. Орлова²¹ООО «Юрс-Русь», Российская Федерация²Белорусский национальный технический университет³Белорусский государственный технологический университет**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРОДУКЦИИ
НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ**

В статье рассматривается актуальная проблема анализа и управления рисками в промышленности (химической, перерабатывающей, машиностроительной) для системного достижения глобальной конкурентоспособности. Рассмотрены проблемы результативности и эффективности существующих методологий и способы обеспечения оптимального соотношения «качество – цена» при проектировании, изготовлении и использовании продукции (техника, технология, эксплуатация). Риск – это массив взаимосвязей потенциальных ущербов и их вероятностей. Цель – разработка методологии рискориентированного проектирования, изготовления, эксплуатации, восстановления и последующей утилизации материалов, техники и технологий для обеспечения результативности, и эффективности деятельности в современных условиях. Предложены методология и способы управления рисками с оптимизацией затрат при создании техники и технологий повышения эффективности и конкурентоспособности производителей. На основе риск ориентированного проектно-процессного подхода разработаны: структура анализа рисков процесса; модель оптимальной связи значимости ущерба и вероятности событий с учетом изменения уровня знаний; модель оптимизации эффективности для организации производителя и для конечного потребителя в жизненном цикле продукции. Результаты проведенных исследований, апробации на практике позволили создать методическое обеспечение анализа, управления и оптимизации рисков для достижения результативности и эффективности организаций машиностроения в планетарной экономике.

Ключевые слова: риски, промышленная продукция, эффективность, события, вариация, бифурция, оптимизация, методология.

Для цитирования: Панов А. Н., Мрочек Ж. А., Куис Д. В., Суша Ю. И., Орлова Е. П. Пути повышения результативности и эффективности промышленности в глобальной экономике. Проектирование, изготовление и эксплуатация продукции на основе управления рисками // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270). С. 257–265. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-31.

A. N. Panov¹, J. A. Mrochek², D. V. Kuis³, Yu. I. Susha², K. P. Arlova²¹LLC “URS-Russia”²Belarusian National Technical University³Belarusian State Technological University**WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY AND EFFECTIVENESS
OF INDUSTRY IN THE GLOBAL ECONOMY. DESIGN, MANUFACTURE
AND OPERATION BASED ON RISK MANAGEMENT**

The article deals with the actual problem of risk analysis and management in industry (chemical, processing, mechanical engineering) for the systematic achievement of global competitiveness. The problems of effectiveness and efficiency of existing methodologies and ways to ensure an optimal quality-price ratio in the design, manufacture and use of products (equipment, technology, operation) are considered. Risk is an array of relationships between potential damages and their probabilities. The goal is to develop a methodology for risk-oriented design, manufacture, operation, restoration, and subsequent disposal of materials, equipment and technologies to ensure the effectiveness and efficiency of activities in modern conditions. The methodology and methods of risk management with cost optimization in the creation of equipment and technologies, improving the efficiency and competitiveness of manufacturers are proposed. Based on the risk-oriented project-process approach, the following: the structure of the process risk analysis; the model of the optimal relationship between the significance of damage and the probability of events, taking into account changes in the level of knowledge; the model of efficiency optimization for

the manufacturer's organization and for the end user in the product lifecycle. The results of the conducted research and testing in practice allowed us to create methodological support for the analysis, management and optimization of risks to achieve the effectiveness and efficiency of mechanical engineering organizations in the planetary economy.

Keywords: risks, industrial products, efficiency, events, variation, bifurcation, optimization, methodology.

For citation: Panov A. N., Mrochek J. A., Kuis D. V., Susha Yu. I., Arlova K. P. Ways to improve the efficiency and effectiveness of industry in the global economy. Design, manufacture and operation based on risk management. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 2 (270), pp. 257–265. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-31 (In Russian).

Введение. Актуальной задачей современности [1–18] является повышение результативности (степень достижения запланированных целей) и эффективности (связь между результативностью и затраченными ресурсами). Определения терминов «результативность» и «эффективность» представлены согласно словарю ISO 9000. Это в полной мере относится к комплексам химических, керамических, стекольных, металлургических производств, итогом которых является получение материала в массе и объеме (волокна, ткани, профили, листы и т. д.). Несоответствия характеристик (дефектность, вариации свойств) материалов являются первоисточниками отказов продукции машиностроения. Следует отметить, что поскольку техника эксплуатируется в экстремальных условиях, таких как значительные колебания природных явлений (температура, влажность и т. п.) и кратковременные пиковые нагрузки, а также некоторые виды машин (например, сельхозтехника, оборудование для регионов крайнего Севера) используются в течение весьма короткого срока, то материальные последствия отказов объектов машиностроения из-за зарождения повреждений в применяемых материалах весьма значительны.

В глобальной экономике (в которой в настоящее время функционируют значимые для отраслей экономики организации) конкурирующие производители при создании, изготовлении и использовании материалов, техники и технологий пользуются практически единими интеллектуальными и материальными ресурсами. К ресурсам следует отнести как аналогичные материалы и оборудование, традиционные методологии и методики проектирования, изготовления и использования [1–9], так и технических специалистов, подготовленных на аналогичном (базовом) уровне учебных заведений. Следовательно, остается не так уж много шансов на успех у организаций, расположенных в странах, не имеющих фундаментального конкурентного преимущества – мощной ресурсной базы, а также достаточно емкого внутреннего рынка для потребления материалов и техники. Для обеспечения конкурентоспособности производителей материалов и машиностроительных организаций стран с указанными ограничениями основным ресурсом может являться

применение при проектировании, изготовлении и использовании техники современных методологий и способов управления рисками как при проектировании, подготовке производства, изготовлении, эксплуатации, восстановлении, так и утилизации материалов и изношенной техники [1–8]. В статье под термином «риск» понимается и предусматривается широко используемое (ISO 9000) определение – *воздействие неопределенности*. Иными словами, предполагается, что риск – это массив взаимосвязей потенциальных ущербов и их вероятностей.

Цель – разработка методологии рискоориентированного проектирования, изготовления, эксплуатации, восстановления и последующей утилизации материалов, техники и технологий для обеспечения результативности и эффективности деятельности в современных условиях.

Основная часть. В статье рассмотрены причины несоответствия (качества, надежности, целей производства, эффективности и т. д.) техники, выявленных в процессе ее подготовки и серийного производства. Традиционно критерием достижения качества продукции при проектировании и апробации технологических процессов предусматривается приемлемый процент брака [7–9]. Общепринято, что для одобрения технологического процесса, например в машиностроении, необходима проверка опытной партии продукции, оценка статистических результатов и достижение вероятности соответствия 99,7% [7–9]. Традиционно считается, что достижением соответствия продукции при контроле качества изготовления при серийном производстве является расположение полученной i -той величины характеристики в поле допуска показателя (размера и т. д.). Функция качества – это «контуры прямоугольного корыта» – стенками которого являются границы поля допуска (называют «допусковым мышлением»). Следует отметить, что указанное требование по оценке вероятности несоответствий на практике часто не выполняется, даже при изготовлении опытной партии продукции. Требования потребителей изменились [1–6] – основным критерием качества продукции уже не являются, хотя еще часто используются, особенно для бухгалтерского учета, результаты, полученные при

приемочном контроле (процент брака/дефектность), а также информация об отказах их эксплуатации (рис. 1).

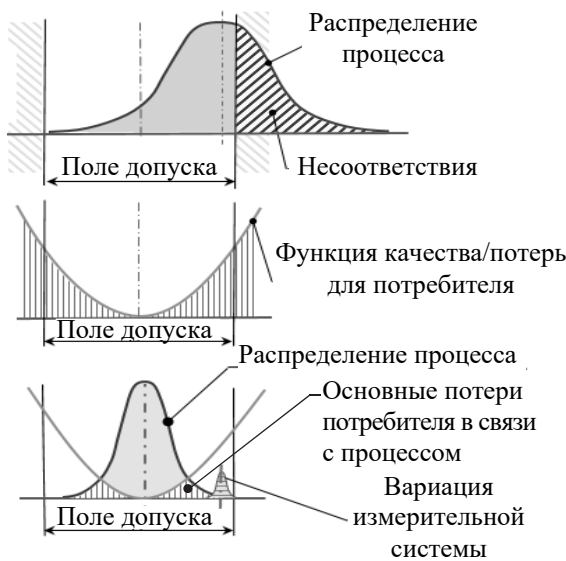


Рис. 1. Вероятностный подход к достижению соответствия процесса на основе оптимизации вариаций процесса тиражирования

В настоящее время при тиражировании продукции устанавливаются цели по качеству, такие как требуемая вероятность несоответствия продукции 50 ppm, 3 MIS IPTV 0,5 [1–9]. Требуемая вероятность соответствия должна быть на 3–5 порядков больше по сравнению с широко используемым подходом [7, 8]. Достичь указанной вероятности традиционными, классическими способами проектирования, апробации техники и технологии [8, 9] не представляется возможным. К причинам можно отнести то, что традиционное проектирование основывается на детерминированном подходе, например предполагается, что достаточно декларировать (при выборе/закупке оборудования) класс точности станка и вероятность соответствия будет достигнута. Считается, что достаточно осуществить оценку готовности производства один раз при изготовлении опытной партии, предполагая, что технологические, производственные процессы и объекты, участвующие в них (оборудование, инфраструктура, персонал и т. д.), практически неизменны в течение времени серийного производства, и это позволяет стабильно достигать соответствия продукции. В действительности, например, система СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь) на практике не является неизменной в течение времени (из-за деградации, внезапных отказов оборудования и т. д.), также не стабильны и поставщики материалов и комплектующих, что не позволяет с требуемой вероятностью достигать соответствия продукции качеству, которое было

оценено в момент ее постановки на производство. Фактически, указанным процессам, например той же системе СПИД, присущи риски событий, вариаций и бифуркаций [1–6]. В свою очередь, процессы обеспечения соответствия производства, например обслуживания и подготовки оборудования, оснастки, инструмента, средств измерения, подготовки помещений и кадров, с течением длительного времени также изменяются и им присущи риски недостижения целей. Примером может являться проверка оборудования на технологическую точность после ремонта – как иллюстрация допускового мышления. Соответственно, первоначальная (по окончании подготовки производства) оценка надежности/точности (ГОСТ 27.202–88) технологического процесса становится недостоверной во времени. Достижение упомянутых вероятностей несоответствия (например, 3 ppm для производства шин) – существенно удорожает производство. Возникает *фундаментальная проблема* (каким же образом выполнить противоречивые требования) – обеспечить малые вероятности несоответствия, традиционно описываемые параболической зависимостью (рис. 1), для достижения оптимального соотношения «цена – качество», в процессах жизненного цикла организации, при выполнении проектов. Угрозы неблагоприятных событий, избыточных вариаций и бифуркаций [1–6] не позволяют обеспечить экономически целесообразный объем рынка для продаж. Установлено, что для объективного измерения характеристик продукции, целью по качеству для которых являются малые вероятности (такие, как ppm 50), следует создавать иную, а не использовать традиционную измерительную систему (рис. 1), адекватную распределению характеристик процесса. Указанное не может быть достигнуто традиционным метрологическим обеспечением производства (например, выбором средств измерений по ГОСТ 8.050–73 или ГОСТ 8.051–81 и их периодической поверкой).

В то же время необходимо различать чрезмерные, приемлемые и пренебрежимые риски, которые могут возникать при реализации процессов деятельности (рис. 2). Целью управления рисками и, соответственно, оптимальным решением является установление процессов организации-производителя, а также процессов использования техники в зоне приемлемых рисков. Указанное замечание является новой планетарной парадигмой результативного и эффективного создания и использования техники [1–6].

Установлено, что решение задачи повышения результативности и эффективности возможно путем анализа, оптимизации и управления рисками воздействия на процесс и его результаты (например, реализация проекта по созданию производства).



Рис. 2. Случайные процессы человеческой деятельности и области пренебрежимых, приемлемых и чрезмерных рисков несоответствия (вещество, энергия, информация) и уязвимостей (природная, техногенная и социальная среды)

Для этого случая методология и способы должны позволять организации в заданных ограничениях достигать поставленных целей с приемлемыми рисками (рис. 2) [1–9]. Предложено [2] анализ рисков событий, вариаций и бифуркаций осуществлять (рис. 3) по трем этапам для сценариев угроз, уязвимостей и ущерба.

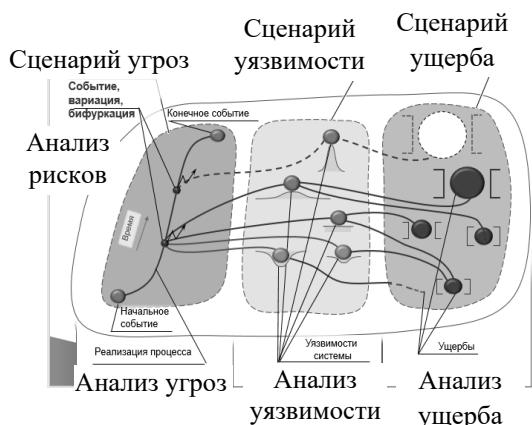


Рис. 3. Представление структуры анализа рисков процесса на основе рискориентированного проектно-процессного подхода

Установлено, что процессы организации, например, такие как постановка на производство материалов, техники и принятие конструкторско-технологических решений, следует определять на базе методологии рискориентированного проектно-процессного подхода [2–6] и основывать на построении соответствующих сценариев рисков для достижения приемлемых ущербов.

Известно, что результативность и эффективность сложных систем, таких как материалы, машины и технологии, может существенно повыситься путем использования высших технологических укладов [2]. Создание такой продукции требует инновационного, системного подхода и

методов управления производством для достижения приемлемой вероятности несоответствия (отказы, невыполнение характеристик и т. д.). В настоящее время продукция, например, со встроенным программным обеспечением и безлюдными технологиями требуют новой культуры проектирования, изготовления и эксплуатации наряду с необходимостью изменения законодательства, а также сопровождаются новыми видами и сценариями угроз и уязвимостей.

Организации – лидеры производства материалов и техники широко внедряют и используют встроенные программные средства [1–9], а организации-производители в СНГ теряют конкурентное преимущество из-за этого фактора. Использование программного обеспечения является не только способом повышения эффективности, но и фактором уязвимости продукции и возможных рисков: событий, вариаций и бифуркаций (рис. 3). Соответственно, необходимы новые методики управления взаимосвязанными рисками: материалов, техники, программного обеспечения [2].

Анализ [2] показывает, что методология управления рисками стартовала от точечной однокритериальной оценки (вероятность – «годная» и «несоответствующая продукция») и поэтапно развивалась до стратегии приоритизации в виде гиперболической зависимости «вероятность – ущерб» [1–9]. Зависимость, позволяющая оптимизировать затраты на достижение соответствия, описывается функцией, близкой к гиперболической. Характеристики техники, которые значительно влияют на достижение целей заинтересованных сторон (потребителя и т. д.), должны достигаться с большой вероятностью, а малозначимые характеристики, соответственно, могут и с меньшей. В этом случае можно оптимизировать затраты при создании типа технического объекта в условиях компромиссов (рис. 4).

Для процессов тиражирования продукции целями в области управления рисками является приемлемость вариации тиражирования – изменяющаяся по ширине область вдоль гиперболы (рис. 4). Вариация для значимых ущербов при тиражировании должна быть существенно меньше, чем для менее приоритетных характеристик. Таким образом, при рискориентированном подходе достигается оптимальное соотношение «качество – цена» (рис. 1). Семейство гипербол [2] (рис. 4) идентифицирует уровень (например, определяемый технологическим укладом) технического решения и, соответственно, исходя из целей и заданного уровня приемлемости ущерба (рис. 3, 4), определяется выбор технического решения при проектировании. Зона экстремальных ущербов (рис. 4) определяет область особого внимания на редкие события (нештатные ситуации: проектные, запроектные и гипотетические аварии) [1–6],

которые характерны как для производства, так и при использовании техники.

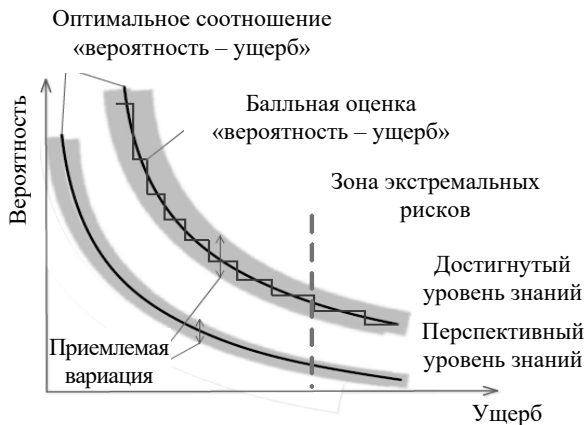


Рис. 4. Модель оптимальной связи значимости ущерба и вероятности событий с учетом изменения уровня знаний при использовании риск ориентированного подхода

На практике при проектировании для удобства нелинейную гиперболическую функцию обратной аппроксимацией преобразуют в ступенчатую балльную шкалу (рис. 4). В дополнение к номинальному значению и полю допуска шкала приоритетов позволяет ввести в конструкторско-технологическую документацию идентификатор значимости последствий несоответствий (балл значимости в овале) [6]. Можно эффективно управлять созданием, изготовлением и использованием техники на основе научно-технических знаний причинно-следственных связей: последствия отказа техники; отказ техники; причина; первопричина; источник отказа.

Предложенная модель (рис. 4) позволяет гармонизировать критерии для достижения соответствия установленным требованиям по качеству, надежности и безопасности сложных технических систем и принимать адекватные рискам решения в жизненном цикле продукции. Например, обосновывать критерии финансирования научных исследований, опытно-конструкторских, опытно-технологических работ, выбора оборудования, поставщиков материалов, деталей, комплектующих.

На практике, при реализации риск ориентированного мышления, актуальнейшей является проблема оптимизации затрат [1–9], поскольку наряду с традиционными затратами на испытание, контроль и неизбежными потерями возникает новая ресурсная составляющая – затраты на управление рисками. Предложена соответствующая трехкомпонентная гиперболическая модель [3–5], позволяющая решать на практике требуемую задачу. Модель позволяет достигать минимальной величины в себестоимости продукции оптимальным соотношением трех компонентов

затрат: мониторинг достижения соответствия; компенсация из-за несоответствий; управление рисками.

В этом случае решается задача потребителя машиностроительной продукции – получить максимальную интегральную прибыль и разницу между получаемым доходом при использовании продукции и затратами на ее приобретение, эксплуатацию и утилизацию («стоимость владения»). Следует поставлять продукцию, которая будет иметь как конкурентоспособные цену/себестоимость, что определяет первоначальные затраты на приобретение, так и приемлемую для потребителя «стоимость владения». В свою очередь, за счет увеличения объема продаж производитель получит больший доход. Таким образом, для устойчивого успеха организации-производителю следует увеличить долю рынка путем привлечения большего количества потребителей и увеличения по сравнению с конкурентами интегральной прибыли – разности между получаемым доходом и суммой затрат на первоначальное приобретение и эксплуатацию продукции. В этой ситуации могут возникнуть противоречия, которые кажутся непреодолимыми.

Поэтому следует рассмотреть возможные варианты оптимизации одновременного обеспечения эффективности как для потребителя, так и производителя. Для простоты рассмотрим случай производства однотипной продукции (рис. 5).

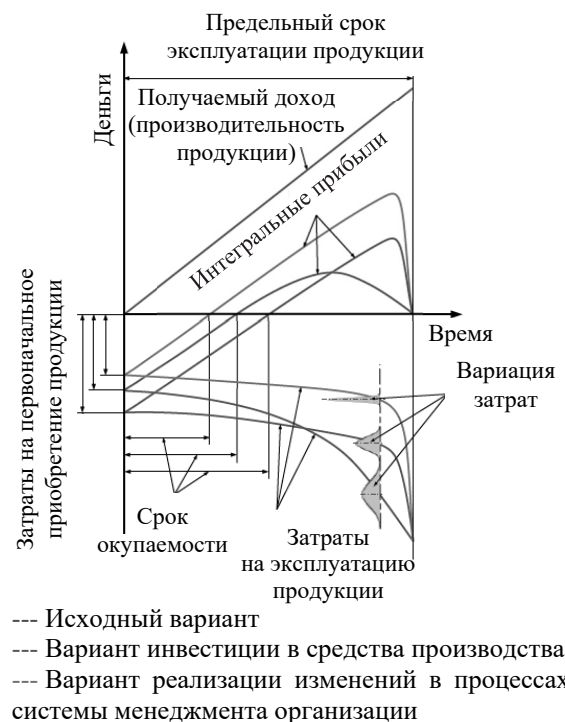


Рис. 5. Модель оптимизации эффективности использования техники для организации-производителя и конечного потребителя в жизненном цикле продукции

К однотипной относится продукция, если установлены единые требования потребителя к получаемому доходу (производительность техники); одинаковые технические и технологические решения для конструкции и процессов изготовления; единый тип/серийность производства; одинаковый предельный срок эксплуатации техники (законодательное ограничение, экономическая целесообразность, моральный срок обновления и др.). При этом в затраты на эксплуатацию техники следует включать: расходные материалы, топливо, смазку; затраты на обслуживание, ремонт и восстановление; простои из-за невозможности эксплуатации (из-за обслуживания, ремонта и др.).

Проанализируем варианты стратегии обеспечения результативности и эффективности для заинтересованных сторон – производителя и пользователя при создании и использовании техники (рис. 5):

– «исходный вариант» – использование методологии «допускового мышления» и способов традиционной разработки и постановки продукции на производство;

– «вариант инвестиции в средства производства» – использование методологии «допускового мышления», способов традиционной разработки и постановки продукции на производство. Для повышения качества продукции предусмотрено использование оборудования (средств производства), более совершенного, соответственно, по большей цене. В результате ожидается, что продукция при производстве получится лучшего качества;

– «реализация изменений в процессах системы менеджмента организации» – использование в жизненном цикле продукции от маркетинга до утилизации рискориентированного проектно-процессного подхода [1–18].

Анализ показывает, что за счет использования рискориентированного подхода, т. е. управления по приоритетам на основе сценариев угроз, уязвимостей, ущербов (рис. 3), при создании типа материала/конструкции и соответствующем управлении вариацией тиражирования (рис. 4), а также применении технологических укладов/уровней знаний [2] (рис. 4) появляется возможность создания продукции с меньшими затратами, обеспечивающей большие интегральные прибыли для потребителя. Соответственно, этот подход позволит увеличить доход производителя путем роста объема востребованной продукции (рис. 5).

В развитии определений терминов, существующих в нормативных документах ISO/IEC Guide 2:2004 ISO 9000, ГОСТ 27.002–89, впервые предложено создать пригодные рискориентированному подходу фракталы: «стандарт»,

«стандартизация», «качество» и «надежность». Для этого сформулированы фундаментальные, глобальные изменения определений терминов:

– стандарт – документ, обеспечивающий оптимальным образом упорядоченную повторяющуюся деятельность и ее результаты для достижения приемлемых рисков заинтересованными сторонами;

– стандартизация – деятельность, направленная на оптимальную упорядоченность процессов и их результатов для достижения приемлемых рисков заинтересованными сторонами;

– качество – степень соответствия набора присущих характеристик объекта требованиям, достигнутая при приемлемом риске для заинтересованных сторон в жизненном цикле объекта;

– надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования при приемлемом риске для заинтересованных сторон в жизненном цикле объекта.

При этом в конструкторско-технологической документации кроме номинальной величины и поля допуска устанавливается приоритетность характеристики. Т. е. в технической документации возле каждой характеристики (геометрической, свойств материалов и т. д.) определяется символ значимости последствий несоответствий из-за указанной характеристики для заинтересованных сторон. Например, записывается в геометрическом овале балл значимости последствий от 1 до 10 (наибольший интегральный ущерб в случае отказа техники). Таким образом, в рамках жизненного цикла техники (начиная от установления требований, проектирования и заканчивая утилизацией) можно результативно и эффективно управлять вероятностью достижения соответствия характеристик в зависимости от идентифицированного риска.

Указанное позволяет получать соответствующие аттракторы для достижения рискориентированного соответствия требованиям продукции, процессов и добиваться конкурентоспособной экономической эффективности в планетарной экономике.

Разработанные [1–9] методология и модели использованы при создании инновационных государственных стандартов для производства материалов и техники, в СТБ 16949, СТБ 2298, СТБ В15.004 и методики достижения результативности и эффективности на основе управления рисками в цепях поставок СТБ 1505, СТБ 1506, СТБ 2450, СТБ 2484, СТБ 2582.

Заключение. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Существующая традиционная методология и способы создания и использования материалов и техники не позволяют достигать малых вероятностей ее несоответствия (отказов) и обеспечивать конкурентоспособность для производителя – себестоимостью, а для потребителя – «стоимостью ее владения».

2. Установлено, что организации промышленности, расположенные в странах, не обладающих большим ресурсным потенциалом и внутренним спросом, практически не могут выжить в глобальной планетарной конкуренции при использовании допускового либо вероятностного подходов при создании промышленной продукции. Поэтому одним из эффективных инновационных путей повышения результативности и эффективности машиностроения страны является

использование рискориентированного проектно-процессного подхода.

3. Результаты проведенных исследований, апробации на практике позволили создать методическое обеспечение анализа, управления и оптимизации рисков для достижения результативности и эффективности организаций в планетарной экономике.

4. Результаты использованы при разработке государственных и межгосударственных стандартов на продукцию и методов обеспечения качества, надежности и безопасности материалов, технологий и техники на основе управления рисками для применения в промышленности; при подготовке кадров; при реализации проектов по созданию новых производств, а также при совершенствовании деятельности организаций-производителей материалов и техники для обеспечения конкурентоспособности на планетарных рынках.

Список литературы

1. Основы системы менеджмента качества машиностроительного предприятия / В. И. Арбузов [и др.]. Минск: Технопринт, 2000. 280 с.
2. Махутов Н. А., Панов А. Н. Безопасность России. Правовые, социально-экономические научно-технические аспекты. Техногенная, технологическая и техносферная безопасность. М.: Знание, 2018. 1016 с.
3. Панов А. Н. Как победить в конкурентной борьбе. Гармоничная система качества – основа эффективного менеджмента организации. М.: Стандарты и качество, 2003. 272 с.
4. Горбачевич М. И., Панов А. Н., Минюкович С. М. Проектирование транспортных средств: нагруженность, повреждение, ресурс: монография. Минск: Технопринт, 2005. 264 с.
5. Технологическое обеспечение машиностроительного производства: учеб. пособие / Ж. А. Мрочек [и др.]. Минск: РИВШ, 2021. 560 с.
6. Панов А. Н. Риск-ориентированное проектирование в машиностроении // Стандарты и качество. 2021. № 8. С. 106–108.
7. Решетов Д. Н., Иванов А. С., Фадеев В. В. Надежность машин: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1988. 238 с.
8. Проников А. С. Параметрическая надежность машин. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 520 с.
9. Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. Т. 7. Качество и надежность в производстве / под ред. И. В. Апполонова. М.: Машиностроение, 1989. 280 с.
10. Махутов Н. А., Панов А. Н. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности. М.: Знание, 2015. 936 с.
11. Осмола И. И., Шкадрцов И. В. Научно-методические основы проектирования. Системное обеспечение приемлемых рисков в автотракторосельхозмашиностроении: монография / А. Н. Панов [и др.]. Минск: БГАТУ, 2009. 482 с.
12. Математические модели и методики обеспечения приемлемых рисков информационно-измерительных и управляющих систем транзитных газопроводов / В. В. Алексеев [и др.]. СПб.: ЛЭТИ, 2016. 160 с.
13. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А. М. Дальского [и др.]. М.: Машиностроение, 2001. 912 с.
14. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / под ред. А. М. Дальского [и др.]. М.: Машиностроение, 2001. 944 с.
15. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учеб. для вузов. М.: Машиностроение. 1986. 352 с.
16. Машиностроение: энциклопедия. В 40 т. Т. IV-3. Надежность машин / под ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 2001. 592 с.
17. Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. Т. 8. Эксплуатация и ремонт / под ред. В. И. Кузнецова, Е. Ю. Барзиловича. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
18. Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. Т. 10. Справочные данные по условиям эксплуатации и характеристикам надежности / под ред. В. И. Кузнецова. М.: Машиностроение, 1990. 336 с.

References

1. Arbuzov V. I., Mrochek J. A., Panov A. N., Harton V. L. *Osnovy sistemy menedzhmenta kachestva mashinostroitel'nogo predpriyatiya* [Fundamentals of the quality management system of a machine-building enterprise]. Minsk, Technoprint Publ., 2000. 280 p. (In Russian).
2. Makhutov N. A., Panov A. N. *Pravovyye, sotsial'no-ekonomicheskiye nauchno-tekhnicheskiye aspekty. Tekhnogennaya, tekhnologicheskaya i tekhnosfernaya bezopasnost'* [Security of Russia. Legal, socio-economic scientific and technical aspects. Technogenic, technological and technosphere safety]. Moscow, Znaniye Publ., 2018, 1016 p. (In Russian).
3. Panov A. N. *Kak pobedit' v konkurentnoy bor'be. Garmonichnaya sistema kachestva – osnova effektivnogo menedzhmenta organizatsii* [How to win in a competitive struggle. A harmonious quality system is the basis of an organization's effective management]. Moscow, Standarty i kachestvo Publ., 2003. 272 p. (In Russian).
4. Gorbatshevich M. I., Panov A. N., Minyukovich S. M. *Proyektirovaniye transportnykh sredstv: nagruzhenost', povrezhdeniye, resurs* [Vehicle design: loading, damage, resource]. Minsk, Technoprint Publ., 2005. 264 p. (In Russian).
5. Logvin V. A., Mrochek J. A., Bankovskaya E. V., Sheptunov S. A., Panov A. N. *Tekhnologicheskoye obespecheniye mashinostroitel'nogo proizvodstva* [Technological support of machine-building production]. Minsk, RIVSH Publ., 2021. 560 p. (In Russian).
6. Panov A. N. Risk-oriented design in mechanical engineering. *Standarty i kachestvo* [Standards and quality], 2021, no. 8, pp. 106–108 (In Russian).
7. Reshetov D. N., Ivanov A. S., Fadeev V. V. *Nadezhnost' mashin* [Reliability of machines]. Moscow, Higher School Publ., 1988. 238 p. (In Russian).
8. Pronikov A. S. *Parametricheskaya nadezhnost' mashin* [Parametric reliability of machines]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2002. 520 p. (In Russian).
9. *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike. V 10 tomakh. Tom 7. Kachestvo i nadezhnost' v proizvodstve* [Reliability and efficiency in engineering. In 10 vol. Vol. 7. Quality and reliability in production]. Edit. by I. V. Appolonov. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1989. 280 p. (In Russian).
10. Makhutov N. A., Panov A. N. *Bezopasnost' Rossii. Pravovyye, sotsial'no-ekonomicheskiye i nauchno-tekhnicheskiye aspekty. Nauchnyye osnovy tekhnogennoy bezopasnosti* [Security of Russia. Legal, socio-economic, scientific and technical aspects. Scientific foundations of technogenic safety]. Moscow, Znaniye Publ., 2015. 936 p. (In Russian).
11. Osmola I. I., Shkadretsov I. V. *Nauchno-metodicheskiye osnovy proyektirovaniya. Sistemnoye obespecheniye priyemlykh riskov v avtotraktorosel'khomashinostroyenii* [Scientific and methodological foundations of design. System support of acceptable risks in automotive agricultural machinery]. Minsk, BGATU Publ., 2009. 482 p. (In Russian).
12. Alekseev V. V., Gavrilenko S. I., Panov A. N., Stolyarov V. E. *Matematicheskiye modeli i metodiki obespecheniya priyemlykh riskov informatsionno-izmeritel'nykh i upravlyayushchikh sistem tranzitnykh gazoprovodov* [Mathematical models and methods for ensuring acceptable risks of information-measuring and control systems of transit gas pipelines]. St. Petersburg, LETI Publ., 2016. 160 p. (In Russian).
13. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya. V 2 tomakh. Tom 1* [Handbook of a machine-building technologist. In 2 vol. Vol. 1]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2001. 912 p. (In Russian).
14. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya. V 2 tomakh. Tom 2* [Handbook of a machine-building technologist. In 2 vol. Vol. 2]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2001. 944 p. (In Russian).
15. Yakushev A. I. *Vzaimozamenyayemost', standartizatsiya i tekhnicheskiye izmereniya* [Interchangeability, standardization and technical measurements]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1986. 352 p. (In Russian).
16. *Nadezhnost' mashin. V 40 tomakh. Tom IV-3* [Reliability of machines. In 40 vol. Vol. IV-3]. Edit. by V. V. Klyuev. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2001. 592 p. (In Russian).
17. *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike. V 10 tomakh. Tom 8. Ekspluatatsiya i remont* [Reliability and efficiency in engineering. In 10 vol. Vol. 8. Operation i remont]. Edit. by V. I. Kuznetsov, E. Y. Barzilovich. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1989. 320 p. (In Russian).
18. *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike. V 10 tomakh. Tom 10. Spravochnyye dannyye po usloviyam ekspluatatsii i kharakteristikam nadezhnosti* [Reliability and efficiency in engineering. In 10 vol. Vol. 10. Reference data on operating conditions and reliability characteristics]. Edit. by V. I. Kuznetsov. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1990. 336 p. (In Russian).

Информация об авторах

Панов Александр Николаевич – кандидат технических наук, главный эксперт ООО «Юрс-Русь» (199106, г. Санкт Петербург, 22-я линия Васильевского острова, 3/1-421, Российская Федерация). E-mail: a.panov@tut.by

Мрочек Жорж Адамович – доктор технических наук, профессор кафедры «Вакуумная и компрессорная техника». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, Республика Беларусь). E-mail: vikt@bntu.by

Куис Дмитрий Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой материаловедения и проектирования технических систем. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dmitrykuis@mail.ru

Суша Юлия Ивановна – специалист кафедры «Вакуумная и компрессорная техника». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, Республика Беларусь). E-mail: Susha@bntu.by

Орлова Екатерина Петровна – старший преподаватель кафедры «Вакуумная и компрессорная техника». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, Республика Беларусь). E-mail: orlova_e@tut.by

Information about the authors

Panov Alexander Nikolaevich – PhD (Engineering), Chief Expert of LLC “URS-Rusia” (3/1-421, 22nd line of Vasilyevsky Island, 199106, St. Petersburg, Russian Federation). E-mail: a.panov@tut.by

Mrochek Jorj Adamowicz – DSc (Engineering), Professor, the Department “Vacuum and Compression Technology”. Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vikt@bntu.by

Kuis Dmitry Valerievich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Material Science and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dmitrykuis@mail.ru

Susha Yulia Ivanovna – specialist, the Department “Vacuum and Compression Technology”. Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Susha@bntu.by

Orlova Katerina Petrovna – senior lecturer the Department “Vacuum and Compression Technology”. Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: orlova_e@tut.by

Поступила 16.03.2023