

Обзор стандартизованных риск-ориентированных методов и моделей для обеспечения гарантий качества системы

А. И. Костокрызов

ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Российская Федерация

Адрес: 119333, Российская Федерация, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44-2

Akostogr@gmail.com

Аннотация

В обзоре внимание сосредоточено на процессе гарантии качества, широко применимом в рамках создания, эксплуатации, модернизации и развития различного рода систем для обеспечения и подтверждения их качества. Примерами могут служить системы, создаваемые и функционирующие в интересах органов государственной власти и корпораций, энергетических, финансово-экономических, страховых и промышленных структур, топливно-энергетического комплекса, авиационно-космической отрасли, служб по чрезвычайным ситуациям, жилищно-коммунального хозяйства и пр. Рассматриваемый процесс гарантии качества является одним из 30 стандартизованных процессов в жизненном цикле систем по ISO/IEC/IEEE 15288 «Systems and software engineering – System life cycle processes» и ГОСТ Р 57193 «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем» (охвачены процессы соглашения, организационного обеспечения проекта, технического управления и технические процессы). В обзоре описан непосредственно сам процесс гарантии качества, определена роль риск-ориентированных методов и моделей. Представлены возможности вероятностного анализа риска для выбора упреждающих мер противодействия угрозам, дана характеристика количественных показателей и типовых методов и моделей для прогнозирования рисков, а также задач для обеспечения гарантий качества. При этом риск определен как сочетание вероятности нанесения ущерба и тяжести этого ущерба для системы. Изложенные в обзоре идеи доведены до уровня реализации в ГОСТ Р 59994-2022 «Системная инженерия. Системный анализ процесса гарантии качества для системы».

Ключевые слова: качество, модель, риск, система, системная инженерия

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Костокрызов А. И. Обзор стандартизованных риск-ориентированных методов и моделей для обеспечения гарантий качества системы // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2022. Т. 18, № 3. С. 483-495. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202203.483-495>

© Костокрызов А. И., 2022



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



The Review of Standardized Risk-Oriented Methods and Models to Ensure the Quality Assurance of the System

A. I. Kostogryzov

Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Address: 44 Vavilov St., building 2, Moscow 119333, Russian Federation

Akostogr@gmail.com

Abstract

The review focuses on the quality assurance process, which is widely used in the design, operation, modernization and development of various types of quality assurance and confirmation systems. Examples are systems created and functioning in the interests of public authorities and corporations, energy, financial and economic, insurance and industrial structures, the fuel and energy complex, the aerospace industry, emergency services, housing and communal services, etc. The quality assurance process under consideration is one of 30 standardized processes in the systems life cycle according to ISO/IEC/IEEE 15288 "Systems and software engineering – System life cycle processes" and GOST R 57193 "System and software engineering. System life cycle processes" (processes of agreement, organizational support of the project, technical management and technical processes are covered). The review describes the very quality assurance process, defines the role of risk-based methods and models. The possibilities of probabilistic risk analysis for the selection of preventive measures to counter threats are presented, the characteristics of quantitative indicators and typical methods and models for predicting risks, as well as tasks for ensuring quality assurance are given. The risk is defined as a combination of the probability of damage and the severity of the damage to the system. The ideas outlined in the review are brought to the level of implementation in GOST R 59994-2022 "System Engineering. System analysis of the quality assurance process for the system".

Keywords: model, quality, risk, system, system engineering

Conflict of interests: The author declares no conflict of interest.

For citation: Kostogryzov A.I. The Review of Standardized Risk-Oriented Methods and Models to Ensure the Quality Assurance of the System. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2022;18(3):483-495. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202203.483-495>



1. Введение

Настоящая работа посвящена обзору стандартизованных риск-ориентированных методов и моделей для исследования процессов системной инженерии и решения прикладных задач, связанных с обеспечением гарантий качества систем различного назначения¹ [1-22]. Система согласно ISO/IEC/IEEE 15288 и его российскому аналогу – национальному стандарту ГОСТ Р 57193 «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем» – определена как комбинация взаимодействующих элементов, упорядоченная для достижения одной или нескольких поставленных целей². Примерами рассматриваемых систем могут служить системы, создаваемые и функционирующие в интересах органов государственной власти и корпораций, энергетических, финансово-экономических, страховых и промышленных структур, топливно-энергетического комплекса, авиационно-космической отрасли, служб по чрезвычайным ситуациям, жилищно-коммунального хозяйства и пр. В свою очередь охватываемые в обзоре процессы определены в упомянутом стандарте системной инженерии ГОСТ Р 57193.

В общем случае решение задач системной инженерии осуществляется с использованием количественных показателей, методов и моделей с учетом рекомендаций стандартов, рассматриваемых в настоящем обзоре, а также ГОСТ ИЕС 61508-3, ГОСТ Р ИСО 2859-1, ГОСТ Р ИСО 2859-3, ГОСТ Р ИСО 3534-1, ГОСТ Р ИСО 3534-2, ГОСТ Р ИСО 7870-1, ГОСТ Р ИСО 7870-2, ГОСТ Р ИСО 9001, ГОСТ Р ИСО 13379-1, ГОСТ Р ИСО 13381-1, ГОСТ Р ИСО 14258, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15026, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15026-4, ГОСТ Р ИСО/МЭК 16085, ГОСТ Р ИСО 17359, ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002, ГОСТ Р ИСО 31000, ГОСТ Р 50779.41, ГОСТ Р 50779.70, ГОСТ Р 51901.1, ГОСТ Р 51901.5, ГОСТ Р 51901.16, ГОСТ Р 54124, ГОСТ Р 58771, ГОСТ Р 59343, ГОСТ Р МЭК 61069-2, ГОСТ Р МЭК 61069-4, ГОСТ Р МЭК 61069-5, ГОСТ Р МЭК 61069-6, ГОСТ Р МЭК 61069-7, ГОСТ Р МЭК 61069-8, ГОСТ Р МЭК 61508-5, ГОСТ Р МЭК 61508-7, ГОСТ Р МЭК 62264-1, ГОСТ Р МЭК 62508.

В обзоре внимание сосредоточено на широко применимом

процессе гарантии качества для системы. Этот процесс является одним из 30 стандартизованных процессов в жизненном цикле систем по ISO/IEC/IEEE 15288 и ГОСТ Р 57193. Этот процесс применим ко всем процессам системной инженерии, в том числе непосредственно к себе самому, он нередко входит в состав работ, выполняемых в рамках других стандартизованных процессов, а также при необходимости включает в себя другие процессы³.

Структурно настоящий обзор предусматривает описание непосредственно самого процесса гарантии качества для системы и роли в системной инженерии риск-ориентированных методов и моделей, представление возможности вероятностного анализа риска для выбора упреждающих мер противодействия угрозам, характеристику количественных показателей и типовых методов и моделей для прогнозирования рисков, а также задач для обеспечения гарантий качества различного рода систем.

2. Описание процесса гарантии качества для системы

Организации используют процесс гарантии качества для системы в рамках создания, эксплуатации, модернизации и развития системы для обеспечения и подтверждения ее качества. В общем случае основными выходными результатами процесса гарантии качества для системы являются результаты оценки продукции, услуг и процессов, совместимые с политикой, процедурами и требованиями к качеству системы. Согласно ГОСТ Р 57193 и ГОСТ Р 59994-2022 «Системная инженерия. Системный анализ процесса гарантии качества для системы» для получения выходных результатов выполняют следующие основные действия:

а) подготовку к выполнению процесса, включая определение стратегии в обеспечении гарантии качества, в т.ч. распределение обязанностей, ответственности, подотчетности и полномочий, обеспечение действий применительно к каждому из процессов жизненного цикла, к привлекаемым поставщикам

¹ Костогрызов А. И., Петухов А. В., Щербина А. М. Основы оценки, обеспечения и повышения качества выходной информации в АСУ организационного типа. М. : Изд. Вооружение. Политика. Конверсия, 1994. 278 с.; Костогрызов А. И., Липаев В. В. Сертификация функционирования автоматизированных информационных систем. М. : Изд. Вооружение. Политика. Конверсия, 1996. 280 с.; Безкоровайный М. М., Костогрызов А. И., Львов В. М. Инструментально-моделирующий комплекс для оценки качества функционирования информационных систем КОК. 150 задач анализа и синтеза и примеров их решения. М. : Изд. Вооружение. Политика. Конверсия, 2002. 304 с.; Костогрызов А. И., Нистратов Г. А. Стандартизация, математическое моделирование, рациональное управление и сертификация в области системной и программной инженерии. М. : Вооружение. Политика. Конверсия, 2005. 395 с.; Костогрызов А. И., Степанов П. В. Инновационное управление качеством и рисками в жизненном цикле систем. М. : Изд. Вооружение. Политика. Конверсия, 2008. 404 с.; Безопасность России : правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности / Н. В. Абросимов, А. И. Агеев, В. В. Адушкин и др. ; под ред. Махутова Н. А.]. М. : Знание, 2015. 936 с.; Безопасность России : правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты : [техногенная, технологическая и техносферная безопасность / Абросимов Н. В., Агеев А. И., Адамов Е. О. и др. ; под ред. Махутова Н. А.]. М. : Знание, 2018. 1015 с.

² Под системной инженерией понимается сосредоточение научно-технических усилий на том, как рациональным образом построить и эффективно эксплуатировать различные искусственно создаваемые системы. Перспективная системная инженерия должна поддерживаться междисциплинарной теоретической основой, методами и инструментариями исследований, основанными на моделях, позволяющих лучше понимать все более сложные системы и решения, принимаемые в условиях неопределенности.

Под риском понимается сочетание вероятности нанесения ущерба и тяжести этого ущерба (по ГОСТ Р 51898–2002 «Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты», пункт 3.20).

³ К стандартизованным отнесены следующие 30 процессов системной инженерии:

- процессы соглашения и поставки продукции и услуг для системы;
- процессы организационного обеспечения проекта: управления инфраструктурой, управления моделью жизненного цикла системы, портфелем проектов, человеческими ресурсами, качеством, знаниями;
- процессы технического управления: планирования проекта, оценки и контроля проекта, управления решениями, управления рисками, управления конфигурацией, управления информацией, измерений и гарантии качества;
- технические процессы: анализа бизнеса или назначения, определения потребностей и требований заинтересованной стороны, определения системных требований, определения архитектуры, определения проекта, системного анализа, реализации, комплексирования, верификации, передачи системы, аттестации, функционирования, сопровождения, изъятия и списания системы.



продукции и/или услуг, к процессам оценки и контроля, измерений, верификации, аттестации, к проведению инспекций и испытаний, определение количественных показателей оценки и критериев принятия качества системы;

б) выполнение количественных оценок качества, включая оценку качества самой системы, поставляемых и/или производимых продукции и/или услуг для определения соответствия установленным критериям, условиям контрактов, стандартов и инструкций, оценку процессов соглашения, организационного обеспечения проекта, процессов технического управления и технических процессов, а также оценку инструментариев и эксплуатационной среды;

в) документирование для обеспечения гарантии качества, включая разработку отчетов, связанных с действиями по обеспечению гарантии качества, обеспечение сопровождения, сохранности и санкционированного распространения отчетности, определение инцидентов и задач, связанных с оценками качества системы, продукции, услуг и задействованных процессов;

г) реагирование на инциденты, включая регистрацию, анализ и классификацию инцидентов и задач, принятие соответствующих мер реагирования по инцидентам, определение и анализ тенденций, информирование заинтересованных сторон, отслеживание инцидентов и задач до их полного разрешения.

3. О роли риск-ориентированных методов и моделей

В общем случае риск-ориентированный подход применяется для обеспечения и повышения гарантий достижимости требуемого качества системы. Содержательной основой применения подхода в жизненном цикле систем для прогнозирования рисков и обоснования эффективных предупреждающих мер по снижению этих рисков или их удержанию в допустимых пределах являются вероятностные методы и модели. В этом – их научно-практическая роль.

Согласно ГОСТ Р 59994 основными целями применения риск-ориентированных методов и моделей для обеспечения гарантий качества системы являются:

- прогнозирование рисков, связанных с критичными сущностями рассматриваемой системы и характеризующих ее качество, интерпретация и анализ приемлемости получаемых результатов, включая сравнение достигаемых или прогнозируемых значений показателей с допустимым уровнем на предмет выполнения задаваемых ограничений;
- определение с использованием моделирования существенных угроз и условий, способных при том или ином развитии событий в жизненном цикле негативно повлиять на качество рассматриваемой системы (и/или ее элементов);
- определение и обоснование с использованием моделирования в жизненном цикле системы упреждающих мер противодействия угрозам и условий, обеспечивающих желаемые свойства качества рассматриваемой системы (и/или ее элементов) при задаваемых ограничениях в задаваемый период прогноза;
- обоснование с использованием моделирования предложений по обеспечению и повышению качества рассматриваемой системы (и/или ее элементов), включая совершенствование непосредственно самого системного анализа процесса гарантии качества для системы.

4. Возможности вероятностного анализа риска для выбора упреждающих мер противодействия угрозам

Применение вероятностных методов и моделей позволяет построить функцию распределения (ФР) времени до нарушения качества системы и ее критичных элементов [22] (при этом понятие «нарушения качества» должно быть определено в терминах учитываемых показателей, характеризующих качество). Ориентируясь на построенную ФР, учитывающей характеристики угроз, функции контроля качества и восстановления приемлемого качества после нарушений или обнаружения признаков возможных нарушений (например – с помощью моделей [15-18]), возможно извлечение знаний, позволяющих:

- рассчитать реальную зависимость вероятности нарушения качества системы и составных подсистем от характеристик разнородных угроз и предпринимаемых мер противодействия угрозам;

- оценить точность прогнозирования по сравнению с упрощенной экспоненциальной аппроксимацией ФР, учитывающей лишь частоту нарушений;

- определить период эффективного функционирования, в течение которого нарушений качества не ожидается (по критерию неперевышения допустимых рисков) – для определения упреждающих противодействий угрозам за время, не превосходящее данного периода;

- выделить зоны прогнозных периодов времени, когда возможны нарушения требований допустимого риска – для определения упреждающих противодействий угрозам или обоснованное уточнение риска для этих зон (в т.ч. избегание рисков или смягчение требований из-за неизбежного резкого возрастания рисков в пределах, признанных приемлемыми);

- сравнить периоды эффективного функционирования, в течение которого нарушений качества системы не ожидается (по критерию неперевышения допустимых рисков) с соответствующими периодами при экспоненциальной аппроксимации ФР. Кроме того, оказывается возможным извлечение дополнительных знаний – см., например, [1], [14-20], [22]:

- расчет средней наработки на нарушение качества и, как обратную к ней величину – частоту нарушений качества системы и составных элементов в условиях задаваемых разнородных угроз и предпринимаемых мер противодействия угрозам;
- сравнение средней наработки на нарушение качества или частоты нарушений качества системы со средней наработкой или частотой нарушений качества при упрощенной экспоненциальной аппроксимации ФР.

Построение и оперирование более адекватной ФР позволяет выявить и познать какие-либо закономерности в ожидаемом поведении систем и выработать логичные решения. Именно поэтому использование вероятностных подходов является актуальным для решения задач системного анализа (помимо измерений специальных показателей, связанных с критичными сущностями рассматриваемой системы), см. также ГОСТ Р 59994.



5. О количественных показателях рисков, методах, моделях и методиках для обеспечения гарантий качества

Для прогнозирования рисков, связанных с реализацией системных процессов, и обоснования эффективных предупреждающих действий по снижению этих рисков или их удержанию в допустимых пределах используют устанавливаемые качественные и количественные показатели.

Качественные показатели для оценки рисков обуславливают необходимостью выполнения конкретных требований, задаваемых на вербальном уровне в техническом задании на систему и иных нормативно-правовых документах. Например, ряд качественных показателей в области обеспечения информационной безопасности определен в ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности».

Требования к количественным показателям в процессе гарантии качества для системы должны учитывать:

- критичные сущности рассматриваемых системных процессов, системы (и/или ее элементов) и/или проекта, характеризующие качество системы;
- требования заинтересованных сторон, выходные результаты и выполняемые действия процесса гарантии качества для системы;
- потенциальные угрозы качеству системы (включая угрозы для выходных результатов и выполняемых действий), а также

возможные сценарии возникновения и развития этих угроз;

- практическую интерпретацию оцениваемых специальных показателей и вероятностных результатов прогнозирования рисков при планировании и реализации системных процессов, возможные предупреждающие меры по снижению рисков или их удержанию в допустимых пределах;

- способы дальнейшего использования результатов оценки специальных показателей и прогнозирования рисков;
- методы использования результатов для решения практических задач системной инженерии.

На практике при выполнении системных процессов помимо специальных показателей качества (например, показателей температуры, давления, производительности оборудования системы) используются показатели рисков, такие, как:

- риск нарушения надежности реализации рассматриваемого системного процесса как такового (для любого из рассматриваемых процессов соглашения, процессов организационного обеспечения проекта, процессов технического управления и технических процессов);
- риск нарушения рассматриваемого системного процесса с учетом дополнительных специфических системных требований;
- интегральный риск нарушения качества системы в течение задаваемого периода прогноза [23, 24, 25].

Примеры рекомендуемых показателей рисков, ссылки на типовые методы и модели, ограничения на допустимые риски и перечни методик для решения задач системной инженерии отражены в таблице.

Т а б л и ц а 1. Ссылки на рекомендуемые показатели рисков, типовые методы и модели, ограничения на допустимые риски, перечни методик для решения задач системной инженерии

Table 1. Links to recommended risk indicators, typical methods and models, restrictions on acceptable risks, lists of methods for solving system engineering problems

Системный процесс	Вероятностные показатели риска	Ссылки на типовые модели, методы, допустимые риски и перечень системных методик на их основе
Процессы приобретения и поставки продукции и услуг для системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59329–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д
Процесс управления моделью жизненного цикла системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - обобщенный риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (в том числе на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59330–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д ГОСТ Р 59992–2022, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение ; перечень методик – приложение



Системный процесс	Вероятностные показатели риска	Ссылки на типовые модели, методы, допустимые риски и перечень системных методик на их основе
Процесс управления инфраструктурой системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - обобщенный риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (в том числе на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59331–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е ГОСТ Р 59993–2022, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д
Процесс управления портфелем проектов	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59332–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д
Процесс управления человеческими ресурсами системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59333–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е
Процесс управления качеством системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - обобщенный риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (в том числе на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59334–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д; ГОСТ Р 59989–2022, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д
Процесс управления знаниями о системе	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59335–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е
Процесс планирования проекта	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59336–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д
Процесс оценки и контроля проекта	- для системных процессов риски по ГОСТ Р 59337–2021, 6.3 (с учетом дополнительных специфических системных требований на примере требований по защите информации) и ГОСТ Р 59990–2022, 6.3	ГОСТ Р 59337–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д, ГОСТ Р 59990–2022, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д



Системный процесс	Вероятностные показатели риска	Ссылки на типовые модели, методы, допустимые риски и перечень системных методик на их основе
Процесс управления решениями	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59338–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е
Процесс управления рисками для системы	- для системных процессов риски по ГОСТ Р 59339–2021, 6.3 (с учетом дополнительных специфических системных требований на примере требований по защите информации); - интегральные риски нарушения качества системы в сценарных условиях комбинации используемых системных процессов в течение задаваемого периода прогноза по ГОСТ Р 59991–2022, 6.3	ГОСТ Р 59339–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е; ГОСТ Р 59991–2022, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е
Процесс управления конфигурацией системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59340–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д
Процесс управления информацией системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примерах требований к надежности и своевременности представления, полноты и достоверности выходной информации, требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примерах требований к надежности и своевременности представления, полноты и достоверности выходной информации, требований по защите информации)	ГОСТ Р 59341–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е
Процесс измерений системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59342–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е
Процесс гарантии качества для системы	по ГОСТ Р 59994–2022, п. 6.3	ГОСТ Р 59343–2021 методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е ГОСТ Р 59994–2022 методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д
Процесс анализа бизнеса или назначения системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59344–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д



Системный процесс	Вероятностные показатели риска	Ссылки на типовые модели, методы, допустимые риски и перечень системных методик на их основе
Процесс определения потребностей и требований заинтересованной стороны для системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59345–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е
Процесс определения системных требований (на примере требований по защите информации)	- частные показатели риска реализации угроз безопасности информации, направленных на нарушение функционирования системы, в условиях отсутствия мер защиты, предлагаемых к применению в ходе формирования системных требований, и в условиях их применения (показатели остаточного риска); - частные показатели риска реализации угроз утечки конфиденциальной информации в условиях отсутствия мер защиты, предлагаемых к применению в ходе формирования системных требований, и в условиях их применения (показатели остаточного риска нарушения требований по защите конфиденциальной информации); - интегральные показатели риска реализации угроз, направленных на нарушение функционирования системы в течение ее жизненного цикла, в условиях отсутствия и применения мер защиты, предлагаемых в ходе формирования системных требований	ГОСТ Р 59346–2021, методы, модели - приложения В, Д; допустимые риски – приложения Е; перечень методик – приложение Ж
Процесс определения архитектуры системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59347–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е
Процесс определения проекта	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59348–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Д
Процесс системного анализа	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59349–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е
Процесс реализации системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59350–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д
Процесс комплексирования системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59351–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д



Системный процесс	Вероятностные показатели риска	Ссылки на типовые модели, методы, допустимые риски и перечень системных методик на их основе
Процесс верификации системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59352–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д
Процесс передачи системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59353–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д
Процесс аттестации системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59354–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д
Процесс функционирования системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59355–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е
Процесс сопровождения системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59356–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Д; перечень методик – приложение Е
Процесс изъятия и списания системы	- риск нарушения надежности реализации процесса как такового (без учета дополнительных требований); - риск нарушения дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации); - риск нарушения реализации процесса с учетом дополнительных специфических системных требований (на примере требований по защите информации)	ГОСТ Р 59357–2021, методы, модели - приложение В; допустимые риски – приложение Г; перечень методик – приложение Д

Методический подход к прогнозированию интегрального риска нарушения качества системы в сценарных условиях комбинации используемых системных процессов в течение задаваемого периода прогноза приведен в ГОСТ Р 59991–2022 «Системная инженерия. Системный анализ процесса управления рисками для системы», В.4 приложения В. Интегральная вероятность сохранения качества системы в сценарных условиях комбинации используемых системных процессов в течение задаваемого периода прогноза вычисляется как допол-

нение до единицы вероятностного значения интегрального риска нарушения качества системы.

Примером практического подхода к прогнозированию рисков служит ГОСТ Р 58494-2019 «Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система дистанционного контроля опасных производственных объектов», в котором положения системной инженерии адаптированы к системам дистанционного контроля промышленной безопасности в опасном производстве⁴.

⁴ Другие возможные показатели, модели, методы и рекомендации по оценке рисков см. в ГОСТ ИЕС 61508-3, ГОСТ Р ИСО 13379-1, ГОСТ Р ИСО 13381-1, ГОСТ Р ИСО 17359, ГОСТ Р 51901.1, ГОСТ Р 51901.7, ГОСТ Р 51901.16, ГОСТ Р 54124, ГОСТ Р 58494, ГОСТ Р 58771, ГОСТ Р МЭК 61069-1 – ГОСТ Р МЭК 61069-8, ГОСТ Р МЭК 61508-1, ГОСТ Р МЭК 61508-2, ГОСТ Р МЭК 61508-5 – ГОСТ Р МЭК 61508-7.

Примеры прогнозирования рисков и решения задач системного анализа, связанные с некоторыми гарантиями качества для системы, приведены в ГОСТ Р 59331, ГОСТ Р 59333, ГОСТ Р 59335, ГОСТ Р 59338, ГОСТ Р 59341, ГОСТ Р 59345, ГОСТ Р 59346, ГОСТ Р 59347, ГОСТ Р 59356.



6. Примеры задач для обеспечения гарантий качества системы

Задачи для обеспечения гарантий качества системы, при решении которых используются риск-ориентированные методы и модели, условно могут быть сгруппированы по критериям оценки и обоснования допустимых значений показателей, определения существенных угроз и условий, поддержки принятия решений в системной инженерии и совершенствования непосредственно самого системного анализа процесса.

Примерами первой группы задач выступают задачи оценки специальных показателей, связанных с критичными свойствами рассматриваемой системы, характеризующими ее качество. Оценки осуществляются для предотвращения ущерба и уменьшения размеров возможных негативных последствий. К таким задачам могут быть отнесены:

- задачи обработки и контроля данных о состоянии качества системы;

- построение деревьев событий, связанных с нарушением качества, прогнозированием технического состояния и выработкой планов обеспечения качества и безопасности (см., например ГОСТ ИЕС 61508-3, ГОСТ Р ИСО 7870-1, ГОСТ Р ИСО 7870-2, ГОСТ Р ИСО 9001, ГОСТ Р ИСО 13381-1, ГОСТ Р ИСО 17359, ГОСТ Р 56939, ГОСТ Р 57272.1, ГОСТ Р МЭК 61508-1, ГОСТ Р МЭК 61508-2, ГОСТ Р МЭК 61508-6, ГОСТ Р МЭК 61508-7);

- задачи оценки прямых и косвенных экономических, экологических и социальных ущербов из-за нарушения реализации процесса управления качеством системы.

Вторую группу задач, при решении которых используются вероятностные методы, образуют задачи обоснования допустимых значений специальных показателей, связанных с критичными сущностями рассматриваемой системы, и допустимых рисков, например, допустимых рисков по показателям надежности (см, например ГОСТ Р ИСО 13379-1, ГОСТ Р 51901.1, ГОСТ Р 51901.5, ГОСТ Р 51901.7, ГОСТ Р МЭК 61069-5).

К третьей группе могут быть отнесены задачи определения существенных угроз и условий для обеспечения качества рассматриваемой системы с использованием специальных показателей и прогнозируемых рисков. Примерами таких задач могут быть [22]:

- задачи определения существенных факторов опасности – например, природных и человеческого факторов, факторов, связанных с новыми технологиями и несовершенством применяемых технологий;

- задачи анализа рисков нарушения качества для сложных конструкций, включая декомпозицию конструкции на составляющие элементы, детализацию и обобщение информации с учетом ее неполноты и недостоверности, выбор критериев риска, диагностика и моделирование применения конструкции во времени с учетом случайных факторов в среде эксплуатации (в нагрузках, механических воздействиях, прочности и дефектности материалов, напряженности, деформируемости и трещиностойкости как для отдельных элементов, так и для конструкции в целом), а также интерпретацию получаемых результатов диагностики и моделирования;

- задачи системной инженерии при проектировании, испытаниях и эксплуатации системы по показателям «эффектив-

ность – стоимость».

К четвертой группе задач, при решении которых используются вероятностные методы, может быть отнесен комплекс задач поддержки принятия решений в системной инженерии (в части обеспечения качества системы в ее жизненном цикле). Примерами могут служить задачи обоснования требований к приемлемым условиям и мерам противодействия угрозам качеству системы по какому-либо из критериев оптимизации:

- задачи обоснования требований к приемлемым условиям и мерам противодействия угрозам качеству системы по критерию минимизации обобщенного риска нарушения реализации процесса управления качеством моделируемой системы с учетом дополнительных специфических системных требований в течение года при ограничениях на ресурсы, затраты и допустимые риски реализации отдельных существенных угроз, а также при иных корректных ограничениях;

- задачи обоснования требований к приемлемым условиям и мерам противодействия угрозам качеству системы по критерию минимизации общих затрат на реализацию кратко-, средне- и/или долгосрочных планов технического обслуживания системы при ограничениях на допустимый риск нарушения реализации процесса управления качеством моделируемой системы с учетом дополнительных специфических системных требований, а также при иных корректных ограничениях;

- комбинации перечисленных выше или иных оптимизационных задач применительно к системе или ее отдельным элементам.

Наконец, пятую группу образуют вспомогательные задачи системного анализа, включающие задачи совершенствования непосредственно самого системного анализа процесса управления качеством системы. К таким задачам относятся, например:

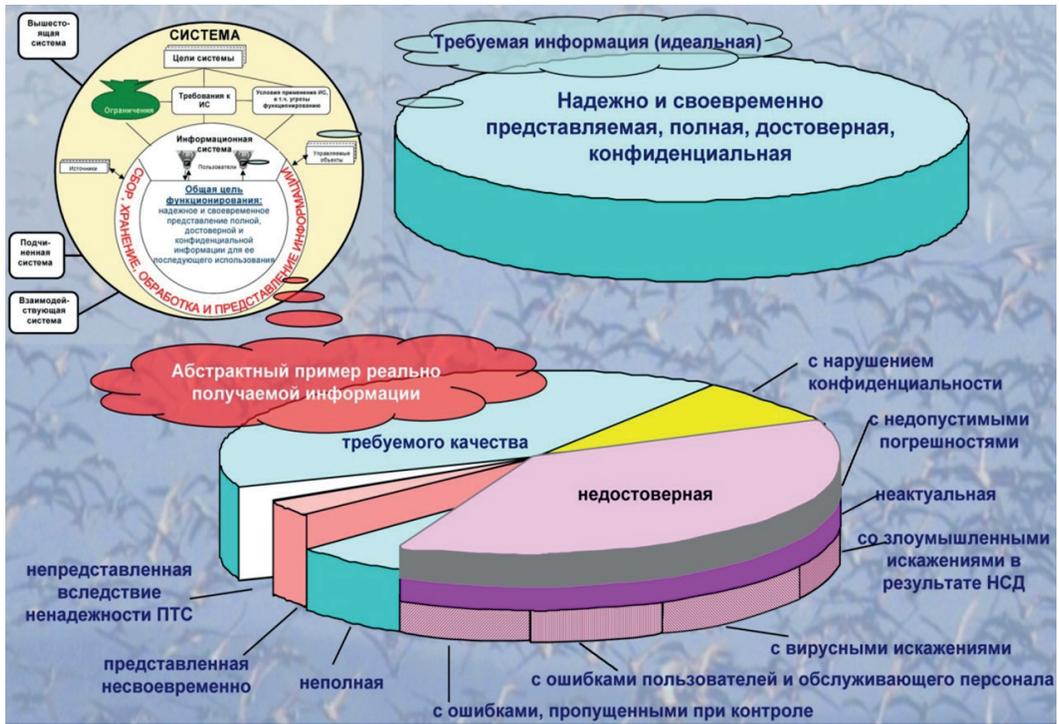
- задачи программно-целевого планирования системного анализа процесса управления качеством;

- задачи оценки влияния процесса управления качеством системы на ее безопасность и эффективность;

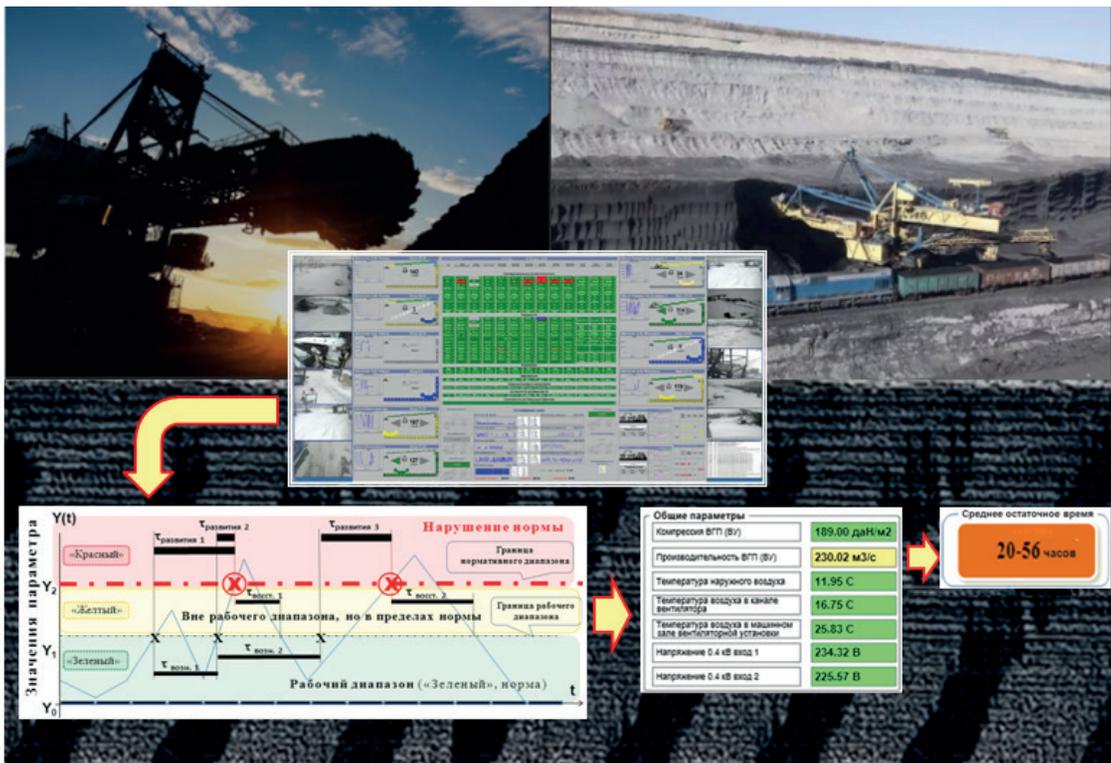
- задачи обоснование способов повышения эффективности процесса управления качеством системы.

Степень достижения целей при решении задач системной инженерии оценивают с помощью методов формализации неопределенностей и специальных количественных показателей, которые позволяют спрогнозировать представление о возможных причинах недопустимого снижения качества системы, начиная с самых ранних этапов, когда можно успеть предпринять предупреждающие меры (см. таблицу). Примером приложений риск-ориентированного подхода могут служить методы и модели для вероятностного моделирования процессов. Вышеизложенные идеи доведены до реализации на уровне типовых требований системной инженерии (см. ГОСТ Р 59329 – ГОСТ Р 59357, ГОСТ Р 59989 – ГОСТ Р 59994). В частности, в ГОСТ Р 59341-2021 «Системная инженерия. Защита информации в процессе управления информацией системы» предложенный подход основан на выделении и формулировании общей цели функционирования информационных систем различного назначения, а именно – обеспечение надежного и своевременного представления полной, достоверной и конфиденциальной информации для последующего использования – см. рис. 1.





Р и с. 1. Абстрактная иллюстрация качества функционирования информационных систем
 Fig. 1. Abstract illustration of the quality of functioning of information systems



Р и с. 2. Пример прогнозирования времени на принятие и реализацию решения для предотвращения нарушения границ нормативного диапазона
 Fig. 2. An example of predicting the time to make and implement a decision to prevent violation of the boundaries of the regulatory range



В качестве иного примера извлечения практического эффекта может служить вероятностный прогноз остаточного времени на принятие и реализацию решения для предотвращения нарушения границ нормативного диапазона по данным мониторинга осуществляется при выходе значений какого-либо параметра конкретного оборудования за границы рабочего диапазона, оставаясь в границах нормативного диапазона. Этот подход реализован в ГОСТ Р 58494-2019 «Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система дистанционного контроля опасных производственных объектов». Пример прогнозирования времени на принятие и реализацию решения для предотвращения нарушения границ нормативного диапазона проиллюстрирован на рис. 2.

Заключение

Рассмотренные риск-ориентированные методы и модели для обеспечения гарантий качества системы позволяют осуществлять:

- прогнозирование рисков, связанных с критичными сущностями рассматриваемой системы и характеризующих ее ка-

чество, интерпретация и анализ приемлемости получаемых результатов, включая сравнение достигаемых или прогнозируемых значений показателей с допустимым уровнем на предмет выполнения задаваемых ограничений;

- определение с использованием моделирования существенных угроз и условий, способных при том или ином развитии событий в жизненном цикле негативно повлиять на качество рассматриваемой системы (и/или ее элементов);

- определение и обоснование с использованием моделирования в жизненном цикле системы упреждающих мер противодействия угрозам и условий, обеспечивающих желаемое свойство качества рассматриваемой системы (и/или ее элементов) при задаваемых ограничениях в задаваемый период прогноза;

- обоснование с использованием моделирования предложений по обеспечению и повышению качества рассматриваемой системы (и/или ее элементов), включая совершенствование непосредственно самого системного анализа процесса гарантии качества для системы.

Изложенные в обзоре идеи доведены до уровня реализации в ГОСТ Р 59994-2022 «Системная инженерия. Системный анализ процесса гарантии качества для системы».

References

- [1] Kostogryzov A.I., Nistratov A.A. About the Promising Directions of System Engineering Development. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2021;17(2):223-240. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202102.223-240>
- [2] Kostogryzov A., Nistratov A., Nistratov G. Analytical Risks Prediction. Rationale of System Preventive Measures for Solving Quality and Safety Problems. In: Sukhomlin V., Zubareva E. (eds.) *Modern Information Technology and IT Education*. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science. Vol. 1201. Cham: Springer; 2020. p. 352-364. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-46895-8_27
- [3] Kostogryzov A., Panov V., Stepanov P., Grigoriev L., Nistratov A., Nistratov G. Optimization of sequence of performing heterogeneous repair work for transport systems by criteria of timeliness. 2017 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS). Canada, AB: IEEE Press Banff; 2017. p. 872-876. doi: <https://doi.org/10.1109/ICTIS.2017.8047870>
- [4] Kostogryzov A., Stepanov P., Grigoriev L., Atakishchev O., Nistratov A., Nistratov G. Improvement of Existing Risks Control Concept for Complex Systems by the Automatic Combination and Generation of Probabilistic Models and Forming the Storehouse of Risks Predictions Knowledge. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Applied Mathematics, Simulation and Modelling (AMSM)*. Phuket, Thailand: DEStech Publications Inc.; 2017. p. 279-283. doi: <https://doi.org/10.12783/dtet/amsm2017/14857>
- [5] Kostogryzov A.I. Software Tools Complex for Evaluation of Information Systems Operation Quality (CEISOQ). In: *Proceedings of the 34-th Annual Event of the Government Electronics and Information Association (GEIA)*. USA, Dallas: Engineering and Technical Management Symposium; 2000. p. 63-70.
- [6] Kostogryzov A.I., et al. Mathematical Models and Applicable Technologies to Forecast, Analyze, and Optimize Quality and Risks for Complex Systems. In: *Proceedings of the First International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*. Wuhan, China: American Society of Civil Engineers; 2011. p. 845-854. doi: [https://doi.org/10.1061/41177\(415\)107](https://doi.org/10.1061/41177(415)107)
- [7] Kostogryzov A., Nistratov G., Nistratov A. Some Applicable Methods to Analyze and Optimize System Processes in Quality Management. In: Aized T, ed. *Total Quality Management and Six Sigma*. London: IntechOpen; 2012. p. 127-196. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/46106>
- [8] Kostogryzov A., Grigoriev L., Nistratov G., Nistratov A., Krylov V. Prediction and Optimization of System Quality and Risks on the Base of Modelling Processes. *American Journal of Operations Research*. 2013;3(1A):217-244. doi: <https://doi.org/10.4236/ajor.2013.31A021>
- [9] Kostogryzov A., Makhutov N., Nistratov A., Reznikov G. Probabilistic Predictive Modelling for Complex System Risk Assessments. In: Abdalla R., El-Diasty M., Kostogryzov A., Makhutov N.A. (eds.) *Time Series Analysis – New Insights*. London: IntechOpen; 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.106869>
- [10] Akundi A., Lopez V. A Review on Application of Model Based Systems Engineering to Manufacturing and Production Engineering Systems. *Procedia Computer Science*. 2021;185:101-108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.05.011>
- [11] Kołowrocki K., Soszyńska-Budny J. Reliability and Safety of Complex Technical Systems and Processes. Springer Series in Reliability Engineering. London: Springer; 2011. 405 p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-694-8>
- [12] Kołowrocki K., Soszyńska-Budny J. Prediction of critical infrastructures safety. In: *The 10th International Conference on Digital Technologies 2014*. IEEE Computer Society; 2014. p. 130-138. doi: <https://doi.org/10.1109/DT.2014.6868704>



- [13] Zio E. An Introduction to the Basics of Reliability and Risk Analysis. World Scientific Publishing Co Pte Ltd; 2007. 236 p. doi: <https://doi.org/10.1142/6442>
- [14] Artemyev V., Kostogryzov A., Rudenko J., Kurpatov O., Nistratov G., Nistratov A. Probabilistic methods of estimating the mean residual time before the next parameters abnormalities for monitored critical systems. In: 2017 2nd International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS). Milan, Italy: IEEE Computer Society; 2017. p. 368-373. doi: <https://doi.org/10.1109/ICSRS.2017.8272850>
- [15] Kostogryzov A., Grigoriev L., Golovin S., Nistratov A., Nistratov G., Klimov S. Probabilistic Modeling of Robotic and Automated Systems Operating in Cosmic Space. In: Proceedings of the International Conference on Communication, Network and Artificial Intelligence (CNAI). Beijing, China: DEStech Publications Inc.; 2018. p. 298-303. doi: <https://doi.org/10.12783/dtcse/cnai2018/24174>
- [16] Kostogryzov A., Grigoriev L., Kanygin P., Golovin S., Nistratov A., Nistratov G. The Experience of Probabilistic Modeling and Optimization of a Centralized Heat Supply System Which is an Object for Modernization. In: International Conference on Physics, Computing and Mathematical Modeling (PCMM). Shanghai: DEStech Publications Inc.; 2018. p. 93-97. doi: <https://doi.org/10.12783/dtcse/pcmm2018/23643>
- [17] Artemyev V., Rudenko J., Nistratov G. Probabilistic Methods and Technologies of Risk Prediction and Rationale of Preventive Measures by Using “Smart Systems”: Applications to Coal Branch for Increasing Industrial Safety of Enterprises. In: Kostogryzov A., ed. Probabilistic Modeling in System Engineering. London: IntechOpen; 2018. p. 23-51. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.75109>
- [18] Kershenbaum V., Grigoriev L., Kanygin P., Nistratov A. Probabilistic Modeling Processes for Oil and Gas. In: Kostogryzov A. Probabilistic Modeling in System Engineering. London: IntechOpen; 2018. p. 55-79. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74963>
- [19] Kostogryzov A., Nistratov A., Nistratov G., Atakishchev O., Golovin S., Grigoriev L. The Probabilistic Analysis of the Possibilities to Keep “Organism Integrity” by Continuous Monitoring. In: Proceedings of the 2018 International Conference on Mathematics, Modelling, Simulation and Algorithms (MMSA 2018). Chengdu, China: Atlantis Press; 2018. p. 432-435. doi: <https://doi.org/10.2991/mmsa-18.2018.96>
- [20] Kostogryzov A., Korolev V. Probabilistic Methods for Cognitive Solving of Some Problems in Artificial Intelligence Systems. In: Kostogryzov A., Korolev V. (eds.). Probability, Combinatorics and Control. London: IntechOpen; 2019. p. 3-34. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89168>
- [21] Eid M., Rosato V. Critical Infrastructure Disruption Scenarios Analyses via Simulation. In: Setola R., Rosato V., Kyriakides E., Rome E. (eds.). Managing the Complexity of Critical Infrastructures. Studies in Systems, Decision and Control. Vol. 90. Cham: Springer; 2016. p. 43-61. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51043-9_3
- [22] Kostogryzov A.I. To the Methods of System Engineering: Probabilistic Approaches to the Analysis of the System Quality Management Process. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2022;18(2):227-240. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202202.227-240>
- [23] Gneiting T., Balabdaoui F., Raftery A.E. Probabilistic forecasts, calibration and sharpness. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Statistical Methodology)*. 2007;69(2):243-268. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2007.00587.x>
- [24] Meridji K., Issa G. A development approach of software requirements for renewable energy applications using fundamental principles of software engineering. In: 2013 1st International Conference & Exhibition on the Applications of Information Technology to Renewable Energy Processes and Systems. IEEE Computer Society; 2013. p. 107-112. doi: <https://doi.org/10.1109/IT-DREPS.2013.6588162>
- [25] Shah L., Siadat A., Vernadat F. Maturity assessment in risk management in manufacturing engineering. In: 2009 3rd Annual IEEE Systems Conference. IEEE Computer Society; 2009. p. 296-301. doi: <https://doi.org/10.1109/SYSTEMS.2009.4815815>

Поступила 15.08.2022; одобрена после рецензирования 30.09.2022; принята к публикации 05.10.2022.

Submitted 15.08.2022; approved after reviewing 30.09.2022; accepted for publication 05.10.2022.

Об авторе:

Косто­г­ры­зов Андрей Иванович, главный научный сотрудник, ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (119333, Российская Федерация, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44-2), доктор технических наук, профессор, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0254-5202>**, Akostogr@gmail.com

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the author:

Andrey I. Kostogryzov, Chief Researcher, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, (44 Vavilov St., building 2, Moscow 119333, Russian Federation), Dr.Sci. (Tech.), Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0254-5202>**, Akostogr@gmail.com

The author has read and approved the final manuscript.

