

## О приоритетных направлениях развития системной инженерии

А. И. Костокрызов\*, А. А. Нистратов

ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Российская Федерация  
119333, Российская Федерация, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44-2

\* Akostogr@gmail.com

### Аннотация

Перспективная системная инженерия, выходя далеко за сегодняшние рамки, должна ориентироваться на системы будущего, становящиеся более разумными, самоорганизующимися, ресурсоэффективными, безопасными, устойчивыми, а также поддерживаться междисциплинарной теоретической основой. В результате анализа прогнозов применения системной инженерии предложено пересмотреть и модифицировать сложившиеся научно-технические взгляды на роль и место системной инженерии в России. Целью настоящей работы является выработка перспективных направлений развития системной инженерии в России для различных областей приложения. В предлагаемом модифицированном взгляде на роль и место системной инженерии в качестве первостепенных для любого рода систем всюду по жизненному циклу определены и детализированы:

- приоритетные направления развития существующей системной инженерии для эффективного применения прогнозируемых достижений науки, техники и технологий, освоение которых позволит получать научно обоснованный ответ на вопрос «Как достичь требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивых функционирования и развития системы?»;
- целенаправленные шаги, применимые к системе в целом, ее составным элементам или совокупности рассматриваемых систем или элементов при выполнении стандартных процессов (везде, где это уместно и применимо).

Реализация предложений позволит получать выходные результаты стандартных процессов с использованием обоснованных логичных решений, подтвержденных в жизненном цикле различного рода систем прогнозными исследованиями по достижению требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития. При этом обеспечивается прослеживаемость эффективности научно-технических системных усилий от замыслов до получаемых итоговых результатов.

**Ключевые слова:** безопасность, качество, модель, риск, система, системная инженерия, эффективность

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

**Для цитирования:** Костокрызов, А. И. О приоритетных направлениях развития системной инженерии / А. И. Костокрызов, А. А. Нистратов. — DOI 10.25559/SITITO.17.202102.223-240 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2021. — Т. 17, № 2. — С. 223-240.

© Костокрызов А. И., Нистратов А. А., 2021



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



## About the Promising Directions of System Engineering Development

A. I. Kostogryzov\*, A. A. Nistratov

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

44-2 Vavilov St., Moscow 119333, Russian Federation

\* Akostogr@gmail.com

### Abstract

Advanced system engineering should be based on interdisciplinary theory and focused on the systems of the future, becoming more intelligent, self-organizing, resource-efficient, safe and sustainable. As a result of the analysis of forecasts for the use of system engineering, it is proposed to revise and modify the existing scientific and technical views on the role and place of system engineering in Russia. The purpose of this work is to develop the promising directions for the development of system engineering in Russia for various fields of application. In the proposed modified view of the role and place of system engineering as paramount for any kind of systems throughout the life cycle are defined and detailed:

- promising directions for the development of existing system engineering for the effective application of the predicted achievements of science, technology and technologies, the development of which will allow obtaining a scientifically based answer to the question "How to achieve the required safety, quality, balanced effects and sustainable operation and development of the system?";
- purposeful steps applicable to the system as a whole, its elements or the set of the systems or elements under consideration when performing standard processes (wherever appropriate and applicable). The implementation of the proposals will allow obtaining the output of standard processes using reasonable logical decisions, confirmed in the life cycle of various kinds of systems by predictive studies to achieve the required safety, quality, balanced effects and sustainable operation and development. A traceability of the effectiveness of scientific and technical system efforts from the plans to the final results will be ensured.

**Keywords:** model, quality, risk, safety, system, system engineering, efficiency

*The authors declare no conflict of interest.*

**For citation:** Kostogryzov A.I., Nistratov A.A. About the Promising Directions of System Engineering Development. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2021; 17(2):223-240. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202102.223-240>



## 1. Введение

Системная инженерия получает сегодня на международном уровне второе дыхание. В некоторых работах 30-40 летней давности можно встретить перевод выражения «system engineering» на русский язык как «системотехника» (см., например, [1]), однако затем с развитием информационных технологий появилось выражение «software engineering», которое в аналогичный перевод не вписывалось<sup>1</sup>.

Согласно ISO/IEC/IEEE 15288 и ГОСТ Р 57193 «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем» системная инженерия — это междисциплинарный подход, управляющий полным техническим и организаторским усилием, требуемым для преобразования ряда потребностей заинтересованных сторон, ожиданий и ограничений в решение и для поддержки этого решения в течение его жизни. По более детальному определению Института программной инженерии (Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University) системная инженерия — это избирательное приложение научно-технических усилий по: преобразованию функциональных потребностей в описание системной конфигурации, которая наилучшим образом удовлетворяет этим потребностям по показателям эффективности; объединению связанных технических параметров и обеспечению совместности всех физических, функциональных и программно-технических интерфейсов способом, оптимизирующим в целом определение и проектирование всей системы; объединению возможностей всех инженерных дисциплин и специальностей в единое системотехническое достижение. Иными словами, системная инженерия — это в первую очередь сосредоточение научно-технических усилий на том, как рациональным образом построить и эффективно эксплуатировать различные искусственно создаваемые системы. При этом под системой согласно ISO/IEC/IEEE 15288 и ГОСТ Р 57193 понимается комбинация взаимодействующих элементов, упорядоченная для достижения одной или нескольких поставленных целей.

На различных иерархических уровнях для руководителей министерств, ведомств, регионов, предприятий, владельцев собственности, заказчиков, разработчиков, пользователей всегда остро актуален вопрос о выгодности инвестиций, сбалансированности в использовании ресурсов и активов, обоснованности реальной безопасности и достижимости задаваемого качества проектируемых и эксплуатируемых систем, а также устойчивости их функционирования и развития. В настоящей работе речь идет о сложных системах, создаваемых человеком для любой области приложений, — в интересах органов государственной власти и корпораций, энергетических, финансово-экономических, страховых и промышленных структур (в т.ч. для отдельных предприятий, строительных, нефтегазовых и транспортных комплексов, опасного производства), предприятий оборонно-промышленного комплекса, авиационно-космической отрасли, служб по чрезвычайным ситуациям, жилищно-коммунального хозяйства и пр. Целью настоящей работы является выработка перспективных направлений раз-

вития системной инженерии в России для различных областей приложения.

## 2. Анализ прогнозов применения системной инженерии

Несколько слов о ретроспективе. В качестве источников системной инженерии как научно-прикладной дисциплины Международный Совет по системной инженерии (INCOSE) рассматривает ракетные технологии и развитие железнодорожного транспорта, системы безопасности, телефонии, вооружений (1937-1956 гг.), первые методологии системной инженерии и технологии обеспечения безопасности в авиакосмической промышленности, результаты моделирования городских систем в Массачусетском технологическом институте (1957-1980 гг.), появление стандарта IEEE 1220 и, наконец, принятие первого в практике Международной организации по стандартизации стандарта по системной инженерии ISO/IEC 15288 по процессам жизненного цикла систем (2002 г.). Здесь нелишне вспомнить о реальном вкладе наших отечественных специалистов в становление системной инженерии, в первую очередь, благодаря достижениям в области вооружения, в ракетостроении и освоении космоса. Согласно прогнозам INCOSE в настоящее время методы системной инженерии применяют для информационных, энергетических, транспортных, аэрокосмических и оборонных систем, для производства средств электроники, автоматических и биомедицинских систем, для систем публичной политики. Вместе с тем сегодня глобальные потребности в рациональном построении и эффективном применении различных систем существенно опережают прогресс в области системной инженерии. Практическое применение во многом основано на эвристике и варьируется в зависимости от отраслей, организаций и типов систем. Теоретические основы системной инженерии находятся в стадии становления. Перекрестное внедрение в различных отраслях промышленности существующих методов системной инженерии идет медленно. Ключевой нерешенной проблемой системной инженерии остается слабая междисциплинарная интеграция научно-технических усилий, применимая на разных этапах жизненного цикла разнородных систем. По прогнозу INCOSE до 2025г. глобальный контекст для системной инженерии будут определять:

- растущие человеческие и социальные потребности (связанные с сохранением здоровья, обеспечением чистой водой и пропитанием, обеспечением доступности к информации, коммуникациям, образованию, мобильности и пр.);
- появляющиеся социо-экономические вызовы (глобализация рынков, рост населения и урбанизация, взаимозависимость экономик, изменение рабочей среды, обеспечение безопасности личности и общества) и вызовы природной среды, такие как изменения климата, воспроизводимость ресурсов;
- расширение применения системной инженерии в различных областях промышленности, а также для содействия

<sup>1</sup> В настоящее время появляются иные словосочетания с термином инженерия, например, социальная инженерия (*social engineering*), представляющая собой системный метод манипулирования мыслями и поступками людей, базирующийся на психологических особенностях личности и закономерностях человеческого мышления.



в формировании политики, связанной с социальными и природными системами;

- охват и изучение разнообразия подходов к разработке систем, необходимость развития теоретических основ системной инженерии, совершенствование инструментариев, моделей и методов решения сложных задач;
- улучшение обучения в области системной инженерии для удовлетворения растущих потребностей практики.
- Согласно ожиданиям INCOSE перспективная системная инженерия должна охватывать широкий спектр областей функционального применения систем, выходя далеко за сегодняшние рамки (в т.ч. захватывая поддержку политических решений), ориентироваться на системы будущего, становящиеся более разумными, самоорганизующимися, ресурсоэффективными, безопасными, устойчивыми в эксплуатации и реагирующими на постоянно растущий и разнообразный спектр общественных потребностей. Возможности системной инженерии должны будут обеспечивать всестороннюю интеграцию многочисленных рыночных, социальных и экологических требований заинтересованных сторон с учетом всего жизненного цикла систем и долгосрочных рисков. На системную инженерию будет возлагаться интегрирующая роль в поддержке взаимодействия и сотрудничества, охватывающего различные организационные и региональные границы, а также широкий спектр научно-технических дисциплин. Для этого 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. Системы будущего будут создаваться обученными высококвалифицированными специалистами с использованием эффективных инструментариев, реализующих прагматичные инновации для поддержания необходимой конкурентоспособности<sup>2</sup>. Если учесть, что основные научно-практические достижения в передовых странах закрепляются на уровне стандартов, то необходимо отметить единую позицию Международной организации по стандартизации (ISO), Международной электротехнической комиссии (IEC) и Института инженеров электротехники и электроники (IEEE) в разработке и издании на международной площадке ISO/IEC/IEEE унифицированных стандартов по системной и программной инженерии, ориентированных на эффективное применение прогнозируемых достижений науки, техники и технологий.

В России состояние современной системной инженерии может быть охарактеризовано как пребывание в стадии становления. Для детального описания этого состояния в полной мере применимы оценки Международного Совета по системной инженерии (INCOSE), изложенные выше для развитых стран Запада. Сложившееся состояние системной инженерии сдерживает ее междисциплинарные возможности по упреждающей реакции в различного рода приложениях в условиях не-

определенности и не способствует реализации ее прорывного научного потенциала для обеспечения сбалансированных эффектов и устойчивого развития конкурентоспособной России.

### 3. Предлагаемые приоритетные направления развития системной инженерии

#### 3.1. Переосмысление роли и места системной инженерии. Общее

В информационном и техническом прогрессе РФ в настоящее время наблюдается серьёзный перекос, обострившийся в последние годы из-за инфекционных ограничений, санкций Запада, технологического отставания РФ в области информационных технологий, климатических и иных изменений, ведущих к росту разнородных неопределенностей и угроз. Различные виды безопасности становятся все более взаимосвязанными. В итоге в России процесс создания и эксплуатации важных объектов, становящихся «умными» по мере их информатизации и цифровой трансформации, оказывается совмещенным с утратой согласованной подконтрольности отдельных элементов и систем. Это приводит к недооценке роста рисков в области обеспечения требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития систем различного функционального назначения, а также к нерациональности в решении связанных с этим системных проблем. Например, несмотря на то, что многочисленные предпринятые в России меры противодействия угрозам в области промышленной, экологической и информационной безопасности разработаны на уровне федеральных законов, федеральных норм и правил, руководств по безопасности, «ручное» управление комплексной безопасностью на предприятиях продолжает оставаться главенствующим, причем так, как это субъективно понимается на ведомственном и корпоративном уровне. В свою очередь мировые тенденции развития современных разнородных систем свидетельствуют о необходимости кардинального разворота от «ручного» управления отдельными видами безопасности (основанного на выполнении устоявшихся инструкций и на экспертных оценках складывающихся ситуаций) к реализации научно обоснованных эффективных упреждающих мер на основе прогнозирования рисков. Это позволяет в жизненном цикле систем на основе прогнозного взгляда вперед превентивно предпринимать эффективные упреждающие действия. Такая идея красной линией проходит через все западные концепции и последние стандарты системной инженерии. Но как грамотно реализовать риск-ориентированный подход (в последнее время появилось сходное выражение — «риск-информированный подход») — остается за кадром. В мире еще нет универсального подхода к реализации этой идеи. Так, в международных стандартах лишь констатируется важность использования риск-ориентированного подхода, подробно излагаются экспертные методы с субъективными оценками (во многих случаях уводящих в сторону от более сложной объективной реальности), перечисляются теоретические и

<sup>2</sup> Более подробно с прогнозами Международного Совета по системной инженерии (INCOSE) можно ознакомиться на официальном сайте: About Systems Engineering — INCOSE : офиц. сайт [Электронный ресурс]. 2019. URL: <https://www.incose.org/about-systems-engineering> (дата обращения: 20.05.2021).



методические подходы, которые могут быть применены — см., например, ГОСТ Р ИСО 11231 «Менеджмент риска. Вероятностная оценка риска на примере космических систем», ГОСТ Р ИСО 13381-1 «Контроль состояния и диагностика машин. Прогнозирование технического состояния. Часть 1. Общее руководство», ГОСТ Р ИСО/МЭК 16085 «Менеджмент риска. Применение в процессах жизненного цикла систем и программного обеспечения», ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности», ГОСТ Р ИСО 31000 «Менеджмент риска. Принципы и руководство», ГОСТ Р 51901.1 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем», ГОСТ Р 51901.7/ISO/TR 31004:2013 «Менеджмент риска. Руководство по внедрению ИСО 31000», ГОСТ Р 54124 «Безопасность машин и оборудования. Оценка риска», ГОСТ Р 54145 «Менеджмент рисков. Руководство по применению организационных мер безопасности и оценки рисков. Общая методология», ГОСТ Р 57272.1 «Менеджмент риска применения новых технологий. Часть 1. Общие требования», ГОСТ Р 58045 «Авиационная техника. Менеджмент риска при обеспечении качества на стадиях жизненного цикла. Методы оценки и критерии приемлемости риска», ГОСТ Р 58771 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска» и др. Некоторым методическим исключением являются практические методы оценки надежности, разработанные более 20 лет назад — см., например, ГОСТ Р 51901.5 (МЭК 60300-3-1:2003) «Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности», ГОСТ Р 51901.16 (МЭК 61164:2004) «Менеджмент риска. Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки». В итоге существующий порядок использования подходов системной инженерии может быть охарактеризован как применение в жизненном цикле конкретных систем выбираемых необходимых стандартных процессов системной инженерии. В настоящей работе рассматриваются стандартные процессы согласно ГОСТ Р 57193-2016 (ISO/IEC/IEEE 15288, NEQ) «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем». К стандартным отнесены следующие 30 системных процессов, охватывающие системы различного функционального назначения: процессы соглашения (2 процесса) — приобретения и поставки продукции и услуг для системы; процессы организационного обеспечения проекта (6) — управления инфраструктурой, управления моделью жизненного цикла системы, портфелем проектов, человеческими ресурсами, качеством, знаниями; процессы технического управления (8) — планирования проекта, оценки и контроля проекта, управления решениями, управления рисками, управления конфигурацией, управления информацией, измерений и гарантии качества; технические процессы (14) — 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. Для конкретной системы с учетом ее специфики осуществляется детализация используемых процессов, включая формулировку цели процесса, перечисление выполняемых действий и

выходных результатов. В итоге выполнения стандартных действий ожидается получение выходных результатов процессов, обеспечивающих достижение целей каждого процесса. Применяемые методы и технологии системной инженерии остаются за кадром, в т.ч. в рамках пяти частей руководства ISO/IEC TR 24748 по применению ISO/IEC/IEEE 15288 (к примеру см. ГОСТ Р 57102/ISO/IEC TR 24748-2 «Информационные технологии. Системная и программная инженерия. Управление жизненным циклом. Часть 2. Руководство по применению ИСО/МЭК 15288»). Т.е. самое главное — ответ на вопрос «Как достичь требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивых функционирования и развития системы?» — отдается на откуп заинтересованным лицам системы (заказчикам, разработчикам, пользователям, инвесторам и др.). Накопленный опыт в других областях не систематизируется. В итоге может сложиться обманчивое впечатление, что достижение целей, обозначенных в этом вопросе, обеспечивается автоматически в результате выполнения стандартных процессов системной инженерии. Однако этого на практике не происходит — добросовестное выполнение стандартных действий в каждом из используемых процессов еще не гарантирует требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития систем. Необходимо понимать, что стандартные действия — это лишь рекомендации, сформированные на основе лучших практик. Достижение требуемых эффектов определяется с помощью необходимого научного обоснования. Таким образом нынешний взгляд — это чаще всего использование стандартов и существующих (реже — новых) подходов системной инженерии в рамках конкретной системы. Именно отсутствие понятных научных методов по прогнозированию и рациональному управлению рисками для приложений системной инженерии, обеспечивающих прослеживаемость от идеи до достигаемых эффектов — это главный недостаток нынешнего взгляда на роль и место системной инженерии. Как следствие, развитие различных народнохозяйственных систем идет своим чередом, ожидая, какие достижения науки, техники и технологий, появляющиеся на рынке, могут оказаться для них полезными. Ожидаемые эффекты рассматриваются в контексте специфики конкретной системы. При таком сложившемся догматическом подходе получается, что развитие методов системной инженерии оказывается заведомо стесненным приложениями конкретной системы. Налицо явное междисциплинарное противоречие между высокоуровневыми общесистемными потребностями в разных прикладных областях и инженерными возможностями, формирующимися внутри конкретной системы, т.е. на более низком мета-уровне. Это противоречие было отмечено еще 90 лет назад основоположником кибернетики Норбертом Винером: «Важные исследования задерживаются из-за того, что в той или иной области неизвестны результаты, уже давно ставшими классическими в смежной области». Системная инженерия, объединяя междисциплинарные научно-технические усилия, как раз и призвана разрешить это противоречие. В поиске прикладных научных методов риск-ориентированного подхода — все ведущие страны мира, а находки, которых не так много, обращаются в государственные, коммерческие или





военные решения «ноу-хау», предопределяющие выгоды от их применения. Учитывая, что потенциальные ущербы и затраты на ликвидацию последствий критичных нарушений в эксплуатации важных объектов и систем в условиях разнородных угроз на порядок превышают затраты на превентивные меры,

поиск эффективных решений с использованием методов системной инженерии является остро актуальным. В этой связи предлагается кардинальное изменение нынешнего взгляда на роль и место системной инженерии, переходя к принципу «от общего знания — к частному применению» — см. рис. 1.



Р и с. 1. Место перспективной системной инженерии — как изначально диктующее цели, приоритеты и направления относительно существующих подходов, т.е. переход к принципу «от общего знания — к частному применению»

Fig. 1. The place of advanced system engineering is to initially dictate goals, priorities and directions regarding existing approaches, i.e. the transition to the principle "from general knowledge to particular application"

Для перспективной системной инженерии это предлагаемое изменение заключается в сосредоточении научно-технических усилий на более высоком мета-уровне, позволяющем достаточно универсальным образом математически ставить и аналитически решать востребованные задачи рационального построения и эффективной эксплуатации сложных систем различного функционального назначения. Ключевыми словами являются «рациональность», «эффективность», «требуемые безопасность, качество, сбалансированные эффекты и устойчивость функционирования и развития», предполагающие широкое применение универсальных методических решений с использованием прогнозируемых рисков для сложных систем. Учитывая появление разносторонних универсальных моделей, методов и поддерживающих инструментариев (см.,

например [2-28]), определяющих аналитическое содержание и роль системной инженерии, предлагается, чтобы именно они с накопленными знаниями об их применении в разных прикладных областях выступали побуждающим стимулом совершенствования и помогли выработать для конкретных систем целенаправленные шаги, ведущие к достижению научно обоснованных количественных требований в части безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития системы. Согласно появившимся аналитическим возможностям, допускающим и предполагающим их совершенствование и развитие, место перспективной системной инженерии определено как изначально диктующее целенаправленные приоритеты и направления по отношению к существующим подходам, применяемым в рамках конкрет-



ной системы на уровне реализуемых процессов (см. рис. 1). В предлагаемом модифицированном взгляде на роль и место системной инженерии первостепенное значение для любого рода систем всюду по жизненному циклу имеют:

- приоритетные направления развития существующей системной инженерии для эффективного применения прогнозируемых достижений науки, техники и технологий, освоение которых позволит получать научно обоснованный ответ на вопрос «Как достичь требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивых функционирования и развития системы?»;
- целенаправленные шаги, применимые к системе в целом, ее составным элементам или совокупности рассматриваемых систем или элементов при выполнении стандартных процессов (везде, где это уместно и применимо).

### 3.2. Пояснения к предлагаемым приоритетным направлениям развития системной инженерии

Для эффективного применения прогнозируемых достижений науки, техники и технологий при создании и эксплуатации сложных систем предлагаются следующие приоритетные направления развития системной инженерии:

1-е направление: сосредоточение научно-технических усилий на достижении целей обеспечения требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития сложных систем;

2-е направление: предоставление возможностей прогнозирования и рационального управления рисками в стандартных процессах жизненного цикла систем, совершенствование и накопление статистики и знаний, выявление общих аналитических закономерностей;

3-е направление: расширение на все сферы человеческой деятельности функциональных возможностей созданных моделей и методов системной инженерии, программных, технологических и методических решений по аналитическому прогнозированию и рациональному управлению рисками, межприкладное применение баз данных и баз знаний, выявленных общих аналитических закономерностей;

4-е направление: трансформация существующего подхода к созданию и использованию моделей и методов системной инженерии, ориентированных на конкретную систему, в технологию искусственного интеллекта поддержки принятия логичных решений, подтверждаемых прогнозными исследованиями по достижению требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития систем и прослеживаемостью логичности от идеи до достигаемого эффекта.

**1-е приоритетное направление** развития системной инженерии призвано согласовать направления развития науки, техники и технологий и ожидаемые при этом прикладные результаты с нацеленностью создаваемых и эксплуатируемых сложных систем на обеспечение требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития. Акцент сделан на сосредоточение научно-технических усилий на достижении целей, задаваемых в количественном выражении к научно обоснованным требуемым уровням:

- к безопасности системы, при этом под безопасностью

понимается 1) состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз (по ФЗ «О безопасности», ГОСТ Р 22.0.02); 2) отсутствие недопустимого риска (по ГОСТ Р 51898-2002, ГОСТ 1.1-2002); 3) состояние защищенности прав граждан, природных объектов, окружающей среды и материальных ценностей от последствий несчастных случаев, аварий и катастроф на промышленных объектах (по ГОСТ Р 12.3.047);

- к качеству системы (под которым понимается совокупность потребительских свойств);
- к сбалансированности эффектов (под которой понимается критерий достижения целевых эффектов при функционировании системы, состоящий в количественном соответствии задаваемых системных требований, выделяемых ресурсов и функциональных возможностей по их выполнению в реальных условиях применения системы);
- устойчивости функционирования (под которой понимается способность системы выполнять ряд своих функций в нештатных условиях функционирования, в т.ч. в условиях запроектных сценариев возникновения и реализации угроз нарушения безопасности и/или качества, и восстанавливать определенные функциональные возможности в приемлемые сроки);
- сбалансированности эффектов при развитии системы (под которой понимается критерий достижения целевых эффектов, состоящий в количественном соответствии задаваемых при развитии системных требований (выполнение которых ожидается по завершении мероприятий по развитию системы), выделяемых ресурсов на развитие и эксплуатацию, а также получаемых в результате развития функциональных возможностей системы в реальных условиях ее применения);
- устойчивости развития системы, под которой понимается способность системы выполнять ряд своих функций в период развития системы, когда возможно возникновение нештатных условий функционирования развиваемой системы (в т.ч. условий изначально запроектных для нее сценариев возникновения и реализации угроз нарушения безопасности и/или качества), и восстанавливать определенные функциональные возможности в приемлемые сроки.

Тем самым с реализацией 1-го направления начинается осуществление предложенного выше принципиального изменения нынешнего взгляда на системную инженерию, предпринимаются практические шаги по формированию перспективной системной инженерии (см. 3.1 и рис. 1). В рамках этого направления приоритетное внимание предлагается сосредоточить на пяти поднаправлениях развития системной инженерии, достаточных в совокупности для вероятностного моделирования систем и достижения целей обеспечения требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития сложных систем. Это — следующие поднаправления:

1.1) — унификация в построении пространства элементарных событий и разработка универсальных частных и интегральных показателей для моделирования сложных систем и прогнозирования рисков в условиях неопределенностей — это



необходимо для определения вероятностного пространства при прогнозировании рисков;

1.2) — разработка универсальных вероятностных моделей и методов аналитического прогнозирования рисков для сложных систем и решения задач определения рациональной упреждающей реакции в условиях неопределенностей и задаваемых ограничений — набор моделей и методов позволяет осуществлять элементарные вероятностные расчеты;

1.3) — обеспечение модульности в построении моделей для сложных систем, повышение адекватности применяемых моделей для аналитического прогнозирования рисков, обеспечение практичности в интерпретации прогнозируемых рисков — в итоге поведение сложных систем в прогнозный период становится предсказуемым (в терминах элементарных событий) в задаваемых условиях неопределенностей по каждому из составных элементов;

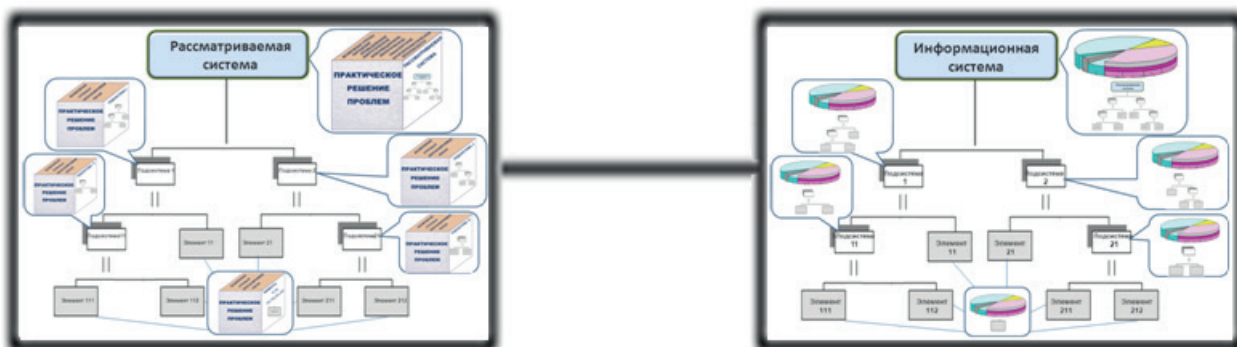
1.4) — обоснование допустимых рисков, постановка и аналитическое решение обратных задач определения рациональной упреждающей реакции в условиях неопределенностей и задаваемых ограничений как для отдельных элементов, так и для системы в целом;

1.5) — разработка программных, технологических и методических решений по аналитическому прогнозированию и рациональному управлению рисками для приложений системной инженерии с прослеживаемостью их логичности в жизненном цикле системы от идеи до достигаемого эффекта.

Использование комплекса этих пяти поднаправлений обеспечит необходимую аналитическую поддержку в принятии практических решений для достижения целей обеспечения требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития сложных систем в любой период их жизненного цикла (от начала замысла до принятия решения о выведении из эксплуатации). Например, при функционировании рассматриваемой системы в условиях неопределенностей, характеризующихся разнородными угрозами, степень приемлемости происходящих событий на практике может оцениваться вероятностью «успеха» и/или «неудачи» в течение задаваемого периода времени. При этом понятия элементарных событий «успеха» и «неудачи» конкретизируются с учетом специфики системы (понятие «неудачи» означает отсутствие «успеха»), а прогнозный период должен задаваться таким, чтобы за это время успеть восстановить

возможности системы, которые могут оказаться утраченными, или осуществить предстоящее действие, с которым была связана инициация решения конкретной прикладной задачи. В общем случае под «успешностью» функционирования рассматриваемой системы в течение заданного прогнозного периода времени может пониматься сохранение приемлемого уровня качества, безопасности и/или эффективности функционирования системы. Под риском «неудачи» понимается вероятностная мера «неудачи» в сопоставлении с возможными последствиями.

Прогнозирование рисков осуществляется на основе вероятностного моделирования систем. Каждый из элементов системы представляется в виде «черного ящика», и для него могут быть применены различные вероятностные модели для расчетов и построения искомой функции распределения времени между соседними нарушениями целостности, учитывающие разнородные угрозы, предпринимаемые меры контроля, мониторинга и восстановления целостности. Для практического применения рекомендуются методы и модели [2-11], [15-28] (далеко не исчерпывающие список универсальных моделей), где субъективные весовые коэффициенты исключены и может быть прослежена аналитическая связь между исходными данными и расчетными показателями рисков. При этом исходные данные в жизненном цикле системы описывают условия неопределенности (с использованием усредненных характеристик появления и развития учитываемых угроз) и противодействия угрозам (с помощью характеристик контроля и восстановления нарушаемой «целостности»), а интерпретация показателей рисков в терминах элементарных событий «успеха» и «неудачи» напрямую связана с вероятностью достижения эффектов. Пример декомпозиции сложной системы до составных элементов для решения поставленных проблем применительно к каждому из элементов и подсистем представлен на рис. 2. Эта декомпозиция применима также для последующего расчета интегральных показателей рисков на основе аналитического сворачивания показателей, свойственных элементам и подсистемам — см., например, ГОСТ Р 58494-2019 «Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система дистанционного контроля опасных производственных объектов», ГОСТ Р 59329 — ГОСТ Р 59357-2021, посвященных решению задач защиты информации в стандартных процессах жизненного цикла систем.



Р и с. 2. Пример декомпозиции сложных разнородных систем  
F i g. 2. Complex heterogeneous systems decomposition example





Другим примером может служить авторский подход к прогностическому моделированию процессов, разработанный в конце 90-х годов и доведенный до реализации на уровне типовых требований к качеству функционирования информационных систем. 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, а также ГОСТ Р 58494-2019 и ГОСТ Р 59341-2021 «Системная инженерия. Защита информации в процессе управления информацией системы». В общем случае анализ заключается во взаимосвязанной оценке показателей надежности и своевременности представления, полноты, достоверности и конфиденциальности используемой информации. С точки зрения математической формализации реализуемые процессы сбора, обработки и защиты информации вполне однотипны. В совокупности со сформулированной целью при моделировании этого в общем случае оказывается достаточно для формирования унифицированных системных требований и выбора сравнительно общих вероятностных показателей качества и рисков. Этот подход применим к каждому элементу сложной структуры, формализуемому как «черный ящик». Пример см. на рис. 2, интеграция рассматриваемой системы может быть логически интерпретирована как объединение двух последовательно соединенных систем (подсистем или элементов). Например, слева — рассматриваемая система без учета средств автоматизации, а справа — рассматриваемая информационная система, поддерживающая функции автоматизации. Логическая интерпретация элементарных состояний такова: интегрированная система находится в состоянии «отсутствия нарушений целостности», если «И» система слева, «И» система справа находятся в состоянии «отсутствия нарушений целостности».

**2-е приоритетное направление** развития системной инженерии сфокусировано на создании новых, расширении существующих востребованных возможностей прогнозирования и рационального управления рисками в реализуемых стандартных процессах, в предоставлении соответствующих возможностей лицам, принимающим решение (ЛПР), а также на совершенствовании и накоплении статистики, знаний и выявлении общих аналитических закономерностей. Это — основа когнитивного решения прикладных задач в жизненном цикле систем. Так, например, в настоящее время состояние все большего количества различного рода систем отслеживается с использованием технологий мониторинга. Мониторинговая система может представлять собой рассматриваемую систему для исследования (например, диспетчерский интеллектуальный центр) или может быть частью другой, более объемлющей рассматриваемой системы (например, может быть комплексом функционально ориентированных роботов в системах безопасности). Для выполнения заданных или ожидаемых функций рассматриваемой системы осуществляется сбор и обработка текущей информации в реальном времени. Эта информация используется для вероятностного прогнозирования развития критичных процессов в режиме реального времени с тем, чтобы не только действовать согласно прогнозу, но и сравнивать прогнозы и их совпадения с последующими реалиями, накапливать и использовать данные и формируемые знания. Именно в накоплении, анализе и использовании

появляющихся знаний о возможной целостности рассматриваемой системы в будущем заключается когнитивность решений задач прогностической обработки данных мониторинга. Суть предлагаемого когнитивного решения задач аналитической обработки данных мониторинга, предусматривающая совершенствование, накопление, системный анализ и использование появляющихся знаний, отражена на рис. 3. При этом возможные неопределенности для заданного периода прогноза (с начальной точки  $t_1$  до момента  $t_x$  в будущем) могут быть учтены с использованием упомянутых выше подходов к прогнозированию рисков.



Р и с. 3. Суть предлагаемого когнитивного решения прикладных задач  
Fig. 3. The essence of the proposed cognitive solution for application tasks

3-е приоритетное направление посвящено расширению на все сферы человеческой деятельности функциональных возможностей созданных моделей и методов системной инженерии, программных, технологических и методических решений по аналитическому прогнозированию и рациональному управлению рисками. Это направление включает в себя межприкладное применение баз данных и баз знаний, выявленных общих аналитических закономерностей (см. рис. 1). Тем самым возможности системной инженерии могут и должны быть применимы в различных сферах человеческой деятельности. При последующем прогнозировании рисков для универсальной интерпретации мониторируемых данных может быть использовано следующее практическое представление. В общем случае для какого-либо отслеживаемого параметра, который характеризует элемент моделируемой системы, рассматривается динамика изменения его значений во времени. При этом для значений параметра выделяются зоны: рабочий диапазон («Зеленый»), вне рабочего диапазона, но в пределах нормы («Желтый»), и нарушение нормы («Красный», т.е. за пределами нормативного диапазона) — например, такими элементами могут быть физические параметры температуры, давления и т.п. — см. рис. 4. Нарушение границы нормативного диапазона может считаться нарушением целостности элемента, способным привести к возможному разрушению оборудования. Такой подход реализуем с использованием программного комплекса «Зодиак» — см., например, [16].



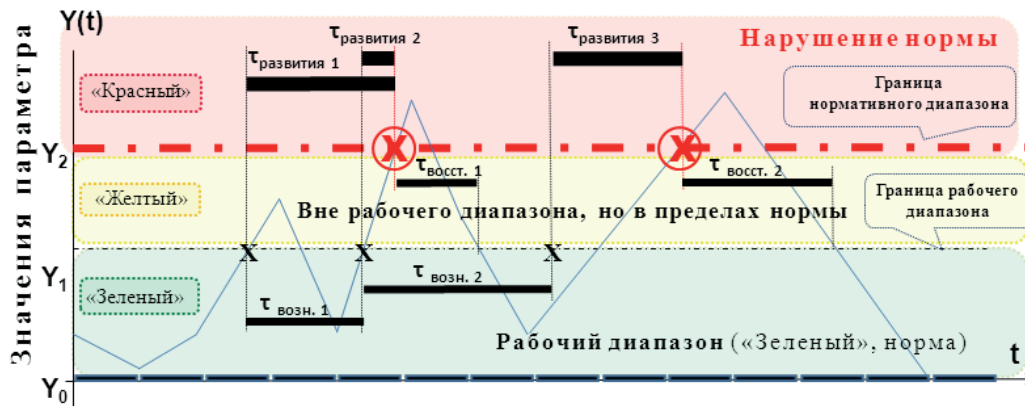


Рис. 4. Общий случай представления и анализа значений мониторируемого параметра относительно границ рабочего и нормативного диапазонов для формирования исходных данных моделей

Fig. 4. The general case of presenting and analyzing the values of the monitored parameter relative to the boundaries of the working and standard ranges for the formation of the initial data of the models

Если для параметра, который не может быть отслежен с помощью датчиков, объективное значение границ нормативного и рабочего диапазонов не может быть в явном виде указано количественно, для каждого варианта может быть установлено экспертное значение ожидаемого уровня «успеха», например, по безразмерной шкале от 0 до 100%, где 0 — «нет выигрыша», т.е. «неудача» (возможно, в сопоставлении с ущербом, выражаемым в условных единицах), 100% — «максимальный выигрыш», т.е. полный «успех». Примером могут служить параметры социальных систем: процент безработного населения в регионе, процент электората, удовлетворенного качеством жизни и т.п., где границы рабочего и нормативного диапазонов могут быть определены лишь экспертным образом. В социальных системах нарушение границы нормативного диапазона выражается в массовых недовольствах населения, а нарушение целостности системы — в прекращающихся забастовках, несанкционированных митингах и нарушениях общественного порядка. Это — интерпретация нарушений. Если для формализации принять условия, что источник опасности возникает при выходе значения параметра из «Зеленой» зоны рабочего диапазона в «Желтую», а разрастание опасности до угроз, приводящих к нарушению целостности системы, состоит в переходе в «Красную» зону, т.е. происходит нарушение границы нормативного диапазона, то по фрагменту, приведенному на рис. 9, могут быть вычислены следующие данные:

— частота возникновения источника опасности  $\sigma$ :

$$\sigma = 1 / [(\tau_{\text{возн.1}} + \tau_{\text{возн.2}}) / 2];$$

— среднее время инициации с разрастанием опасности до угроз, приводящих к нарушению целостности системы  $\beta$ :

$$\beta = (\tau_{\text{развития1}} + \tau_{\text{развития2}} + \tau_{\text{развития3}}) / 3;$$

— среднее время восстановления  $T_{\text{восст.}}$ :  $T_{\text{восст.}} = (\tau_{\text{восст.1}} + \tau_{\text{восст.2}}) / 2$ .

В свою очередь эти данные ( $\sigma, \beta, T_{\text{восст.}}$ ) используются в качестве исходных данных для прогнозирования рисков — например, с

использованием моделей, рекомендуемых ГОСТ Р 59339 «Системная инженерия. Защита информации в процессе управления рисками для системы», ГОСТ Р 59349 «Системная инженерия. Защита информации в процессе системного анализа» и др., поддерживаемых существующими технологиями и программными инструментариями<sup>3</sup>.

4-е приоритетное направление развития системной инженерии — это направление будущего, способное быть реализованным при успешном выполнении национальных Программ, связанных с развитием науки и техники в области «сквозных» цифровых технологий: технологий искусственного интеллекта, обработки «больших данных», беспроводной связи и робототехники.

Прогнозируемые на ближайшие десятилетия достижения науки, техники и технологий в реальных условиях их применения человеком открывают не только множество возможностей в различных сферах жизнедеятельности человека, но и в дополнение к климатическим изменениям, природным и инфекционным угрозам порождают множество как ожидаемых, так и непредсказуемых техногенных, социальных и иных вызовов и угроз. В свою очередь различного рода угрозы являются непосредственными источниками возникновения кризисов, аварий, катастроф с соответствующими масштабными ущербами. Для противодействия этим угрозам достижения «сквозных» цифровых технологий окажутся на практике очень востребованными. Это направление посвящено трансформации существующего подхода к созданию и использованию моделей и методов системной инженерии, ориентированных на конкретную систему (см. рис. 2), в технологию искусственного интеллекта поддержки принятия логичных решений, подтверждаемых прогнозными исследованиями по достижению требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устой-

<sup>3</sup> Костокрызов А. И., Нистратов Г. А., Нистратов А. А., Нистратова Е. Н. Моделирование процессов в жизненном цикле систем «Моделирование процессов» — «ноу-хау»: Св-во о гос. рег. прог. для ЭВМ № 2006610219; Костокрызов А. И., Нистратов Г. А., Нистратов А. А. Комплекс для анализа и управления качеством и рисками при создании и эксплуатации автоматизированных систем: Св-во о гос. рег. прог. для ЭВМ № 2006610219; Костокрызов А. И., Нистратов Г. А., Нистратов А. А. Программно-инструментальный комплекс оценки качества функционирования информационных систем через Интернет «КОК-Интернет»: Св-во о гос. рег. прог. для ЭВМ № 2008612348.



чивого функционирования и развития систем с обязательной прослеживаемостью логичности от идеи до достигаемого эффекта. Т.е. в рамках 4-го приоритетного направления с использованием достижений «сквозных» цифровых технологий будущего подлежат развитию и реализации наработки, получаемые в рамках 1-го, 2-го и 3-го направлений. В этом контексте нельзя не отметить исследовательский эксперимент по внедрению систем дистанционного контроля промышленной безопасности, проводимой согласно постановлению Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. №2415. На методы проведения этого эксперимента и ожидаемые результаты, несомненно способствующие развитию системной инженерии в России, возлагаются большие надежды. Несомненно, при научно обоснованном проведении этого эксперимента будут сформированы составные фрагменты начала государственной реализации всех четырех предложенных приоритетных направлений развития системной инженерии.

### 3.3. Пояснения к предлагаемым целенаправленным шагам

По сути предложенные пять целенаправленных шагов (см. рис. 3) в той или иной мере пронизывают все описанные выше четыре приоритетных направления развития системной инженерии. С некоторыми вариациями они применимы в жизненном цикле любого рода систем, составных элементов или совокупности рассматриваемых систем или элементов при их построении и эксплуатации, в т.ч. при выполнении всех 30 стандартных процессов соглашения, организационного обеспечения проекта, технического управления и технических процессов (подробный перечень процессов представлен выше в 3.1, также см. ГОСТ Р 57193). Эти целенаправленные шаги представляет собой укрупненные вехи в жизненном цикле системы, в рамках процесса могут быть использованы один или несколько шагов (т.е. какие необходимы). Эти вехи характеризуются получением выходных результатов стандартных процессов с использованием обоснованных логичных решений, подтвержденных прогнозными исследованиями по достижению требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития систем с обеспечением прослеживаемости логики принимаемых решений от идеи до достигаемого эффекта — см. рис. 1.

#### 1-й шаг: от прагматической фильтрации информации → к перспективным идеям и целенаправленным замыслам.

По сложившейся за десятилетия традиции в настоящее время лицо, принимающее решение (ЛПР), при формировании идей и замыслов, руководствуется в первую очередь своим опытом, знаниями и обладаемой информацией (получаемой из различных информационных систем и иных источников, в т.ч. через Интернет). Получаемая при формировании перспективных идей и целенаправленных замыслов информация должна не только иметь прямое или косвенное отношение к делу, но и обладать высоким качеством. Чтобы была возможность обеспечить требуемый уровень качества используемой информации, само качество должно быть объективно оцениваемым количественно — см. пример определения качества информации на рис. 5. Интуитивно формируя идеи, которые кажутся правильными, ЛПР выбирает лишь ту информацию, которая подтверждает правильность своей идеи. Опровергающая ин-

формация сегодня чаще игнорируется, реже — приводит к изменению начальной идеи. И это не из-за того, что ЛПР пытается выделиться, а лишь из-за того, что за отведенное время при отсутствии или ограниченности состава и возможностей используемых моделей и методов системной инженерии трудно исследовать по единым критериям сразу несколько идей. Поэтому отбираются 2-3 идеи, а если идей десятки — сотни, то сравнить их эффективность при множестве учитываемых факторов под силу лишь искусственному интеллекту. По сути — это начальная стадия прагматической фильтрации информации. По мере совершенствования аналитических возможностей системной инженерии (включая развитие моделей и методов, технологий сбора и получения необходимой информации) ЛПР сможет исследовать перспективность полного множества возможных идей, в первую очередь по выбранным критериям безопасности, качества, сбалансированности эффектов и/или устойчивости функционирования и развития систем. Более того, любая количественно обоснованная перспективная идея может быть развита до уровня целенаправленного замысла для системы. В этом случае степень достижения сформулированных целей замысла может и должна быть оценена с использованием показателей прогнозируемых рисков или иных объективных показателей. По сути описанное выше — это укрупненное описание логики шага 1: от прагматической фильтрации информации → к перспективным идеям и целенаправленным замыслам.

#### 2-й шаг: от перспективных идей и целенаправленных замыслов → к формализации неопределенностей.

Формализация неопределенности предполагает построение вероятностных моделей. Предлагаемые модели к использованию модели должны базироваться на классически построенном вероятностном пространстве  $(\Omega, \mathcal{B}, P)$ , где  $\Omega$  — конечное пространство элементарных событий;  $\mathcal{B}$  — класс всех подмножеств множества  $\Omega$ , удовлетворяющий свойствам сигма-алгебры;  $P$  — вероятностная мера на пространстве элементарных событий. При этом, поскольку пространство  $\Omega = \{\omega_k\}$  — конечное, в моделях установлено отображение  $\omega_k \rightarrow p_k = P(\omega_k)$  такое, что  $p_k \geq 0$  и  $\sum_k p_k = 1$ . Правила построения и примеры формализации неопределенностей см., например, в [29].

#### 3-й шаг: от формализации неопределенностей → к познанию закономерностей и логичным решениям.

В формализации неопределенностей наивысшим достижением моделирования является построенное вероятностное пространство  $(\Omega, \mathcal{B}, P)$ , позволяющее вычислять вероятность нарушения целостности системы (например, безопасности или качества) за время  $t$ . Если время  $t$  распространить на всю временную ось, то речь идет о функции распределения (ФР) времени до нарушения целостности системы.

Ориентируясь на простейшую аппроксимацию экспоненциальной ФР (с одним параметром), можно легко констатировать выполнение или невыполнение задаваемых требований к уровню допустимых рисков. Ниже «пограничной полосы» — требование выполнено, выше — не выполнено! И это — все извлекаемые знания... Из «плюсов» — лишь удобство сравнения. И все...

Ориентируясь на более адекватную ФР (например — с помощью моделей [15-18]), если при ее создании для каждого критичного составного элемента задавались характеристики





угроз и предпринимаемые меры противодействия угрозам, возможно извлечение следующих знаний:

- рассчитать реальную зависимость вероятности нарушения целостности системы и составных подсистем от характеристик разнородных угроз и предпринимаемых мер противодействия угрозам;
- оценить точность прогнозирования по сравнению с экспоненциальной аппроксимацией ФР;
- определить период эффективного функционирования, в течение которого нарушений не ожидается (по критерию не превышения 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 не ожидается (по критерию не превышения допустимых рисков) с соответствующими периодами при экспоненциальной аппроксимации ФР.

Кроме того, построив более адекватную ФР, возможно обычными расчетными методами извлечь дополнительные знания — см, например, [15-18]:

- рассчитать среднюю наработку на нарушение и, как обратную к ней величину — частоту нарушений целостности системы и составных подсистем в условиях задаваемых разнородных угроз и предпринимаемых мер противодействия угрозам;
- сравнить среднюю наработку на нарушение целостности или частоту нарушений целостности системы (и подсистем) со средней наработкой или частотой нарушений целостности при экспоненциальной аппроксимации ФР.

Именно построение и оперирование более адекватной ФР позволяет выявить и познать какие-либо закономерности в ожидаемом поведении систем и выработать логичные решения.

**4-й шаг: от познания закономерностей и логичных решений → к рациональному управлению рисками.** Познание закономерностей и логичных решений позволяет перейти к рациональному управлению рисками. Ключевое слово «рациональность» предполагает использование оптимизирующих критериев принятия тех или иных решений при использовании риск-ориентированного подхода. Зафиксировав уровни «допустимых рисков» для системы и составных подсистем, а также, считая неизменными все параметры, за исключением одного, возможно решение различных оптимизационных задач, связанных с обоснованием эффективных упреждающих мер обеспечения целостности системы в условиях разнородных угроз. Классическими задачами являются максимизация эффекта (уровня качества или безопасности и др.) или минимум рисков, возможных ущербов при ограничениях или минимизация затрат при ограничениях на допустимые риски и иных ограничениях. Для расчетов могут быть использованы модели, поддерживаемые инструментально-моделирующими комплексами [7-28].

Сбалансированное упреждающее управление процессами возникновения, развития, контроля и нейтрализации возможных угроз осуществляется в рамках формальных постановок оптимизационных задач путем целенаправленного использования моделей и выбранных критериев рациональности при ограничениях на ресурсы и варианты реализации процессов. Смысл применения оптимизационных постановок задач в следующем — за счет упреждающего выбора рациональных значений управляемых параметров анализируемых сценариев угроз и реализуемых мер упреждения и реакции:

- избежать излишних затрат при допустимых рисках и заданных критичных ограничениях на этапах концепции и технического задания (ТЗ), разработки, производства, эксплуатации и сопровождения системы и отдельных ее подсистем и элементов;
- минимизировать риски в процессе эксплуатации системы и отдельных ее подсистем и элементов при заданных критичных ограничениях.

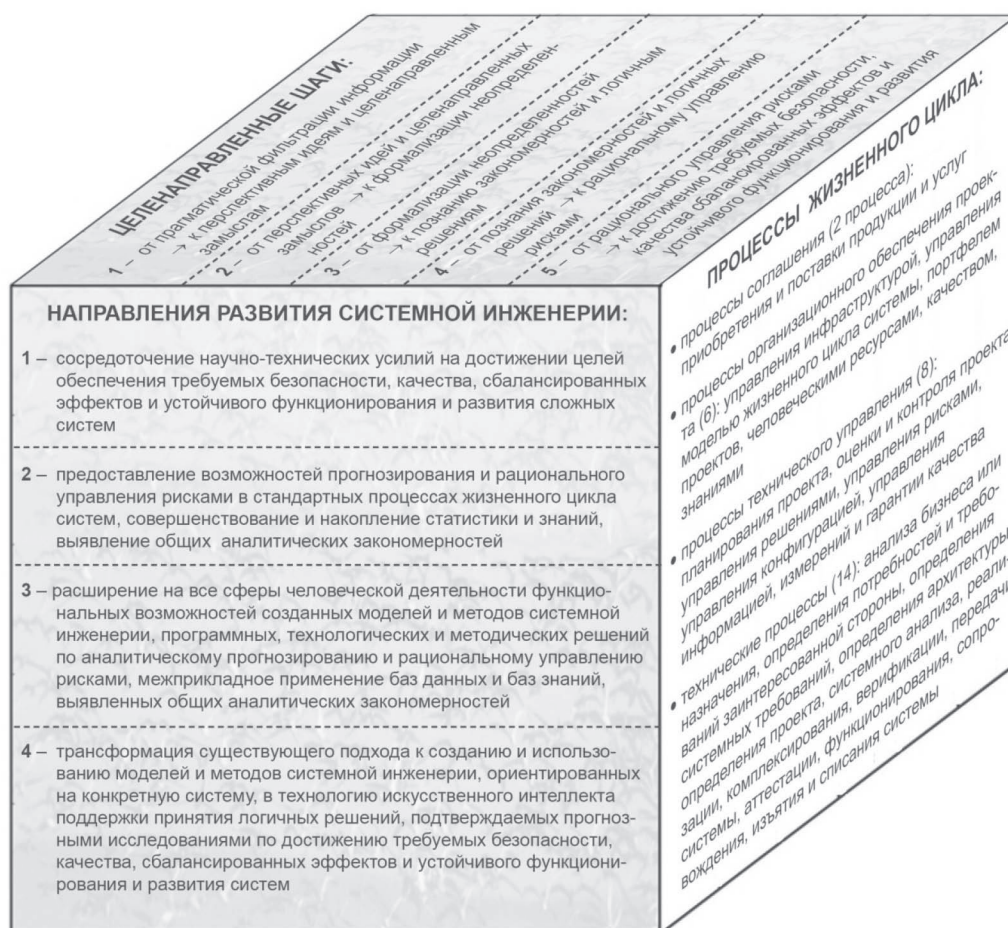
Описанные выше подходы в той или иной мере регламентированы на уровне стандартов ГОСТ 22.2.04 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные аварии и катастрофы. Метрологическое обеспечение контроля состояния сложных технических систем. Основные положения и правила», ГОСТ Р ИСО 13381-1 «Контроль состояния и диагностика машин. Прогнозирование технического состояния. Часть 1. Общее руководство», ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 «Менеджмент риска. Методы оценки риска», ГОСТ Р 51901.1 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем», ГОСТ Р 54877 «Менеджмент знаний. Руководство для персонала при работе со знаниями. Измерение знаний», ГОСТ Р 57193 «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем», ГОСТ Р 57272.1 «Менеджмент риска применения новых технологий. Часть 1. Общие требования», ГОСТ Р МЭК 61069 «Измерение, управление и автоматизация промышленного процесса. Определение свойств системы с целью ее оценки (часть 2 — Методология оценки, часть 7 — Оценка безопасности системы)» и др. Более подробно методы описаны в национальном стандарте ГОСТ Р 58494-2019 «Оборудование горно-шахтное. Многофункциональные системы безопасности угольных шахт. Система дистанционного контроля опасных производственных объектов (ОПО)», вводимом в действие с 01.01.2020г. Применение последнего стандарта в жизненном цикле ОПО обеспечивает: раннее распознавание и оценку развития предпосылок к инцидентам и нарушению нормальных условий функционирования ОПО; прогнозирование рисков, выявление явных и скрытых недостатков и угроз, поддержку принятия решений по предотвращению в режиме реального времени возникновения на ОПО предаварийных и аварийных условий функционирования; определение сбалансированных мер обеспечения безопасности при средне- и долгосрочном планировании; обоснование предложений по совершенствованию и развитию многофункциональных систем безопасности по результатам системного анализа информации мониторинга. Эти же идеи заложены и реализованы в последних ГОСТ Р 59329 — ГОСТ Р 59357-2021, посвященных решению задач защиты информации в стандартных процессах жизненного цикла систем.





**5-й шаг: от рационального управления рисками → к достижению требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития.** 5-й шаг означает, что рациональное управление рисками должно привести к достижению прагматических целей, в той или иной степени связанных с достижением требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития системы. Реализация этого шага продемонстрирована на примере. Так, в России создан комплекс обеспечения техногенной безопасности на объектах газораспределения нефтегазовой отрасли, служащий ярким примером достижения прагматических эффектов с использованием предложенных методов аналитического прогнозирования рисков. В созданном комплексе периферийные газорегуляторные пункты дополнительно оснащены датчиками вибрации (фиксирование землетрясения), пожара, наводнения, несанкционированного доступа, урагана, видеоизображение внутренней и внешней обстановки, а также интеллектуальными средствами реакции, способными реализовать процедуры распознавания, идентификации и раннего прогнозирования развития нештатных ситуаций. Реализован-

ные технологические возможности использования космической связи позволяют реагировать за секунды. Эксплуатация комплекса в Калужской и Курской областях в обеспечила безаварийное функционирование нефтегазовых объектов (до этого — по несколько аварийных ситуаций в год). Применение комплекса в период 2009-2014гг. обеспечило возможность экономии 8,5 млрд рублей, что достигнуто за счет эффективного внедрения функций прогнозирования рисков и обеспечения техногенной безопасности в технологического процессы контроля и мониторинга газораспределения. В 2015г. работа была удостоена премии Правительства РФ в области науки и техники [15]. Достижение требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития Комплекса демонстрируют прагматические результаты всех пяти шагов, реализованных при его создании и эксплуатации. Другие примеры см. в [15-28]. Таким образом, взаимосвязь предлагаемых приоритетных направлений развития системной инженерии и применимые к системе в целом, ее составным элементам или совокупности рассматриваемых систем или элементов при выполнении стандартных процессов отражена на рис. 5.



Р и с. 5. Взаимосвязь предлагаемых приоритетных направлений развития системной инженерии, применимые при выполнении стандартных процессов  
Fig. 5. The relationship of the proposed priority areas for the development of system engineering, applicable to the standard processes implementation



Переход к принципу «от общего знания — к частному применению» не только назрел и возможен уже в настоящее время, не дожидаясь полной реализации на государственном уровне всех четырех направлений развития системной инженерии. Основанием для такого вывода служит накопление начального объема знаний и создание национальных стандартов по системной инженерии, включивших в себя разносторонние универсальные модели и методы, определяющие аналитическое содержание и роль перспективной системной инженерии для разных прикладных областей. Использование необходимых стандартных процессов в жизненном цикле системы (а в рамках каждого из реализуемых процессов — целенаправленных шагов и методов системной инженерии) позволят получать выходные результаты процессов с использованием обоснованных логичных решений, подтвержденных в жизненном цикле систем прогнозными исследованиями по достижению требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффек-

тов и устойчивого функционирования и развития. Результаты будут одинаково понимаемыми на уровне вероятностных прогнозов рисков, идентично интерпретируемыми и сравнимыми для различного рода систем. Прослеживаемость эффективности научно-технических системных усилий от замыслов до получаемых итоговых результатов также будет обеспечена. При этом возможна практическая адаптация предложенного подхода. Например, согласно «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» перспективные направления развития системной инженерии в интересах эффективной реализации такого стратегического национального приоритета, связанного с обеспечения научно-технологического развития страны, могут быть адаптированы на достижение цели государственной политики и эффективное решение задач в этой сфере — см. рис. 6 (нумерация внутри рисунка соответствует нумерации в «Стратегии...»).

### СТРАТЕГИЧЕСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРИОРИТЕТ

|   |  |
|---|--|
| 26.6) научно-технологическое развитие<br>Цель: обеспечение технологической независимости и конкурентоспособности страны, достижения национальных целей развития и реализации стратегических национальных приоритетов  |  |
| 76. ЗАДАЧИ, ПОДЛЕЖАЩИЕ РЕШЕНИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1) выработка и реализация на федеральном, региональном, отраслевом и корпоративном уровнях согласованной политики, обеспечивающей переход российской экономики на новую технологическую основу;</li> <li>3) создание единой государственной системы управления научной, научно-технической и инновационной деятельностью;</li> <li>5) ускоренное внедрение в промышленное производство результатов научных исследований для обеспечения полного научно-производственного цикла в соответствии с приоритетами социально-экономического, научного и научно-технологического развития Российской Федерации;</li> <li>6) совершенствование системы фундаментальных научных исследований как важнейшей составляющей устойчивого развития Российской Федерации;</li> <li>7) модернизация и развитие научной, научно-технической и инновационной инфраструктуры;</li> <li>9) создание и развитие на территории Российской Федерации сети научных установок класса "мегасайенс", крупных исследовательских инфраструктур, центров коллективного пользования научно-технологическим оборудованием, экспериментального производства и инжиниринга;</li> <li>12) создание национальной системы оценки результативности научной, научно-технической и инновационной деятельности;</li> <li>14) развитие перспективных высоких технологий (нанотехнологии, робототехника, медицинские, биологические, геномной инженерии, информационно-коммуникационные, квантовые, искусственного интеллекта, обработки больших данных, энергетические, лазерные, аддитивные, создания новых материалов, когнитивные, природоподобные технологии), суперкомпьютерных систем;</li> <li>15) развитие междисциплинарных исследований;</li> <li>17) проведение научных и научно-технических исследований в интересах обороны страны и безопасности государства;</li> <li>18) активизация научных исследований в области обеспечения биологической, радиационной и химической безопасности Российской Федерации;</li> <li>19) обеспечение передачи знаний и технологий между оборонным и гражданским секторами экономики;</li> <li>23) подготовка научных и научно-педагогических кадров, высококвалифицированных специалистов по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации</li> </ul> |  |
| НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1 – сосредоточение научно-технических усилий на достижении целей обеспечения требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития систем в научно-технологической сфере;</li> <li>2 - предоставление возможностей прогнозирования и рационального управления рисками в стандартных процессах жизненного цикла систем, совершенствование и накопление статистики и знаний, выявление общих аналитических закономерностей в научно-технологической сфере;</li> <li>3 – расширение на все сферы человеческой деятельности функциональных возможностей созданных моделей и методов системной инженерии, программных, технологических и методических решений по аналитическому прогнозированию и рациональному управлению рисками, межприкладное применение баз данных и баз знаний, выявленных общих аналитических закономерностей в научно-технологической сфере;</li> <li>4 – трансформация существующего подхода к созданию и использованию моделей и методов системной инженерии, ориентированных на конкретную систему, в технологию искусственного интеллекта поддержки принятия логичных решений, подтверждаемых прогнозными исследованиями по достижению требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития систем в научно-технологической сфере</li> </ul>   |  |

Р и с. 6. Направления развития системной инженерии в интересах обеспечения научно-технологического развития

Fig. 6. Directions of system engineering for science and technology development





## Заключение

В результате анализа прогнозов применения системной инженерии в мире предложено пересмотреть и модифицировать сложившиеся научно-технические взгляды на роль и место системной инженерии в России. Учитывая появление различных сторонних технологий, универсальных моделей и методов, определяющих аналитическое содержание и роль системной инженерии, предложено, чтобы именно они с накопленными знаниями их применения в разных прикладных областях выступали побуждающим стимулом совершенствования и помогали выработать для конкретных систем целенаправленные шаги, ведущие к достижению научно обоснованных количественных требований в части безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития системы. Согласно появившимся аналитическим возможностям, допускающим и предполагающим их совершенствование и развитие, место перспективной системной инженерии определено как изначально диктующее целенаправленные приоритеты и направления по отношению к существующим подходам, применяемым в рамках конкретной системы на уровне реализуемых процессов. В предлагаемом модифицированном взгляде на роль и место системной инженерии в качестве первостепенных для любого рода систем всюду по жизненному циклу определены и детализированы:

- приоритетные направления развития существующей системной инженерии для эффективного применения прогнозируемых достижений науки, техники и технологий, освоение которых позволит получить научно обоснованный ответ на вопрос «Как достичь требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивых функционирования и развития системы?»;
- целенаправленные шаги, применимые к системе в целом, ее составным элементам или совокупности рассматриваемых систем или элементов при выполнении стандартных процессов (везде, где это уместно и применимо).

Безотлагательное использование необходимых стандартных процессов в жизненном цикле системы (а в рамках каждого из реализуемых процессов — предложенных целенаправленных шагов и методов системной инженерии, зафиксированных на уровне национальных стандартов — см., например, ГОСТ Р 57494-2019, ГОСТ Р 59329 — ГОСТ Р 59357-2021) позволят получать выходные результаты процессов с использованием обоснованных логичных решений, подтвержденных в жизненном цикле систем прогнозными исследованиями по достижению требуемых безопасности, качества, сбалансированных эффектов и устойчивого функционирования и развития. Результаты будут одинаково понимаемыми на уровне вероятностных прогнозов рисков, идентично интерпретируемыми и сравнимыми для различного рода систем. При этом обеспечивается прослеживаемость эффективности научно-технических системных усилий от замыслов до получаемых итоговых результатов. Работоспособность подхода подтверждена практикой [2-28].

## Список использованных источников

- [1] Гуд, Г. Х. Системотехника: Введение в проектирование больших систем / Г. Х. Гуд, Р. З. Макол. — М.: Советское радио, 1962. — 383 с.
- [2] Костогрызов, А. И. Основы оценки, обеспечения и повышения качества выходной информации в АСУ организационного типа / А. И. Костогрызов, А. В. Петухов, А. М. Щербина. — М.: Изд. Вооружение. Политика. Конверсия, 1994. — 278 с.
- [3] Костогрызов, А. И. Сертификация функционирования автоматизированных информационных систем / А. И. Костогрызов, В. В. Липаев. — М.: Изд. Вооружение. Политика. Конверсия, 1996. — 280 с.
- [4] Kostogryzov, A. I. Software Tools Complex for Evaluation of Information Systems Operation Quality (CEISOQ) / A. I. Kostogryzov // Proceedings of the 34-th Annual Event of the Government Electronics and Information Association (GEIA). — Engineering and Technical Management Symposium, USA, Dallas, 2000. — Pp. 63-70.
- [5] Безкоровайный, М. М. Инструментально-моделирующий комплекс для оценки качества функционирования информационных систем КОК. 150 задач анализа и синтеза и примеров их решения / М. М. Безкоровайный, А. И. Костогрызов, В. М. Львов. — М.: Изд. Вооружение. Политика. Конверсия, 2002. — 304 с.
- [6] Костогрызов, А. И. Стандартизация, математическое моделирование, рациональное управление и сертификация в области системной и программной инженерии / А. И. Костогрызов, Г. А. Нистратов. — М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2005. — 395 с.
- [7] Костогрызов, А. И. Инновационное управление качеством и рисками в жизненном цикле систем / А. И. Костогрызов, П. В. Степанов. — М.: Изд. Вооружение. Политика. Конверсия, 2008. — 404 с.
- [8] Mathematical Models and Applicable Technologies to Forecast, Analyze, and Optimize Quality and Risks for Complex Systems / A. Kostogryzov [и др.]. — DOI 10.1061/41177(415)107 // Proceedings of the First International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS). — Wuhan, China: American Society of Civil Engineers, 2011. — Pp. 845-854.
- [9] Kostogryzov, A. Some Applicable Methods to Analyze and Optimize System Processes in Quality Management / A. Kostogryzov, G. Nistratov, A. Nistratov. — DOI 10.5772/46106 // Total Quality Management and Six Sigma; ed. by T. Aized. — London: IntechOpen, 2012. — Pp. 127-196.
- [10] Kostogryzov, A. Prediction and Optimization of System Quality and Risks on the Base of Modelling Processes / A. Kostogryzov, L. Grigoriev, G. Nistratov, A. Nistratov, V. Krylov. — DOI 10.4236/ajor.2013.31A021 // American Journal of Operations Research. — 2013. — Vol. 3, No. 1A. — Pp. 217-244.
- [11] 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. Н. А. Махутова. — М.: МГОФ «Знание», 2015. — 936 с.



- [12] Sommerville, I. Software Engineering / I. Sommerville. — 9th Ed. — Addison-Wesley, 2010. — 792 p.
- [13] Fundamentals of Software Engineering / C. Ghezzi, M. Jazayeri, D. Mandrioli. — 2nd Ed. — Pearson, 2002. — 604 p.
- [14] Braude, E. J. Software Engineering: Modern Approaches / E. J. Braude, M. E. Bernstein. — 2nd Ed. — Wiley, 2010. — 800 p.
- [15] Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Техногенная, технологическая и техносферная безопасность / Н. В. Абросимов, А. И. Агеев, Е. О. Адамов [и др.]; под ред. Н. А. Махутова. — М.: МГОФ «Знание», 2018. — 1016 с.
- [16] Artemyev, V. Probabilistic methods of estimating the mean residual time before the next parameters abnormalities for monitored critical systems / V. Artemyev, A. Kostogryzov, J. Rudenko, O. Kurpatov, G. Nistratov, A. Nistratov. — DOI 10.1109/ICRSRS.2017.8272850 // 2017 2nd International Conference on System Reliability and Safety (ICRSRS). — Milan, Italy: IEEE Press, 2017. — Pp. 368-373.
- [17] Kostogryzov, A. About probabilistic risks analysis during longtime grain storage / A. Kostogryzov, P. Stepanov, A. Nistratov, O. Atakishchev // Proceedings of the 2nd International Conference on the Social Science and Teaching Research (ACSS-SSTR); ed. by H. Zhang. — Vol. 18: Advances in Social and Behavioral Science. — Singapore: Management and Sports Science Institute, PTE.Ltd., 2017. — Pp. 3-8.
- [18] Kostogryzov, A. The method of rational dispatching a sequence of heterogeneous repair works / A. Kostogryzov, O. Atakishchev, A. Nistratov, G. Nistratov, S. Klimov, L. Grigoriev. — DOI 10.6001/energetika.v63i4.3624 // Energetica. — 2017. — Vol. 63, No. 4. — Pp. 154-162.
- [19] Kostogryzov, A. 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 / A. Kostogryzov [и др.]. — DOI 10.12783/dtetr/amsm2017/14857 // Proceedings of the 2nd International Conference on Applied Mathematics, Simulation and Modelling (AMSM). — Phuket, Thailand: DEStech Publications Inc., 2017. — Pp. 279-283.
- [20] Kostogryzov, A. Probabilistic modelling processes of mutual monitoring operators actions for transport systems / A. Kostogryzov [и др.]. — DOI 10.1109/ICTIS.2017.8047869 // 2017 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS). — Banff, AB, Canada, IEEE Press, 2017. — Pp. 865-871.
- [21] Kostogryzov, A. Optimization of sequence of performing heterogeneous repair work for transport systems by criteria of timeliness / A. Kostogryzov [и др.]. — DOI 10.1109/ICTIS.2017.8047870 // 2017 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS). — Banff, AB, Canada, IEEE Press, 2017. — Pp. 872-876.
- [22] Kostogryzov, A. Probabilistic Modeling of Robotic and Automated Systems Operating in Cosmic Space / A. Kostogryzov [и др.]. — DOI 10.12783/dtce/cnai2018/24174 // Proceedings of the International Conference on Communication, Network and Artificial Intelligence (CNAI). — Beijing, China: DEStech Publications Inc., 2018. — Pp. 298-303.
- [23] Kostogryzov, A. The Experience of Probabilistic Modeling and Optimization of a Centralized Heat Supply System Which is an Object for Modernization / A. Kostogryzov [и др.]. — DOI 10.12783/dtce/pcmm2018/23643 // International Conference on Physics, Computing and Mathematical Modeling (PCMM). — Shanghai: DEStech Publications Inc., 2018. — Pp. 93-97.
- [24] Artemyev, V. 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 / V. Artemyev, J. Rudenko, G. Nistratov. — DOI 10.5772/intechopen.75109 // Probabilistic Modeling in System Engineering; ed. by A. Kostogryzov. — London: IntechOpen, 2018. — Pp. 23-51.
- [25] Kershenbaum, V. Probabilistic Modeling Processes for Oil and Gas / V. Kershenbaum, L. Grigoriev, P. Kanygin, A. Nistratov. — DOI 10.5772/intechopen.74963 // Probabilistic Modeling in System Engineering; ed. by A. Kostogryzov. — London: IntechOpen, 2018. — Pp. 55-79.
- [26] Kostogryzov, A. The Probabilistic Analysis of the Possibilities to Keep “Organism Integrity” by Continuous Monitoring / A. Kostogryzov [и др.]. — DOI 10.2991/mmsa-18.2018.96 // Proceedings of the 2018 International Conference on Mathematics, Modelling, Simulation and Algorithms (MMSA 2018). — Chengdu, China: Atlantis Press, 2018. — Pp. 432-435.
- [27] Kostogryzov, A. Probabilistic Methods for Cognitive Solving of Some Problems in Artificial Intelligence Systems / A. Kostogryzov, V. Korolev. — DOI 10.5772/intechopen.89168 // Probability, Combinatorics and Control; ed. by A. Kostogryzov, V. Korolev. — London: IntechOpen, 2019. — Pp. 3-34.
- [28] Kostogryzov, A. Analytical Risks Prediction. Rationale of System Preventive Measures for Solving Quality and Safety Problems / A. Kostogryzov, A. Nistratov, G. Nistratov. — DOI 10.1007/978-3-030-46895-8\_27 // Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science; ed. by V. Sukhomlin, E. Zubareva. Vol. 1201. — Springer, Cham, 2020. — Pp. 352-364.
- [29] Feller, W. An Introduction to Probability Theory and Its Applications. — Vol. 2. — 2nd Ed. — Wiley, 1991. — 704 p.

*Поступила 20.04.2021; одобрена после рецензирования  
17.05.2021; принята к публикации 10.06.2021.*

#### Об авторах:

**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](mailto:akostogr@gmail.com)

**Нистратов Андрей Андреевич**, старший научный сотрудник, ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (119333, Российская Федерация, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44-2), кандидат технических наук, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0688-4156>**, [Andrey.Nistratov@gmail.com](mailto:Andrey.Nistratov@gmail.com)

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*





## References

- [1] Goode H.H., Machol R.E. System Engineering: An Introduction to the Design of Large-Scale Systems. New York: McGraw-Hill; 1957. 551 p. (In Eng.)
- [2] Kostogryzov A.I., Petukhov A.V., Shcherbina A.M. *Osnovy ocenki, obespechenija i povyshenija kachestva vyhodnoj informacii v ASU organizacionnogo tipa* [Fundamentals of Assessing, Ensuring and Improving the Quality of Output Information in an Organizational Type Automated Control System]. Armament. Policy. Conversion, Moscow; 1994. 278 p. (In Russ.)
- [3] Kostogryzov A.I., Lipaev V.V. *Sertifikacija funkcionirovanija avtomatizirovannyh informacionnyh sistem* [Certification of Functioning of Automated Information Systems]. Armament. Policy. Conversion, Moscow; 1996. 280 p. (In Russ.)
- [4] Kostogryzov A.I. Software Tools Complex for Evaluation of Information Systems Operation Quality (CEISOQ). *Proceedings of the 34-th Annual Event of the Government Electronics and Information Association (GEIA)*. Engineering and Technical Management Symposium, USA, Dallas; 2000. p. 63-70. (In Eng.)
- [5] Bezkorovainy M.M., Kostogryzov A.I., Lvov V.M. *Instrumental'no-modelirujushhij kompleks dlja ocenki kachestva funkcionirovanija informacionnyh sistem KOK* [Instrumental-simulating complex for assessing the quality of functioning of KOC information systems]. Armament. Policy. Conversion, Moscow; 2002. 304 p. (In Russ.)
- [6] Kostogryzov A.I., Nistratov G.A. *Standartizacija, matematicheskoe modelirovanie, racional'noe upravlenie i sertifikacija v oblasti sistemnoj i programmnoj inzhenerii* [Standardization, Mathematical Modelling, Rational Management and Certification in the Field of System and Software Engineering]. Armament. Policy. Conversion, Moscow; 2005. 395 p. (In Russ.)
- [7] Kostogryzov A.I., Stepanov P.V. *Innovacionnoe upravlenie kachestvom i riskami v zhiznennom cikle sistem* [Innovative management of quality and risks in systems life cycle]. Armament. Policy. Conversion, Moscow; 2008. 404 p. (In Russ.)
- [8] Kostogryzov A.I. et al. Mathematical Models and Applicable Technologies to Forecast, Analyze, and Optimize Quality and Risks for Complex Systems. *Proceedings of the First International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*. American Society of Civil Engineers, Wuhan, China; 2011. p. 845-854. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1061/41177\(415\)107](https://doi.org/10.1061/41177(415)107)
- [9] Kostogryzov A., Nistratov G., Nistratov A. Some Applicable Methods to Analyze and Optimize System Processes in Quality Management. In: Ed. by T. Aized. *Total Quality Management and Six Sigma*. IntechOpen, London; 2012. p. 127-196. (In Eng.) DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/46106>
- [10] 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. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.4236/ajor.2013.31A021>
- [11] Abrosimov N.V. et al. *Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Nauchnye osnovy tehnogennoj bezopasnosti* [Security of Russia. Legal, socio-economic, and scientific and technical aspects. Scientific bases of technogenic safety]. Ed. by N. A. Mahutov. Znanie publ., Moscow; 2015; 936 p. (In Russ.)
- [12] Sommerville I. *Software Engineering*. 9th Ed. Addison-Wesley; 2010. 792 p. (In Eng.)
- [13] Ghezzi C., Jazayeri M., Mandrioli D. *Fundamentals of Software Engineering*. 2nd Ed. Pearson; 2002. 604 p. (In Eng.)
- [14] Braude E.J., Bernstein M.E. *Software Engineering: Modern Approaches*. 2nd Ed. Wiley; 2010. 800 p. (In Eng.)
- [15] Abrosimov N.V. et al. *Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Tehnogennaja, tehnologicheskaja i tehnosfernaja bezopasnost'* [Security of Russia. Legal, socio-economic, and scientific and technical aspects. Technogenic, technological and technosphere safety]. Ed. by N. A. Mahutov. Znanie publ., Moscow; 2018; 1016 p. (In Russ.)
- [16] 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. *2017 2nd International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS)*. IEEE Press, Milan, Italy; 2017. p. 368-373. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSRS.2017.8272850>
- [17] Kostogryzov A., Stepanov P., Nistratov A., Atakishchev O. About probabilistic risks analysis during longtime grain storage. In: Ed. by H. Zhang. *Proceedings of the 2nd International Conference on the Social Science and Teaching Research (ACSS-SSTR)*. Vol. 18: Advances in Social and Behavioral Science. Singapore: Management and Sports Science Institute, PTE.Ltd.; 2017. p. 3-8.
- [18] Kostogryzov A., Atakishchev O., Nistratov A., Nistratov G., Klimov S., Grigoriev L. The method of rational dispatching a sequence of heterogeneous repair works. *Energetika*. 2017; 63(4):154-162. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v63i4.3624>
- [19] 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. *Proceedings of the 2nd International Conference on Applied Mathematics, Simulation and Modelling (AMSM)*. DEStech Publications Inc., Phuket, Thailand; 2017. p. 279-283. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.12783/dtetr/amsm2017/14857>
- [20] Kostogryzov A., Atakishchev O., Stepanov P., Nistratov A., Nistratov G., Grigoriev L. Probabilistic modelling processes of mutual monitoring operators actions for transport systems. *2017 4th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*. IEEE Press, Banff, AB, Canada; 2017. p. 865-871. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/ICTIS.2017.8047869>
- [21] 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 Trans-*



- portation Information and Safety (ICTIS). IEEE Press Banff, AB, Canada; 2017. p. 872-876. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/ICTIS.2017.8047870>
- [22] Kostogryzov A., Grigoriev L., Golovin S., Nistratov A., Nistratov G., Klimov S. Probabilistic Modeling of Robotic and Automated Systems Operating in Cosmic Space. *Proceedings of the International Conference on Communication, Network and Artificial Intelligence (CNAI)*. DEStech Publications Inc., Beijing, China; 2018. p. 298-303. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.12783/dtce/cnai2018/24174>
- [23] 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. *International Conference on Physics, Computing and Mathematical Modeling (PCMM)*. DEStech Publications Inc., Shanghai; 2018. p. 93-97. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.12783/dtce/pcmm2018/23643>
- [24] 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: Ed. by A. Kostogryzov. *Probabilistic Modeling in System Engineering*. IntechOpen, London; 2018. p. 23-51. (In Eng.) DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.75109>
- [25] Kershenbaum V., Grigoriev L., Kanygin P., Nistratov A. Probabilistic Modeling Processes for Oil and Gas. In: Ed. by A. Kostogryzov. *Probabilistic Modeling in System Engineering*. IntechOpen, London; 2018. p. 55-79. (In Eng.) DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74963>
- [26] 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. *Proceedings of the 2018 International Conference on Mathematics, Modelling, Simulation and Algorithms (MMSA 2018)*. Atlantis Press, Chengdu, China; 2018. p. 432-435. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.2991/mmsa-18.2018.96>
- [27] Kostogryzov A., Korolev V. Probabilistic Methods for Cognitive Solving of Some Problems in Artificial Intelligence Systems. In: Ed. by A. Kostogryzov, V. Korolev. *Probability, Combinatorics and Control*. IntechOpen, London; 2019. p. 3-34. (In Eng.) DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89168>
- [28] Kostogryzov A., Nistratov A., Nistratov G. Analytical Risks Prediction. Rationale of System Preventive Measures for Solving Quality and Safety Problems. In: Ed. by V. Sukhomlin, E. Zubareva. *Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science*. 2020; 1201:352-364. Springer, Cham; 2020. (In Eng.) DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-46895-8\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-46895-8_27)
- [29] Feller W. *An Introduction to Probability Theory and Its Applications*. Vol. 2. 2nd Ed. Willy; 1991. 704 p. (In Eng.)

Submitted 20.04.2021; approved after reviewing 17.05.2021;  
accepted for publication 10.06.2021.

#### About the authors:

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

**Andrey A. Nistratov**, Senior Researcher, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences (44-2 Vavilov St., Moscow 119333, Russian Federation), Ph.D. (Technology), **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0688-4156>**, [Andrey.Nistratov@gmail.com](mailto:Andrey.Nistratov@gmail.com)

*All authors have read and approved the final manuscript.*

