

УДК 004.413.4:658.5.012.7  
Научная специальность: 1.1.4; 5.2.6

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2024

# Методический подход к количественной оценке риска срыва плановых сроков реализации проектов поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний

**Демкин И.В.\*,**  
**Ковалев С.А.,**  
**Митченко А.А.,**  
Газпром ВНИИГАЗ,  
142717, Россия,  
Московская обл.,  
г.о. Ленинский, п. Развилка,  
ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1.

## Аннотация

В статье представлены результаты исследований по обоснованию использования методов и моделей управления рисками проектов для решения задачи количественной оценки риска срыва организациями с различными уровнями технологической и производственной готовности плановых сроков реализации проектов разработки, изготовления и поставки нового технологического оборудования на производственные объекты нефтегазовых компаний.

**Ключевые слова:** риск; срыв сроков проекта; инновационное оборудование; нефтегазовые компании; модель оценки риска; идентификация факторов.

**Для цитирования:** Демкин И.В., Ковалев С.А., Митченко А.А. Методический подход к количественной оценке риска срыва плановых сроков реализации проектов поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 2. С. 54–77.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

# A Methodological Approach to Quantifying the Risks of Disrupting the Planned Deadlines for the Implementation of Projects for the Supply of New Technological Equipment to the Facilities of Oil and Gas Companies

Igor V. Demkin\*,  
Sergey A. Kovalev,  
Anton A. Mitchenko,  
Gazprom VNIIGAZ,  
Gazovikov str., 15/1, Razvilka,  
Moscow reg., 142717, Russia

## Abstract

The article presents the results of research on the justification of the use of methods and models of project risk management to solve the problem of quantifying the risk of failure by organizations with different levels of technological and production readiness of the planned deadlines for the implementation of projects for the development, manufacture and supply of new technological equipment to production facilities of oil and gas companies.

**Keywords:** risk; project deadlines; innovative equipment; oil and gas companies; risk assessment model; identification of factors.

**For citation:** Demkin I.V., Kovalev S.A., Mitchenko A.A. A methodological approach to quantifying the risks of disrupting the planned deadlines for the implementation of projects for the supply of new technological equipment to the facilities of oil and gas companies // Issues of Risk Analysis. 2024;21(2):54-77. (In Russ.).

**The authors declare no conflict of interest.**

## Содержание

### Введение

1. Анализ возможности применения математических методов и моделей оценки рисков инвестиционных проектов
2. Алгоритмическая схема количественной оценки риска срыва плановых сроков реализации проектов разработки, изготовления и поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний
3. Рекомендации по уточнению границ применимости математических методов оценки риска срыва плановых сроков реализации проектов разработки, изготовления и поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний
4. Пример количественной оценки риска срыва планового срока реализации условного проекта разработки, изготовления и поставки оборудования на объект добычи нефтегазовой компании

### Заключение

### Список источников

## Введение

Освоение нового технологического оборудования в нефтегазовой сфере требует больших временных и финансовых затрат на его разработку, изготовление, испытание и внедрение на производственных комплексах нефтегазовых компаний. Эта проблема дополнительно осложнилась для российских нефтегазовых компаний из-за мощного санкционного давления со стороны недружественных стран, начиная с 2014 г., выразившегося в практическом запрете на поставки оборудования для разведки, добычи и переработки газа и нефти. Правительство Российской Федерации и нефтегазовые компании были вынуждены взять курс на обеспечение технологической независимости и импортозамещения. Планирование, организация и мониторинг разработки и внедрения большого объема технологических инноваций требует новых современных подходов при совершенствовании бизнес-процессов. Это в полной мере относится и к решению важнейших задач замещения поставок импортного технологического оборудования, применяемого на объектах предприятий нефтегазовой отрасли в процессах добычи углеводородов на морском шельфе. Многие виды технологического оборудования для работы на морском шельфе (например, буровые установки и инструменты для бурения, оборудование для закачивания скважин, внутрискважинное оборудование, манифольды, райзеры, подводная дожимная компрессорная станция (далее — ПДКС) и др.), которые ранее поставлялись зарубежными компаниями или были запланированы к поставке в проектах освоения шельфовых месторождений нефтегазовых компаний, оказались под санкциями со стороны недружественных стран. В настоящее время российскими компаниями ведутся работы по разработке и изготовлению новых видов технологического оборудования для промыслов, в том числе и ПДКС, в целях замещения поставок из недружественных стран. При этом у нефтегазовых компаний возникает риск задержки поставки новых видов технологического оборудования к плановым срокам, предусмотренным проектной документацией на разработку месторождений.

В этих непростых условиях для принятия обоснованных решений (например решений по пересмотру планов освоения морских месторождений) нефтегазовым компаниям необходимо, прежде всего, получить ответы на следующие важные вопросы:

Вопрос 1. Какого уровня производственной и технологической готовности в настоящее время достигли организации (конструкторские бюро, производственные предприятия, проектные институты, объединения) (далее — Организации), выполняющие разработку, изготовление и/или поставку технологического оборудования на объекты нефтегазовой компании?

Вопрос 2. Как оценить уровень риска срыва планового срока разработки, изготовления и поставки технологического оборудования на производственные объекты нефтегазовой компании (далее — Риск срыва планового срока)?

В этой статье авторы сосредоточили усилия на получении ответа на вопрос 2.

Авторами статьи было выполнено исследование, направленное на обоснование возможности применения математических моделей, методов и инструментов управления проектами и рисками проектов [1–3], обоснование вида применяемых моделей, значений их параметров, показателей уровня риска для количественной оценки Риска срыва планового срока. На примере конкретных образцов технологического оборудования показана принципиальная возможность проведения количественной оценки Риска срыва планового срока.

Особенностью рассматриваемой задачи, влияющей на выбор моделей и методов оценки Риска срыва планового срока, является различный уровень технологической и производственной готовности тех или иных организаций к изготовлению и поставке технологического оборудования, предусмотренного к применению на производственных объектах нефтегазовой компании.

К числу необходимых условий проведения количественной оценки рисков проектов в соответствии со стандартами в области управления проектами и рисками проектов [1, 3] относятся:

- наличие технических требований (технических заданий) к технологическому оборудованию, которое предполагается разработать в рамках проекта разработки, изготовления и поставки на производственные объекты нефтегазовой компании (далее — Проект);
- наличие календарного-сетевого графика (далее — КСГ) Проекта хотя бы верхнего уровня.

Однако для ряда технологического оборудования, применяемого на объектах предприятий нефтегазовой

отрасли в процессах добычи углеводородов на морском шельфе, уровни технологической готовности Организаций незначительны (например, с первого по четвертый уровень согласно ГОСТ Р [4]). В этом случае КСГ Проекта может оказаться еще неразработанным и, следовательно, в соответствии с [3] количественная оценка Риска срыва плановых сроков не может быть проведена.

Проведенное исследование показало, что в настоящее время в компаниях нефтегазовой отрасли отсутствует методика количественной оценки Риска срыва планового срока, основанная на рекомендациях национальных и международных стандартов и являющаяся универсальной по отношению к Организациям, т.е. позволяющая оценивать Риски срыва планового срока для Организаций практически с любым уровнем технологической и производственной готовности. По нашему мнению, необходимым условием для проведения оценки Риска срыва планового срока является наличие разработанных технических требований на технологическое оборудование, предусмотренное Проектом, а наличие КСГ Проекта является лишь желательным, но не обязательным условием.

## 1. Анализ возможности применения математических методов и моделей оценки рисков инвестиционных проектов

Для количественной оценки рисков инвестиционных проектов могут быть использованы различные методические подходы, в том числе основанные на математическом моделировании [3, 5]:

- корректировочные подходы;
- древовидные (сценарные) подходы;
- подходы, основанные на анализе чувствительности;
- сетевые подходы;
- экспертные методы;
- подходы, основанные на имитационном моделировании;
- подходы, основанные на методе нечетких множеств;
- стоимостные подходы.

Ниже рассмотрены достоинства и недостатки каждого из приведенных подходов. При этом каждый подход в обязательном порядке оценивался с точки зрения возможности дать положительные ответы

на следующие важные для нефтегазовой компании вопросы (далее — Ключевые вопросы оценки рисков):

Сколько времени с доверительной вероятностью 90% потребуется для завершения выполнения всех работ, предусмотренных Проектом?

Какова вероятность невыполнения работ, предусмотренных Проектом, к плановому сроку?

### **Корректировочные подходы к оценке рисков инвестиционных проектов**

Корректировочные подходы предполагают учет риска либо в форме премии за риск в процентной ставке, которая используется для дисконтирования денежных потоков [6, 7], либо в форме корректировок ожидаемых значений денежных потоков инвестиционных проектов.

Рассмотренные корректировочные подходы имеют следующие общие недостатки, затрудняющие их применение для задачи оценки Риска срыва планового срока:

- невозможность вероятностной оценки отклонения денежных потоков, сроков и издержек проекта от плановых или средних величин;
- сложность или даже в большинстве случаев невозможность нахождения функциональной зависимости величины премии за риск от используемых воздействующих на риск мероприятий.

Для оценки Риска срыва планового срока корректировочные подходы не могут быть рекомендованы, так как их гипотетическое применение не может дать положительные ответы на Ключевые вопросы оценки рисков.

### **Древовидные (сценарные) подходы к оценке рисков инвестиционных проектов**

К древовидным (сценарным) подходам к оценке рисков инвестиционных проектов относятся подходы, основанные на построении и анализе сценариев будущего развития проектов, а также подходы, основанные на построении различного рода деревьев (деревьев событий, отказов или решений) [1; 8, с. 74–126; 9].

Основным недостатком древовидных (сценарных) подходов является необходимость проведения в большинстве случаев экспертной оценки вероятностей сценариев развития проектов (условных вероятностей реализации факторов риска в определенный момент в методе построения деревьев). Однако проведение такой экспертной оценки является источником значительной погрешности получаемых результатов ввиду следующих основных соображений:

- как показали опыты Канемана и Тверски [10], эксперты в большинстве случаев склонны к искажению

оценок вероятности редких событий, а также граничных исходов, например, исходов, соответствующих минимальному и максимальному результатам воздействия факторов риска;

- сложность отбора экспертов, обладающих высокой степенью компетентности.

Кроме того, оценка рисков на основе ограниченного числа сценариев будущего развития инвестиционного проекта (метод сценариев) приводит к росту затрат на подготовку исходной для анализа информации, ее последующую обработку. При этом границы сценариев получаются, как правило, размытыми вследствие сложности дифференциации сценариев при одновременном воздействии на них целого ряда факторов риска. В ходе оценивания риска инвестиционных проектов на основе этих подходов оказывается проблематичным учет определенной технологии (порядка) выполнения работ бизнес-процессов этапов инвестиционных проектов (НИОКР, подготовка производства, изготовление опытных образцов и др.), а также возможности параллельного выполнения ряда работ (например работ по изготовлению отдельных комплектующих сложных технических изделий разными предприятиями), выполнения доводочных работ по результатам исследований, испытаний или согласований разрабатываемой документации.

Исходя из отмеченных недостатков при применении данных методов в качестве единственных методов оценки Риска срыва планового срока, возникают значительные сложности при получении ответов на Ключевые вопросы оценки рисков. Поэтому древовидные (сценарные) подходы могут быть рекомендованы к применению лишь в комбинации с иными подходами (сетевыми и экспертными подходами).

#### **Подходы, основанные на анализе чувствительности**

Подходы, основанные на анализе чувствительности [11, 12], предполагают либо оценку предельных запасов устойчивости целевых показателей инвестиционных проектов к воздействию отдельных факторов риска (реже к одновременному воздействию нескольких факторов риска) либо оценку процентных изменений значений целевых показателей при предполагаемых вариациях ограниченного числа исходных факторов риска.

Стоит отметить, что применение анализа чувствительности не представляется возможным без составления математической модели прогнозирования

сроков реализации Проекта в зависимости от значимых факторов. В этой связи подходы, основанные на анализе чувствительности, рекомендуется использовать лишь как дополнения к другим подходам оценки Риска срыва планового срока.

#### **Сетевые подходы**

В основу сетевых подходов [1, 3] заложена методология сетевого моделирования. Менеджменту необходимо представить Проект в виде взаимоувязанного комплекса работ (операций).

При этом имеющиеся сетевые подходы позволяют с определенными допущениями учесть:

- определенную технологию выполнения работ во времени;
- возможность одновременного (параллельного) выполнения ряда работ;
- ограниченность ряда ресурсов, назначаемых на выполнение работ проектов (такой учет возможен для ограниченного числа сетевых подходов);
- влияние ряда факторов риска, результатом воздействия которых могут быть решения: о прекращении проекта; о выполнении доводочных работ например, дополнительных исследований или устранение замечаний по результатам испытаний новой продукции; о дополнительном финансировании проекта и др.

В настоящее время наиболее разработанными являются сетевые подходы, построенные на основе следующих стохастических сетевых моделей [13–18; 19, с. 153–236]:

- подходы, основанные на построении моделей вида *PERT*;
- подходы, основанные на построении моделей вида *GERT*.

Процессы оценки рисков, связанные с реализацией Проекта, в соответствии с ГОСТ Р [3] включают:

- построение иерархической структуры работ Проекта по определенному алгоритму [1];
- идентификацию факторов неопределенности, которые могут в будущем оказать негативное влияние на продолжительность выполнения работ КСГ Проекта (а также в моделях вида *GERT* на изменение состава реализуемых работ КСГ или на принятие решения о продолжении/завершении реализации проекта);
- планирование ресурсов различных видов (людских, финансовых, временных, материально-технических и др.), необходимых для выполнения работ Проекта;

- разработку КСГ Проекта, учитывающего ресурсы и логико-хронологические взаимосвязи между работами с общепринятым учетом влияния факторов неопределенности на продолжительности выполнения работ КСГ (через наиболее вероятные оценки) либо с учетом умеренно негативного их влияния (через оптимистические оценки продолжительности выполнения работ, как, например, в методе *PERT*);

- оценку продолжительности выполнения работ КСГ с учетом различной интенсивности влияния факторов неопределенности;

- расчеты показателей риска (например, вероятности срыва планового срока реализации Проекта);

- проверку адекватности полученных результатов оценки риска с использованием альтернативных подходов (например, экспертных методов или имитационного моделирования, основанного на методе Монте-Карло).

#### **Ограничения сетевых подходов, основанных на моделях вида *PERT***

Сетевые подходы, основанные на моделях вида *PERT*, имеют следующие недостатки, ограничивающие область их применения (далее — Ограничения *PERT*):

- применение теоремы о нормальном законе распределения суммы продолжительности выполнения работ критического пути [20] правомерно лишь для достаточно большого числа работ, расположенных на нем, например, в [2] сказано, что минимально достаточное число работ в КСГ равно 30 в предположении, что в нем лишь 10% работ лежит на критическом пути;

- для проведения корректных оценок продолжительности выполнения отдельных видов работ КСГ с учетом факторов неопределенности требуются высококвалифицированные эксперты с опытом работы и знаниями в области факторного анализа, мониторинга реализации ранее выполнявшихся проектов-аналогов;

- предположения о единственности критического пути в КСГ Проекта;

- занижение оценок ожидаемой продолжительности выполнения Проекта при большом числе параллельно выполняемых работ;

- все работы КСГ Проекта должны быть связаны отношением предшествования вида «финиш-старт» [2];

- невозможность учета ограниченных ресурсов [2, 21].

Однако, несмотря на вышеотмеченные недостатки, модели, основанные на сетевой модели *PERT*,

рекомендованы ГОСТ Р [3], поскольку позволяют учитывать:

- определенную технологию выполнения работ в соответствии с принятой иерархической структурой работ Проекта;

- возможность одновременного (параллельного) выполнения ряда работ.

Полученные с учетом достоинств и недостатков метода *PERT* показатели риска Проекта нуждаются в подтверждении другими методами оценки этих же рисков. Результаты оценки Риска срыва планового срока выполнения Проекта, полученные методом *PERT*, как показали проведенные исследования, подтверждаются при определенных, сформулированных авторами условиях, результатами оценки этого же риска методом имитационного моделирования. Применение метода *PERT* позволяет положительно ответить на Ключевые вопросы оценки риска, но его применение возможно с ограничениями.

#### **Ограничения сетевых подходов, основанных на моделях вида *GERT***

К основным недостаткам моделей, основанных на применении *GERT*-сетей, ограничивающих область их применения, можно отнести:

- экспертам при определении значений параметров *GERT*-сетей необходимо оценивать вероятности выполнения нетиповых работ, включая доводочные, циклически повторяющиеся работы, что требует их высокой компетенции и знаний в области управления проектами и рисками;

- высокая трудоемкость разработки сложных математических моделей оценки риска проектов разработки, производства и реализации новой продукции и, как следствие, возможность некорректных расчетов с использованием разработанных моделей.

В связи с отмеченными выше недостатками использование моделей, основанных на построении *GERT*-сетей, в настоящее время не рекомендуется к применению в целях оценки Риска срыва планового срока.

#### **Экспертные подходы**

В основе этого метода оценки рисков Проектов лежат интуиция и опыт экспертов (профессионалов в области менеджмента).

Сложности использования экспертных подходов объясняются следующими основными моментами [5]:

- необходимостью привлечения компетентных экспертов;

- необходимостью устранения давления мнения одних экспертов на мнения других в ходе проведения экспертизы с целью получения объективных результатов;
- сложностью оценивания экспертами вероятностей особенно редких событий ввиду их вероятного искажения [10];

- сложностью оценивания одним экспертом показателей риска срыва плановых сроков поставки оборудования на производственные объекты нефтегазовой компании, поскольку на практике отсутствуют эксперты со знаниями, необходимыми для учета влияния неопределенностей различной природы на сроки проекта поставки, включая разработку оборудования, его изготовление, поставку материально-технических ресурсов, изготовление инструмента, средств оснащения, проведение испытаний и др.

Применение экспертных методов в качестве единственных способов оценки Риска срыва планового срока (без использования иных методов) не позволяет ответить на Ключевые вопросы оценки рисков. В связи с отмеченными недостатками экспертные подходы рекомендуется использовать лишь как дополнение к другим методам оценки Риска срыва планового срока.

#### **Имитационный подход, основанный на методе Монте-Карло**

В основе имитационного подхода лежит допущение о невозможности прямого аналитического вычисления уровня риска ввиду высокой сложности функциональных зависимостей результирующих показателей риска от основных влияющих факторов. В этом случае получение прогнозных оценок риска может быть выполнено на основе оценок требуемых параметров, полученных по результатам проведения достаточного числа имитационных экспериментов.

К недостаткам использования методологии имитационного моделирования (в качестве единственного метода оценки) для целей оценки Риска срыва планового срока можно отнести [5]:

- достаточно высокую трудоемкость вычислительных операций для реализации имитационных экспериментов, что делает необходимым создание/применение программного инструментария, например, на основе MS EXCEL;
- оценка показателей Риска срыва планового срока требует дополнительного научного обоснования достаточного числа проводимых имитационных экспериментов.

Однако становится возможным учет ограничений на ресурсы, требуемых для выполнения работ КСГ. Как отмечается в [2], применение имитационного подхода является эффективным, а в ряде случаев и единственно возможным при решении задач календарного планирования в условиях неопределенности и ограниченности ресурсов.

В связи с отмеченными особенностями имитационный подход, основанный на методе Монте-Карло, рекомендуется использовать как основной метод (наряду с экспертными методами) оценки Риска срыва планового срока в условиях ограничений на ресурсы, требуемые для выполнения работ КСГ. Применение метода Монте-Карло позволяет наиболее полно ответить на Ключевые вопросы оценки рисков.

#### **Нечетко-множественный подход**

Нечетко-множественный подход основан на применении теории нечетких множеств. В основном такой подход применяется при решении таких задач, как оценка эффективности инвестиций в инвестиционные проекты и оценка рисков инвестиционных проектов [12, 22].

Однако у моделей анализа риска, построенных на основе нечеткой логики, есть существенные ограничения, затрудняющие их применение в ходе оценки Риска срыва планового срока:

- как показали результаты проведенного исследования [22, 23], на результат оценки показателей риска оказывает существенное влияние выбираемая в модели форма функции принадлежности исходных факторов риска (треугольная, трапециевидная или др.). Однако к настоящему времени недостаточно исследованы вопросы обоснованного выбора формы нечетких чисел;

- на рейтинги факторов риска оказывает существенное влияние выбираемый метод сравнения нечетких чисел путем их преобразования в четкие действительные числа. Например, в работах [22, 24] показано, что методы Чью-Парка и Чанга приводят в ряде случаев к прямо противоположным результатам. Результаты расчетов по методам Кауфмана-Гупты и Джейна также могут существенно различаться. В этой связи возникает проблема обоснованного сравнения нечетких чисел и ранжирования факторов риска при использовании нечетко-множественной математики.

В связи с отмеченными существенными недостатками нечетко-множественный подход не может быть

рекомендован для оценки Риска срыва планового срока.

#### **Стоимостные подходы**

Оценка риска инвестиционных проектов с использованием стоимостных подходов основана на рыночной стоимости торгуемых на рынке ценных бумаг (например, корпоративных облигаций), денежные потоки которых примерно совпадают с денежными потоками инвестиционных проектов [25, 26]. Зная рыночную стоимость торгуемых ценных бумаг, можно с использованием стоимостных подходов оценить значения показателей риска инвестиционных проектов, например, вероятность прекращения инвестиционного проекта.

Однако ввиду неразвитости рынка ценных бумаг в России, а также в связи с допущениями самих стоимостных подходов, последние не могут быть рекомендованы для оценки Риска срыва планового срока.

Проведенный анализ существующих подходов для целей корректной оценки Риска срыва планового срока позволил сделать следующие выводы:

1. Установлено, что наиболее полный учет особенностей рассматриваемых Проектов (доводочные работы по результатам испытаний продукции, выделение ресурсов на выполнение работ, одновременное выполнение ряда работ, факторы неопределенности, влияющие на продолжительность выполнения работ и др.) в ходе решения задач оценки Риска срыва планового срока возможен при использовании сетевых подходов.

2. Стоимостные и нечетко-множественные подходы не могут быть рекомендованы для оценки Риска срыва планового срока, поскольку предположения и допущения таких подходов не подтверждаются для организаций, функционирующих на территории России.

3. Установлено, что имитационный подход, основанный на методе Монте-Карло, целесообразно использовать в качестве основного метода оценки Риска срыва планового срока.

4. Ввиду отсутствия/недостаточности статистической информации о ранее реализованных факторах неопределенности и высокой степени новизны рассматриваемых Проектов рекомендуется использование в соответствии с ГОСТ Р [3] экспертных подходов к оценке продолжительности выполнения отдельных видов (комплексов) работ Проекта.

## **2. Алгоритмическая схема количественной оценки риска срыва плановых сроков реализации проектов разработки, изготовления и поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний**

Алгоритмическая схема оценки Риска срыва планового срока состоит из следующих этапов:

1. Подготовка и рассылка анкет в организацию.
2. Обработка анкет, полученных от организации, составление календарно-сетевых графиков, выбор математических методов и моделей оценки уровня Риска.
3. Оценка уровня Риска срыва планового срока. Сопоставление результатов оценки, полученных разными методами (в случае применения более одного метода оценки).

Этапы 1–2 алгоритмической схемы предназначены для подготовки исходных данных для количественной оценки Риска срыва планового срока.

Этапы 1–3 рекомендуется выполнять для каждой организации, участвующей в процессе разработки, изготовления и поставки технологического оборудования на производственные объекты нефтегазовой компании (далее — Организации). На этапе 3 выполняется непосредственно количественная оценка Риска с использованием выбранных на этапе 2 математических методов.

#### **Подготовка и рассылка анкет в организации**

Функцию подготовки и рассылки анкет в Организации целесообразно закрепить за нефтегазовой компанией. Периодичность анкетирования устанавливается нефтегазовой компанией, но не реже одного раза в год.

В процессе подготовки анкет необходимо установить потребности в видах технологического оборудования, которые потенциально могут быть разработаны/изготовлены/поставлены Организацией, а также технические требования к данному оборудованию. Источниками получения информации являются разделы проектной документации по тем инвестиционным проектам нефтегазовой компании, в которых такое технологическое оборудование предполагается применять. При отсутствии технических требований к технологическому оборудованию необходимо организовать их разработку.

При наличии КСГ Проекта (достаточно уровня не выше второго) в анкету рекомендуется включить:

- результат идентификации типовых факторов неопределенности, влияющих на продолжительность выполнения отдельных работ/комплексов работ КСГ Проекта (далее — раздел 1);
- оценки продолжительности выполнения работ/комплексов работ КСГ Проекта (наиболее вероятная, оптимистическая и пессимистическая оценки) (далее — раздел 2);
- статус выполнения работ (процент готовности выполнения (далее — раздел 3)).

При отсутствии в Организации КСГ Проекта в анкету рекомендуется включить:

- перечень наименований типовых работ;
- оценки продолжительности выполнения типовых работ (пессимистическая, наиболее вероятная, оптимистическая оценка);
- ранние сроки начала выполнения некоторых видов типовых работ с учетом доступности в Организации всех видов ресурсов (финансовых, трудовых, материальных и др.), необходимых для их выполнения. Наличие такого ограничения на используемые ресурсы, как правило, объясняется задействованием ограниченных ресурсов на выполнение работ иных незавершенных проектов;
- сведения о критичности поставок импортных комплектующих, материалов и прикладного программного обеспечения, необходимых для изготовления технологического оборудования.

В перечень наименований типовых работ рекомендуется включить как минимум следующие работы, выполняемые разработчиками/изготовителями технологического оборудования (далее — Типовые работы уровня 1):

- разработка эскизного проекта;
- разработка технического проекта;
- разработка рабочей конструкторской документации;
- изготовление опытного/головного образца (изделия в сборе);
- предварительные испытания опытного/головного образца;
- приемочные испытания опытного/головного образца;
- корректировка рабочей конструкторской документации по результатам испытаний, при

необходимости доработка и повторные испытания изделия;

- серийное изготовление изделий (при необходимости).

К сведениям о критичности поставок импортных комплектующих, материалов и прикладного программного обеспечения (далее — ППО), необходимых для изготовления технологического оборудования, рекомендуется относить:

- наименование комплектующей/материала/ППО;
- изготовитель/поставщик комплектующей/материала/разработчик ППО, в том числе зарубежный партнер;
- прогноз продолжительности работ по замене комплектующей/материала/ППО на отечественный аналог (пессимистическая, наиболее вероятная, оптимистическая оценка);
- прогноз продолжительности работ по замене комплектующей/материала/ППО на аналог, произведенный в странах, не поддерживавших санкции против РФ (пессимистическая, наиболее вероятная и оптимистическая оценки).

Работы по разработке/изготовлению/поставке комплектующих/материалов/ППО относятся к типовым работам второго уровня. Такие работы могут выполняться параллельно поскольку, как правило, они выполняются разными исполнителями.

В процессе подготовки анкет с целью облегчения последующего проведения экспертизы рекомендуется выполнить идентификацию типовых факторов неопределенности, влияющих на продолжительность выполнения работ КСГ Проекта.

#### **Идентификация типовых факторов неопределенности, влияющих на продолжительность выполнения работ КСГ Проекта**

Идентификация и типизация факторов неопределенности, влияющих на продолжительность выполнения работ КСГ Проекта, были проведены методом мозгового штурма [3] специалистов в области анализа рисков ООО «Газпром ВНИИГАЗ» с последующей возможной их корректировкой менеджментом анкетуемых Организаций.

Результатом начальной идентификации является следующий «открытый» перечень типовых факторов неопределенности:

- поставка оборудования (комплектующих, материалов и т.п.) с характеристиками, отличающимися

от требуемых, задержки в поставках, иные проблемы с поставками;

- наличие критических элементов технологии<sup>1</sup> (далее — КЭТ) при изготовлении оборудования, комплектующих, материалов сторонними поставщиками;
- наличие КЭТ при изготовлении оборудования, комплектующих, материалов Организацией;
- неполное соответствие применяемых в изделии заимствованных составных частей требованиям к разрабатываемому технологическому оборудованию по техническим характеристикам, технологическим режимам работы, гарантийным срокам и другим условиям эксплуатации;
- задержки проведения экспериментальных разработок продукции, направленных на опытно-конструкторскую и/или технологическую разработку в лабораторных условиях;
- задержки ввода в строй нового технологического оборудования, необходимого для изготовления комплектующих и сборочных единиц;
- задержки изготовления комплектующих и сборочных единиц на производственной базе головного исполнителя, задержки проведения контроля качества и испытаний;
- непредвиденный рост загрузки организации-разработчика или подрядных организаций;
- непредвиденный рост инфляции;
- непредвиденный отток квалифицированного персонала из организации или из подрядных организаций;
- осложнения, связанные с устранением замечаний и недоработок, выявленных при проведении приемочных испытаний опытного образца, включая приемочные испытания составных частей продукции;
- затягивание проведения приемочных испытаний продукции или ее составных частей из-за сложных природно-климатических условий на объекте будущей эксплуатации.

**Обработка анкет, полученных от организации, составление типового КСГ (при необходимости)**

Обработка полученных от Организации анкет (этап 2 алгоритмической схемы) заключается в систематизации следующей информации, относящейся

<sup>1</sup> Под КЭТ понимается подверженный факторам неопределенности элемент технологии, от которого зависят результативность, эффективность и сроки реализации Проекта.

к технологическому оборудованию определенного вида: информация о представленных в анкетах работах (комплексах работ), связанных с разработкой, изготовлением и поставкой технологического оборудования на производственные объекты нефтегазовой компании, а именно: наименование работ (комплексов работ), оценки продолжительности их выполнения (наиболее вероятная, оптимистическая и пессимистическая оценка), ранние сроки начала их выполнения с учетом доступности всех видов ресурсов, необходимых для выполнения работ, статус выполнения работ (процент готовности выполнения).

Кроме этого, в ходе систематизации информации рекомендуется также выделять ранее начатые работы (комплексы работ) с указанием процента готовности их выполнения.

Типовой КСГ Проекта составляется на основе вышеуказанных типовых работ уровней 1, 2 для каждого наименования технологического оборудования, представленного в анкетах, а также типовых работ, выполняемых Заказчиком Проекта (как правило, нефтегазовой компанией) в соответствии с общепринятыми правилами по ГОСТ Р [1, 27].

К числу типовых работ, выполняемых Заказчиком, относятся:

- разработка технических требований к технологическому оборудованию<sup>2</sup>;
- разработка технического проекта<sup>3</sup>, уточнение стоимости проекта и состава потенциальных разработчиков/изготовителей оборудования;
- принятие окончательного инвестиционного решения нефтегазовой компанией о запуске проекта, определение генерального проектировщика, генерального конструктора, а также порядка взаимодействия участников проекта.

В целях корректной оценки уровня Риска срыва планового срока необходимо для каждой типовой работы, выполняемой Заказчиком Проекта, оценить прогнозные сроки их выполнения (пессимистическая, наиболее вероятная, оптимистическая оценка). Такие оценки могут быть получены с использованием метода анкетирования менеджмента Заказчика.

<sup>2</sup> Данная работа может выполняться сторонней организацией, например, по договору НИОКР.

<sup>3</sup> Данная работа также может выполняться сторонней организацией, например, по договору НИОКР.

### Оценка уровня Риска срыва планового срока

Оценка уровня Риска срыва планового срока (этап 3 алгоритмической схемы) включает выполнение следующих действий:

- расчет параметров вероятностных распределений продолжительности работ (комплексов работ) КСГ (математическое ожидание, стандартное отклонение);
- оценка показателей Риска срыва планового срока выбранными методами оценки.

Оценка Риска срыва планового срока двумя математическими методами преследует следующие цели:

- выявление возможных допущенных арифметических/логических ошибок в расчетах, полученных одним методом оценки;
- подтверждение корректности полученных результатов оценки риска.

Расхождение результатов оценки, полученных различными методами, рекомендуется объяснять рассмотренными в настоящей работе модельными ограничениями и допущениями.

### 3. Рекомендации по уточнению границ применимости математических методов оценки риска срыва плановых сроков реализации проектов разработки, изготовления и поставки нового технологического оборудования на объекты нефтегазовых компаний

С целью обоснования выбора метода оценки Риска срыва планового срока авторами было выполнено исследование влияния на вероятностные характеристики срока завершения Проекта (математическое ожидание, наибольшее значение VAR с доверительной вероятностью 90%):

- изменения числа параллельно выполняемых работ в типовом КСГ Проекта при постоянстве состава и значений параметров отдельных работ типового КСГ;
- изменения значений параметров отдельных работ типового КСГ Проекта (стандартного отклонения продолжительности выполнения работ) при постоянстве состава и числа параллельно выполняемых работ.

Исследование проводилось с использованием двух математических методов, рекомендуемых ГОСТ Р [3]:

- метод PERT;
- метод имитационного моделирования Монте-Карло.

В исследовании анализировались следующие вероятностные показатели:

- среднеквадратическое отклонение продолжительности работ Проекта ( $\sigma$ );
- математическое ожидание продолжительности работ Проекта ( $M$ );
- VAR с доверительной вероятностью 90% продолжительности работ Проекта (P90);
- VAR с доверительной вероятностью 10% продолжительности работ Проекта (P10).

#### Определение минимально достаточного числа имитационных экспериментов

Исходными данными для проведения исследования являлось 50 работ типового КСГ условного Проекта со следующими одинаковыми параметрами:

- оптимистическая оценка продолжительности выполнения работы КСГ: 1 единица времени;
- наиболее вероятная оценка продолжительности выполнения работы КСГ: 2 единицы времени;
- пессимистическая оценка продолжительности выполнения работы КСГ: 5 единиц времени.

Вид одного из вариантов типового КСГ с 25 параллельно выполняемыми работами представлен на рис. 3.

Необходимое число имитационных экспериментов  $n$  было определено исходя из надежности оценок продолжительности выполнения Проекта [12]  $\gamma = 0,99$  и длины доверительного интервала, задаваемой условием:

$$\Delta_n \leq 0,0032 \cdot \bar{x}, \quad (1)$$

где:

$\Delta_n$  — доверительный интервал по результатам  $n$  испытаний;

$\bar{x}$  — среднее значение продолжительности выполнения Проекта по результатам  $10^5$  экспериментов.

Условие (1) задает максимальную погрешность оценки, не превышающую 0,155% от величины  $\bar{x}$ .

Была проведена серия имитационных экспериментов. По формулам (2)–(3) для различных значений  $n$  ( $n = 100, 200, \dots, 10^5$ ) определены длины доверительных интервалов, обеспечиваемых данным количеством экспериментов  $n$ .

$$\Delta_n = \frac{2t_\gamma s(n)}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где:

$t_\gamma$  — критические точки распределения Стьюдента для заданного уровня значимости;

$s(n)$  — среднее квадратическое отклонение по результатам  $n$  экспериментов;  
 $n$  — число экспериментов.

$$s(n) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x}_n)^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где:

$x_i$  — продолжительность выполнения Проекта по результатам  $i$ -го испытания;

$\bar{x}_n$  — среднее значение продолжительности выполнения Проекта по результатам  $n$  экспериментов.

Далее было выбрано минимальное значение  $n$ , при котором выполняется условие (1).

Формула (2) является общераспространенной формулой для определения доверительного интервала нормальной случайной величины при неизвестной дисперсии [12, 28].

График зависимости длины доверительного интервала от количества имитационных экспериментов представлен на рис. 1.

Установлено, что минимально достаточным для обеспечения заданной длины доверительного интервала является проведение  $10^4$  имитационных экспериментов.

### **Исследование зависимости величины относительного отклонения показателей оценки Риска срыва планового срока методом PERT от изменения числа параллельно выполняемых работ Проекта**

В связи с ограничениями применения метода PERT принято допущение о достаточности ресурсов (людских, финансовых, материальных и др.) в любой момент времени, необходимых для выполнения работ каждого из рассматриваемых вариантов типовых КСГ Проекта.

Исходными данными для проведения этого исследования являлись различные варианты типового КСГ условного Проекта со следующими одинаковыми параметрами:

- оптимистическая оценка продолжительности выполнения работы КСГ: 1 единица времени;
- наиболее вероятная оценка продолжительности выполнения работы КСГ: 2 единицы времени;
- пессимистическая оценка продолжительности выполнения работы КСГ: 15 единиц времени.

Для каждой работы КСГ с использованием предположения о бета-распределении продолжительности выполнения были определены:

- оценка математического ожидания продолжительности выполнения работы: 4 единицы времени;

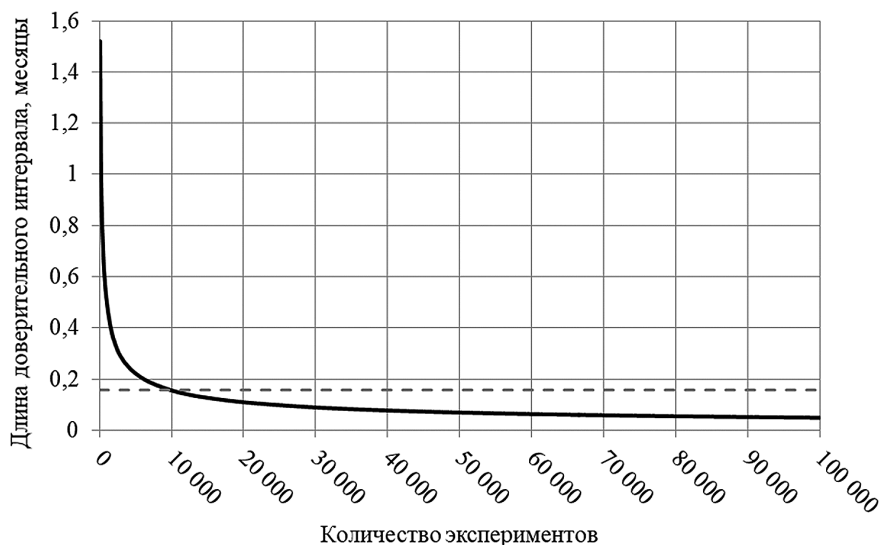


Рис. 1. Зависимость длины доверительного интервала продолжительности Проекта (месяцы) от количества проведенных экспериментов при значении надежности 0,99

Figure 1. The dependence of the length of the Project duration confidence interval (months) on the number of experiments performed with a reliability value of 0.99

- оценка среднеквадратического отклонения продолжительности выполнения работы: 2,33 единицы времени.

В ходе исследования проводилось 25 итераций с изменением числа параллельных работ (от 0 до 25) при неизменных параметрах работ КСГ.

Вид варианта типового КСГ первой итерации представлен на рис. 2.

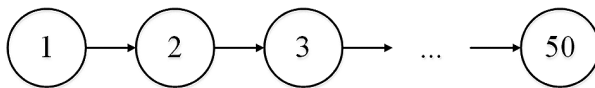


Рис. 2. Вид варианта типового КСГ первой итерации

Figure 2. Variant type of typical first iteration network schedule

Вид варианта типового КСГ последней (25-ой) итерации представлен на рис. 3.

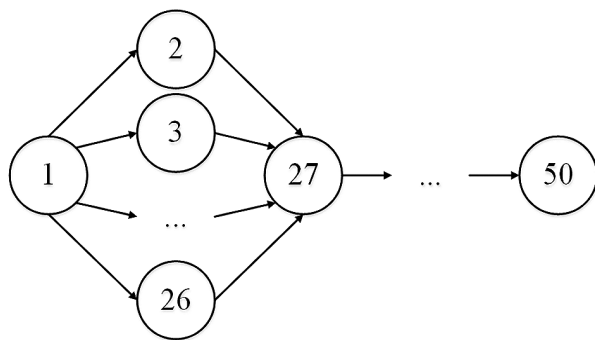


Рис. 3. Вид варианта типового КСГ последней итерации

Figure 3. Variant type of the typical network planning board of the latest iteration

Основные результаты проведенного исследования отражены на рис. 4.

Ввиду гораздо большего числа допущений, лежащих в основе метода PERT, по отношению к числу допущений, лежащих в основе метода имитационного моделирования, авторами в целях простоты сделано предположение, что метод имитационного моделирования при числе испытаний не менее  $10^4$  дает гораздо более точные оценки показателей продолжительности выполнения Проекта (математическое ожидание, VAR с доверительной вероятностью 90%).

В процессе исследования определялись относительные отклонения оценки показателей Риска срыва планового срока, полученные при использовании метода PERT, от соответствующей оценки этого же показателя Риска, полученной методом имитационного

моделирования (далее — Относительное отклонение), по формулам (4)–(7):

$$\alpha_{\sigma} = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)}{\sigma_1} \cdot 100, \quad (4)$$

где:

$\alpha_{\sigma}$  — относительное отклонение показателя «среднеквадратическое отклонение продолжительности выполнения Проекта», %;

$\sigma_2$  — значение показателя «среднеквадратическое отклонение продолжительности выполнения Проекта», полученное методом PERT;

$\sigma_1$  — значение показателя «среднеквадратическое отклонение продолжительности выполнения Проекта», полученное методом имитационного моделирования.

$$\alpha_M = \frac{(M_2 - M_1)}{M_1} \cdot 100, \quad (5)$$

где:

$\alpha_M$  — относительное отклонение показателя «математическое ожидание продолжительности выполнения Проекта», %;

$M_2$  — значение показателя «математическое ожидание продолжительности выполнения Проекта», полученное методом PERT;

$M_1$  — значение показателя «математическое ожидание продолжительности выполнения Проекта», полученное методом имитационного моделирования.

$$\alpha_{P90} = \frac{(P90_2 - P90_1)}{P90_1} \cdot 100, \quad (6)$$

где:

$\alpha_{P90}$  — относительное отклонение показателя «VAR с доверительной вероятностью 90% продолжительности выполнения Проекта», %;

$P90_2$  — значение показателя «VAR с доверительной вероятностью 90% продолжительности выполнения Проекта», полученное методом PERT;

$P90_1$  — значение показателя «VAR с доверительной вероятностью 90% продолжительности выполнения Проекта», полученное методом имитационного моделирования.

$$\alpha_{P10} = \frac{(P10_2 - P10_1)}{P10_1} \cdot 100, \quad (7)$$

где:

$\alpha_{P10}$  — относительное отклонение показателя «VAR с доверительной вероятностью 10% продолжительности выполнения Проекта», %;

$P10_2$  — значение показателя «VAR с доверительной вероятностью 10% продолжительности выполнения Проекта», полученное методом PERT;

$P10_1$  — значение показателя «VAR с доверительной вероятностью 10% продолжительности выполнения Проекта», полученное методом имитационного моделирования.

Исследование показало, что с ростом отношения числа параллельно выполняемых работ в КСГ к общему их числу от 0 до 1 при постоянстве состава и значений параметров отдельных работ вариантов типового КСГ абсолютная величина относительного отклонения возрастает (за исключением среднеквадратического отклонения продолжительности Проекта), что демонстрирует рис. 4. Такая тенденция объясняется следующими основными моментами:

- с ростом числа параллельно выполняемых работ растет вероятность появления двух и более

критических путей в КСГ Проекта, что противоречит основным предпосылкам применения метода PERT;

- с ростом числа параллельно выполняемых работ ослабевает действие Центральной предельной теоремы о нормальном законе вероятностного распределения.

**Исследование зависимости величины относительного отклонения оценки Риска срыва планового срока методом PERT от изменения параметров работ Проекта**

В связи с особенностями метода PERT принято допущение о достаточности ресурсов (людских, финансовых, материальных и других) в любой момент времени, необходимых для выполнения работ КСГ Проекта.

Исходными данными для проведения исследования являлся вариант типового КСГ условного Проекта, приведенного на рис. 7, со следующими одинаковыми параметрами работ:

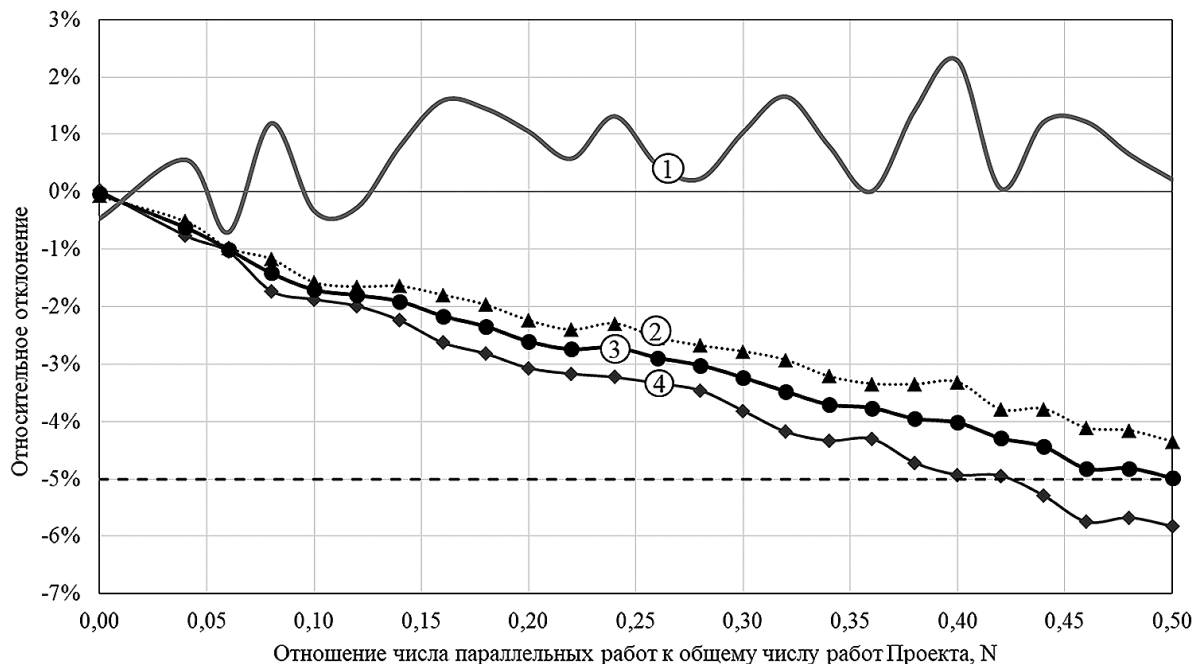


Рис. 4. Зависимость относительного отклонения результатов оценки Риска срыва планового срока от показателя N:

1 — показатель  $\alpha_{\sigma}$ , рассчитываемый по формуле (4); 2 — показатель  $\alpha_{p90}$ , рассчитываемый по формуле (6); 3 — показатель  $\alpha_M$ , рассчитываемый по формуле (5); 4 — показатель  $\alpha_{p10}$ , рассчитываемый по формуле (7)

Figure 4. Dependence of relative deviation of the results of the assessment of the risk of failure of the planned period on the N indicator:

1 —  $\alpha_{\sigma}$  index calculated using formula (4); 2 —  $\alpha_{p90}$  index calculated using formula (6); 3 —  $\alpha_M$  index calculated using formula (5); 4 —  $\alpha_{p10}$  index calculated using formula (7)

- наиболее вероятная оценка продолжительности выполнения работы: 10 единицы времени;
- оценка математического ожидания продолжительности выполнения работы: 10,67 единицы времени.

Проведено 10 итераций с одновременным изменением оптимистической оценки продолжительности выполнения каждой работы (от 9 до 0 единиц времени с шагом в 1 единицу времени) и пессимистической оценки продолжительности выполнения каждой работы (от 15 до 24 единиц времени с шагом в 1 единицу времени) при неизменной структуре типового КСГ Проекта.

Вследствие вышеуказанных изменений оценка среднеквадратического отклонения продолжительности выполнения каждой работы увеличивалась от 1 до 4 единиц времени с шагом 1/3 единиц времени, при этом математическое ожидание оставалось неизменным.

Исследование показало, что с ростом значений стандартного отклонения продолжительности выполнения каждой работы типового КСГ при постоянном математическом ожидании и числе параллельно выполняемых работ в типовом КСГ абсолютная величина относительного отклонения возрастает, что демонстрирует рис. 5. Такая тенденция объясняется ростом вероятности появления двух и более критических путей в типовом КСГ Проекта, что противоречит основным предпосылкам применения метода PERT.

Если принять тезис о том, что уровень предельно допустимого отклонения оценок показателей, полученных методом PERT, от соответствующих оценок, полученных методом имитационного моделирования, составляет 5%, то можно сделать следующие выводы по результатам проведенных исследований:

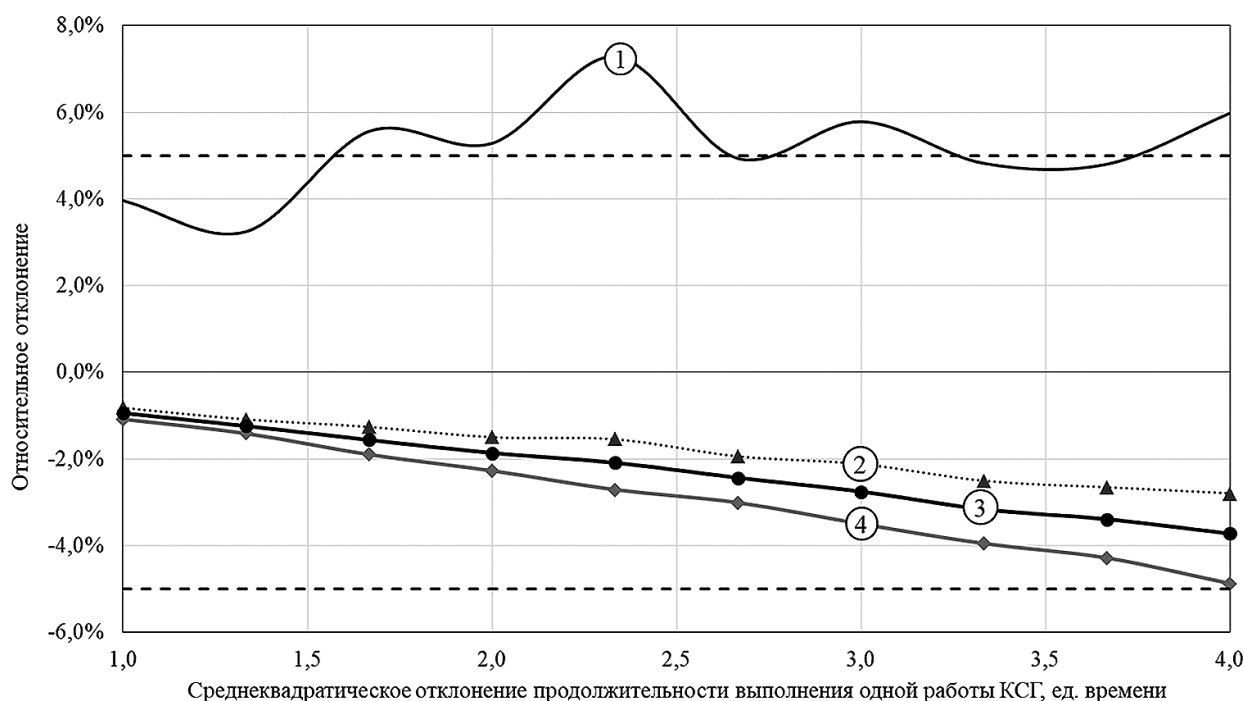


Рис. 5. Зависимость относительного отклонения результатов оценки Риска срыва планового срока от изменения оценок среднеквадратического отклонения продолжительности выполнения работ: 1 — показатель  $\alpha_{\sigma}$ , рассчитываемый по формуле (4); 2 — показатель  $\alpha_{p90}$ , рассчитываемый по формуле (6); 3 — показатель  $\alpha_M$ , рассчитываемый по формуле (5); 4 — показатель  $\alpha_{p10}$ , рассчитываемый по формуле (7)

Figure 5. Dependence of the relative deviation of the results of the assessment of the risk of failure of the planned period on the change in the estimates of the standard deviation of the duration of work:

1 —  $\alpha_{\sigma}$  index calculated using formula (4); 2 —  $\alpha_{p90}$  index calculated using formula (6); 3 —  $\alpha_M$  index calculated using formula (5); 4 —  $\alpha_{p10}$  index calculated using formula (7)

- предельное (максимально возможное) значение отношения числа параллельно выполняемых работ в типовом КСГ к общему их числу составляет порядка 0,45;
- предельное (максимально возможное) значение среднеквадратического отклонения продолжительности выполнения работ в типовом КСГ составляет примерно 5 единиц времени.

**Расчет вероятностных параметров продолжительности работ (комплексов работ) КСГ Проекта при ресурсных ограничениях методом Монте-Карло, оценка показателей Риска срыва планового срока**

К основным показателям оценки Риска срыва планового срока относятся:

- вероятность невыполнения всех или части работ Проекта к плановому сроку поставки технологического оборудования на объекты нефтегазовой компании;
- максимальное превышение плановых сроков поставки технологического оборудования на объекты нефтегазовой компании с доверительной вероятностью, например, с вероятностью 90% (далее — наибольшая задержка поставки);
- ожидаемое превышение плановых сроков поставки технологического оборудования на объекты нефтегазовой компании (далее — ожидаемая задержка поставки).

Ограничения на ресурсы задаются через ранние даты доступности ресурсов, необходимых для начала выполнения той или иной работы типового КСГ.

Для реализации метода Монте-Карло в условиях ресурсных ограничений требуется определить продолжительность выполнения Проекта для каждой итерации имитационного моделирования. Существует два варианта решения задачи:

**Вариант 1.** Все работы типового КСГ Проекта, у которых есть ограничения на ресурсы, разбиваются на две отдельные работы в соответствии со схемой, показанной на рис. 6.

На рис. 6 работа  $X$  — работа с ограничением на ресурсы, которые будут доступны лишь к определенному моменту времени, работа  $Z$  — фиктивная работа, продолжительность которой определяется по формуле:

$$P^Z = \max(D^X - P_H^X; 0), \quad (8)$$

где:

$P^Z$  — продолжительность работы  $Z$ ;

$D^X$  — ранняя дата (в относительном выражении) доступности ресурсов, необходимых для начала работы  $X$ , относительно даты начала работ КСГ;

$P_H^X$  — раннее начало работы  $X$ , определенное по методу критического пути [2].

С использованием типового КСГ, полученного путем добавления в него фиктивных работ (рис. 6, изображение справа), на каждой итерации имитационного моделирования определяется продолжительность выполнения Проекта методом критического пути.

**Вариант 2.** На каждой итерации имитационного моделирования с использованием типового КСГ (рис. 6, изображение слева) определяется продолжительность выполнения Проекта по формулам (9)–(12), которые основаны на методе критического пути, с учетом отмеченных выше ресурсных ограничений:

$$P_H^1 = 0, \quad (9)$$

где:  $P_H^1$  — раннее начало первой работы КСГ.

$$P_H^i = \max_{j \in y_i} (P_O^j), \quad \forall i = 2; 3; \dots; N, \quad (10)$$

где:

$P_H^i$  — раннее начало  $i$ -ой работы КСГ (за исключением первой работы);

$N$  — число работ КСГ;

$y_i$  — подмножество работ, входящих в работу  $i$ ;

$P_O^j$  — раннее окончание  $j$ -ой работы, входящей в работу  $i$ .

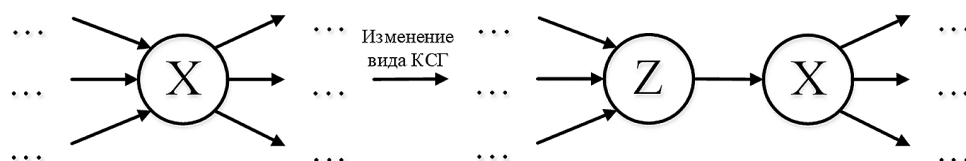


Рис. 6. Процесс изменения вида КСГ

Figure 6. Process for changing the network planning type

$$P_o^i = P_H^i + t^i + t_{\Pi}^i, \forall i = 1; 2; \dots; N, \quad (11)$$

где:

$P_o^i$  — раннее окончание  $i$ -ой работы КСГ;

$t_i$  — продолжительность  $i$ -ой работы КСГ;

$t_{\Pi}^i$  — условно подготовительное время, необходимое для выполнения работы  $i$  (продолжительность работы увеличивается на это время вследствие недоступности необходимых для выполнения работы ресурсов до момента  $D^i$ ). Время вычисляется по формуле:

$$t_{\Pi}^i = \max(D^i - P_H^i; 0), \forall i = 1; 2; \dots; N, \quad (12)$$

где:  $D^i$  — дата (в относительном выражении) доступности ресурсов, необходимых для начала  $i$ -ой работы КСГ, относительно даты начала работ КСГ.

На каждой итерации имитационного моделирования продолжительность выполнения Проекта совпадает с ранним окончанием последней работы типового КСГ (рис. 6, изображение слева).

#### 4. Пример количественной оценки Риска срыва плановых сроков реализации условного проекта разработки, изготовления и поставки технологического оборудования на объект добычи нефтегазовой компании

В таблице 1 приведены исходные данные для оценки Риска срыва планового срока поставки условного Проекта. Принятая в примере дата начала Проекта — 01.01.2024. Заданный плановый срок готовности поставки технологического оборудования на объекты нефтегазовой компании — 01.05.2032 (что составляет 100 единиц времени с момента запуска Проекта). На рис. 7 представлен типовой КСГ Проекта, соответствующий условиям примера, а в табл. 1 приведены иные необходимые исходные данные для оценки Риска срыва планового срока поставки.

Оценка показателей Риска срыва планового срока поставки выполнена методом имитационного моделирования.

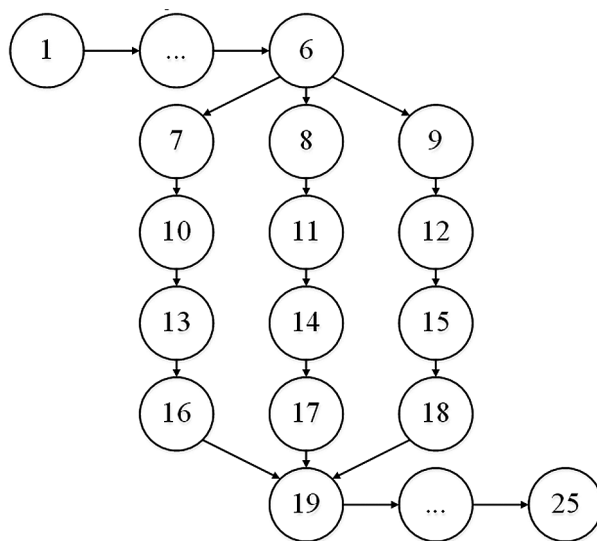


Рис. 7. Типовой КСГ Проекта

Figure 7. Typical project network schedule

По результатам  $10^4$  испытаний была сформирована гистограмма плотности вероятностного распределения продолжительности выполнения Проекта, представленная на рис. 8.

На основе полученной гистограммы методом квантиль-квантиль диаграмм [29, 30] была найдена функция вероятностного распределения и получены ее параметры. Наибольшее значение коэффициента детерминации ( $R^2$ ) показало логнормальное распределение (рис. 9).

График функции вероятностного распределения относительных сроков завершения Проекта<sup>4</sup> (с выделением пунктирной линией границы заданного срока готовности поставки технологического оборудования) представлен на рис. 10.

Вероятность невыполнения работ Проекта в плановый срок готовности поставки составляет 39,36%. Сроки завершения работ Проекта для уровней доверительных вероятностей  $P_{10}$  (10%),  $P_{50}$  (50%) и  $P_{90}$  (90%) представлены в табл. 2.

Максимальная задержка сроков выполнения работ Проекта для уровня доверительной вероятности  $P_{90}$  составляет 2,46 единицы времени, при этом ожидаемая задержка равна 0.

<sup>4</sup> Относительно даты его начала.

Таблица 1. Иные исходные данные для оценки Риска срыва планового срока поставки  
 Table 1. Other input data for the assessment of the Risk of disruption of the planned delivery time

| №<br>п/п | Наименование работы                                                                                                                                                                                             | Номера<br>исходящих<br>работ | Номера<br>входящих<br>работ | Экспертная оценка продолжительности работы,<br>единица времени |                    |                  | Ранняя дата доступности<br>ресурсов, необходимых<br>для выполнения работы <sup>5</sup> |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                                                                                                                                                                 |                              |                             | Оптимистическая                                                | Наиболее вероятная | Пессимистическая |                                                                                        |
| 1        | Разработка технических требований и технологическому оборудованию                                                                                                                                               | 2                            | -                           | 12                                                             | 15                 | 24               | -                                                                                      |
| 2        | Разработка технического проекта, уточнение стоимости проекта и состава потенциальных разработчиков/изготовителей оборудования                                                                                   | 3                            | 1                           | 2                                                              | 2,5                | 5                | -                                                                                      |
| 3        | Принятие окончательного инвестиционного решения нефтегазовой компанией о запуске проекта, определение генерального проектировщика, генерального конструктора, а также порядка взаимодействия участников проекта | 4                            | 2                           | 2                                                              | 3                  | 6                | -                                                                                      |
| 4        | Разработка рабочей конструкторской документации                                                                                                                                                                 | 5                            | 3                           | 12                                                             | 14                 | 18               | -                                                                                      |
| 5        | Технологическая подготовка производства                                                                                                                                                                         | 6                            | 4                           | 3                                                              | 4                  | 6                | -                                                                                      |
| 6        | Организационная подготовка производства                                                                                                                                                                         | 7, 8, 9                      | 5                           | 1                                                              | 1,5                | 3                | -                                                                                      |
| 7        | Изготовление критически важных элементов оборудования (элементы 1, 2, 3, соответственно)                                                                                                                        | 10                           | 6                           | 6                                                              | 7                  | 12               | -                                                                                      |
| 8        |                                                                                                                                                                                                                 | 11                           | 6                           | 6                                                              | 7                  | 12               | 01.09.2027                                                                             |
| 9        |                                                                                                                                                                                                                 | 12                           | 6                           | 6                                                              | 7,5                | 12               | -                                                                                      |
| 10       | Заводские испытания критически важных элементов оборудования (элементы 1, 2, 3, соответственно)                                                                                                                 | 13                           | 7                           | 3                                                              | 3,5                | 5                | -                                                                                      |
| 11       |                                                                                                                                                                                                                 | 14                           | 8                           | 2,5                                                            | 3                  | 6                | -                                                                                      |
| 12       |                                                                                                                                                                                                                 | 15                           | 9                           | 3                                                              | 4                  | 6                | -                                                                                      |
| 13       | Доработка критически важных элементов оборудования по результатам испытаний (элементы 1, 2, 3, соответственно)                                                                                                  | 16                           | 10                          | 2                                                              | 3                  | 5                | 01.09.2028                                                                             |
| 14       |                                                                                                                                                                                                                 | 17                           | 11                          | 2                                                              | 2,5                | 5                | 01.10.2028                                                                             |
| 15       |                                                                                                                                                                                                                 | 18                           | 12                          | 3                                                              | 4                  | 5                | -                                                                                      |

Окончание табл. 1

| №<br>п/п | Наименование работы                                                                                                                              | Номера<br>исходящих<br>работ | Номера<br>входящих<br>работ | Экспертная оценка продолжительности работы,<br>единица времени |                    |                  | Ранняя дата доступности<br>ресурсов, необходимых для<br>выполнения работы <sup>5</sup> |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                                                                                                  |                              |                             | Оптимистическая                                                | Наиболее вероятная | Пессимистическая |                                                                                        |
| 16       | Поставка (транспортировка) критически<br>важных элементов оборудования к месту<br>сборки головного образца (элементы 1,<br>2, 3, соответственно) | 19                           | 13                          | 1                                                              | 1,5                | 2                | -                                                                                      |
| 17       |                                                                                                                                                  | 19                           | 14                          | 1                                                              | 1,2                | 2                | -                                                                                      |
| 18       |                                                                                                                                                  | 19                           | 15                          | 1                                                              | 1,3                | 2                | -                                                                                      |
| 19       | Сборка головного образца (изделия в<br>сборе)                                                                                                    | 20                           | 16, 17, 18                  | 1                                                              | 1,5                | 2                | -                                                                                      |
| 20       | Испытания головного образца<br>оборудования на различных режимах<br>(в заводских условиях)                                                       | 21                           | 19                          | 6                                                              | 8                  | 12               | -                                                                                      |
| 21       | Корректировка рабочей конструкторской<br>документации в ходе изготовления и<br>испытаний головного образца оборудо-<br>вания                     | 22                           | 20                          | 6                                                              | 7                  | 9                | -                                                                                      |
| 22       | Монтаж головного образца оборудо-<br>вания на месте эксплуатации, проведение<br>опытно-промышленных испытаний                                    | 23                           | 21                          | 6                                                              | 8                  | 12               | -                                                                                      |
| 23       | Приемо-сдаточные испытания головного<br>образца оборудования                                                                                     | 24                           | 22                          | 2                                                              | 3                  | 5                | -                                                                                      |
| 24       | Сертификация оборудования                                                                                                                        | 25                           | 23                          | 5                                                              | 7                  | 12               | -                                                                                      |
| 25       | Изготовление партии оборудования                                                                                                                 | -                            | 24                          | 1                                                              | 1,2                | 3                | -                                                                                      |

<sup>5</sup> Прочерк означает отсутствие ограничений на ресурсы для данной работы.

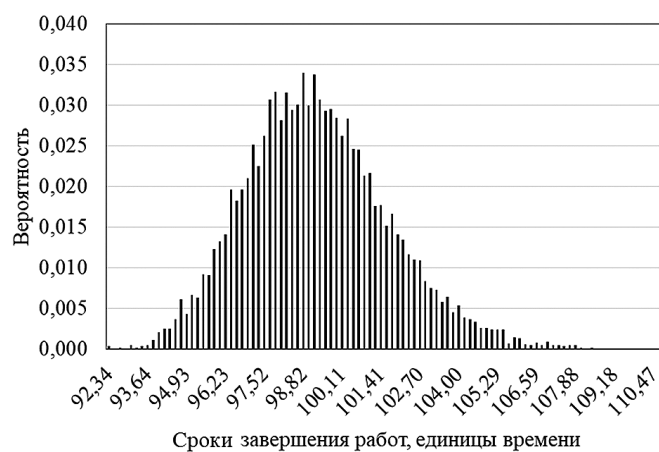


Рис. 8. Гистограмма плотности вероятностного распределения продолжительности реализации Проекта

Figure 8. Project duration probability distribution density histogram

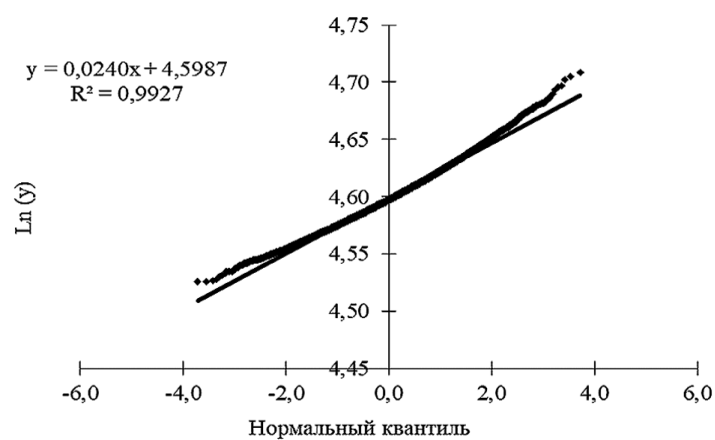


Рис. 9. Логнормальный квантиль

Figure 9. Lognormal quantile

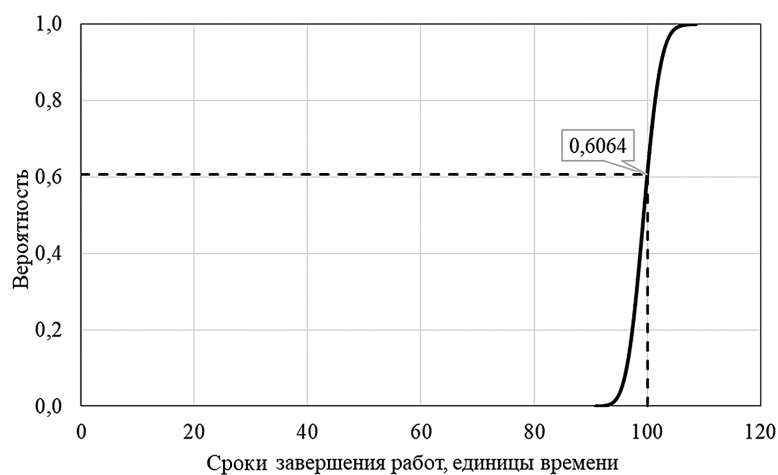


Рис. 10. Функция вероятностного распределения относительных сроков завершения Проекта

Figure 10. Function of probabilistic distribution of relative Project completion dates

**Таблица 2. Сроки завершения работ Проекта для разных уровней доверительных вероятностей**

*Table 2. Project completion dates for different levels of confidence probabilities*

| Уровни доверительных вероятностей, VaR                              | P10     | P50     | P90      |
|---------------------------------------------------------------------|---------|---------|----------|
| Продолжительность выполнения всех работ<br>Проекта, единица времени | 96,3463 | 99,3546 | 102,4568 |

## Заклучение

В статье рассмотрены вопросы применения методов риск-анализа и календарно-сетевого моделирования для решения задачи оценки риска срыва плановых сроков поставки на производственные объекты (добычи, транспортировки, хранения, переработки) нефтегазовых компаний новых видов технологического оборудования, в том числе в целях импортозамещения. Выполнен анализ значительного числа возможных методов решения поставленной задачи, по результатам которого предпочтение отдано сетевым подходам, основанным на моделях вида *PERT*, и имитационному моделированию Монте-Карло. Приведена алгоритмическая схема проведения оценки риска, показаны участники процесса его оценивания. Отмечено, что наиболее развитыми в научном плане являются методы оценки риска, основанные на моделях вида *GERT*. Однако применение последних для решения решаемой задачи в настоящее время затруднительно ввиду сложностей экспертного оценивания ряда параметров структуры сетевой модели (например, вероятностей выполнения определенных объемов доводочных работ по результатам испытаний продукции, прохождения экспертиз и т.п.) при недостаточности статистической информации о ранее реализованных рисковомых событиях.

Показана возможность применения выбранных методов оценивания риска на разных стадиях разработки нового технологического оборудования, включая начальные ее стадии, даже при отсутствии в Организации утвержденного КСГ разработки, изготовления и поставки оборудования на объекты нефтегазовой компании. Предложен подход к оценке рассматриваемых рисков, предполагающий построение типового КСГ разработки, изготовления и поставки технологического оборудования. При этом возможен учет ограничений на ресурсы различных видов, которые могут быть выделены для выполнения работ типового КСГ, начиная с определенного момента времени.

По результатам проведенного исследования авторы уточнили следующие границы работоспособности метода *PERT* для решения рассматриваемой задачи:

- в каждый момент времени могут быть выделены все необходимые для выполнения работ КСГ проекта ресурсы;
- в качестве предельного (максимально возможного) значения отношения числа параллельно выполняемых работ в типовом КСГ к общему их числу можно принять величину порядка 0,45;
- в качестве предельного (максимально возможного) значения среднеквадратического отклонения продолжительности выполнения отдельной работы типового КСГ можно принять величину порядка 5 единиц времени.

В случае невыполнения хотя бы одного из вышеперечисленных условий авторами рекомендуется применение метода имитационного моделирования Монте-Карло. Кроме того авторы рекомендуют применять подход Монте-Карло даже в случае выполнения вышеперечисленных условий в качестве проверочного метода к *PERT*.

Дальнейшие исследования ведутся авторами в следующих основных направлениях:

- оценка финансовых последствий для нефтегазовой компании от реализации риска срыва плановых сроков поставки технологического оборудования на ее производственные объекты, а также риска превышения допустимых уровней финансовых последствий;
- выявление критических работ (комплексов работ) КСГ, их ранжирование по критериям вероятности нахождения работ КСГ на критическом пути, а также уровню влияния возможных изменений отдельных параметров работ (например, пессимистической оценки продолжительности работы; ранней даты доступности ресурсов, необходимых для выполнения работы и др.) на срыв плановых сроков поставки технологического оборудования на производственные объекты нефтегазовой компании;
- многоуровневая оценка риска срыва плановых сроков поставки сложного технологического оборудования

на производственные объекты нефтегазовой компании с учетом КСГ второго и более низких уровней;

- выявление критических работ КСГ второго и более низких уровней, их ранжирование по критериям вероятности нахождения работ КСГ различных уровней на критическом пути, а также по уровню влияния возможных изменений отдельных параметров работ КСГ разных уровней на срыв плановых сроков поставки сложного технологического оборудования на производственные объекты нефтегазовой компании.

Решение вышеперечисленных задач создаст необходимые предпосылки для повышения обоснованности управленческих решений, связанных:

- с оценкой экономической эффективности для нефтегазовой компании проектов разработки, изготовления и поставки на объекты нефтегазовой компании технологического оборудования с учетом возможных финансовых потерь от реализации риска срыва плановых сроков поставки оборудования;

- с уточнением выбора перечня Организаций, занимающихся разработкой, изготовлением и поставкой на объекты нефтегазовой компании технологического оборудования с использованием не только экономических критериев (например, совокупная стоимость разработки, изготовления технологического оборудования), но и критерия ограниченности риска срыва плановых сроков поставки;

- с разработкой системы планирования, мониторинга и контроля за реализацией проектов разработки, изготовления и поставки на объекты нефтегазовой компании технологического оборудования на основе индикативных, в том числе и рискованных показателей, а также результатов ранжирования отдельных работ КСГ по их влиянию на уровень риска срыва плановых сроков поставки, что позволит своевременно выявлять критически важные работы КСГ, элементы технологии и повышать уровень обоснованности управленческих решений.

Предлагаемый подход к оценке Риска срыва плановых сроков поставки был успешно апробирован для нескольких наименований технологического оборудования, которые в дальнейшем будут поставляться на объекты Южно-Кириновского газоконденсатного месторождения. Среди этих наименований - скважинный трактор, роторно-управляемая система и другое инновационное оборудование для обустройства объектов добычи на шельфе.

## Список источников [References]

1. Project management Institute. A guide to the project management body of knowledge. Pennsylvania: Project Management Institute, 2016. 760 p.
2. Математические модели управления проектами: учебник / И.Н. Царьков; предисловие В.М. Аньшина. М.: ИНФРА-М, 2018. 514 с. (Высшее образование: Магистратура). [Mathematical models of project management: textbook / I. N. Tsarkov; preface by V. M. Anshin. M.: INFRA-M, 2018. 514 p. (Higher education: Magistracy). (In Russ.)]
3. ГОСТ Р 58970–2020. Менеджмент риска. Количественная оценка влияния рисков на стоимость и сроки инвестиционных проектов / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174887?ysclid=lu8ecrag25621741693> [GOST R 58970-2020. Risk management. Quantitative cost and schedule risk analysis for investment projects // URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200174887?ysclid=lu8ecrag25621741693> (In Russ.)]
4. ГОСТ Р 58048-2017. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158331?ysclid=lu8edyf2jv372484706> [GOST R 58048-2017. Technology transfer. Technology maturity assessment methodology guide / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200158331?ysclid=lu8edyf2jv372484706> (In Russ.)]
5. Демкин И.В. Методология управления инновационным риском: (методы, модели, инструменты): научное издание / И.В. Демкин; И.В. Демкин. М.: МАТИ, 2008. 429 с. ISBN 978-5-93271-471-3 [Demkin I. V. Methodology for managing innovative risk: (methods, models, tools): scientific publication / I. V. Demkin; I. V. Demkin. M.: MATI, 2008. 429 p. ISBN 978-5-93271-471-3. (In Russ.)]
6. Васютович А.В., Сотникова А.Н. Рыночный риск: измерение и управление // Банковские технологии. 1998. № 1. URL: <http://www.catback.ru/articles/practice/risk/1007081624.htm?ysclid=lu8654rpf0481324281> [Vasyutovich A. V., Sotnikova A. N. Market risk: measurement and management // Banking technologies. 1998. № 1. URL: <http://www.catback.ru/articles/practice/risk/1007081624.htm?ysclid=lu8654rpf0481324281>. (In Russ.)]
7. Шарп У.Ф., Александер Г.Д., Бэйли Дж. Инвестиции: Пер. с англ. М.: Инфра-М. 2001. 1028 с. [Sharp W.F., Alexander G. D., Bailey J. Investment: transl. from engl. M.: Infra-M. 2001. 1028 p.]

8. Лимитовский М. А. Инвестиционные проекты и реальные опционы на развивающихся рынках. М.: Дело. 2004. 527 с. [Limitovsky M. A. Investment projects and real options in emerging markets. M.: Delo. 2004. 527 p. (In Russ.)]
9. Шапкин А. С. Экономические и финансовые риски. Оценка, управление, портфель инвестиций: [Монография] / А. С. Шапкин. М.: Дашков и К° 2003. 544 с. [Shapkin A. S. Economic and financial risks. Evaluation, management, investment portfolio: [Monograph] / A. S. Shapkin. M.: Dashkov & Co. 2003. 544 p. (In Russ.)]
10. Kahneman D., Tversky A. Prospect theory: an analysis of decision under risk // *Econometrica*. 1993;6(1):187–198
11. Блех Ю., Гетце У. Инвестиционные расчеты: Модели и методы оценки инвестиц. проектов: [Пер. с нем.] / Ю. Блех, У. Гетце. Калининград: Янтар. сказ, 1997. 437 с. [Blech Yu., Goetze U. Investment calculations: Models and methods for evaluating investment projects: [transl. from German] / Y. Blech, W. Goetze. Kaliningrad: Yantar. Skaz, 1997. 437 p.]
12. Грачева М. В., Секерин А. Б. Риск-менеджмент инвестиционного проекта. М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2012. 544 с. [Gracheva M. V., Sekerin A. B. Risk management of investment project. M.: UNITI-DANA. 2012. 544 p. (In Russ.)]
13. Engwall, M. (2012), “PERT, Polaris, and the realities of project execution”, *International Journal of Managing Projects in Business*, Vol. 5 No. 4, pp. 595–616. <https://doi.org/10.1108/17538371211268898>
14. Макаров В. М., Круляк П. Метод управления рисками невыполнения в срок проектов создания крупных энергетических объектов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2021. Т. 14. № 1. С. 109–121. DOI: 10.18721/JE.14109 [Makarov V. M., Krolas P. Method for managing risks related to non-fulfillment of large energy facilities constructions projects on time // *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*. 2021;14(1):109–121. (In Russ.). DOI: 10.18721/JE.14109]
15. Ахьюджа Х. Сетевые методы управления в проектировании и производстве. Перевод с англ. Б. С. Лунякова, В. М. Симонова; Под ред. В. В. Калашникова. М.: Мир. 1979. 638 с. [Ahyuja H. Network management methods in design and manufacturing. Transl. from Engl. B. S. Lunyakova, V. M. Simonova; Ed. V. V. Kalashnikov. M.: Mir. 1979. 638 p.]
16. Демкин И. В. Управление инновационным риском на основе имитационного моделирования. Часть 1. Основные подходы к оценке инновационного риска // Проблемы анализа риска. 2005. Т. 2. № 3. С. 249–273 [Dyomkin I. V. The management of innovation risk on the base of imitation simulation. Part 1. Basic approaches to risk estimation // *Issues of Risk Analysis*. 2005;2(3):249–273. (In Russ.)]
17. Демкин И. В. Управление инновационным риском на основе имитационного моделирования. Часть 2. Основные методы управления инновационным риском // Проблемы анализа риска. 2006. Т. 3. № 1. С. 53–67 [Dyomkin I. V. The management of innovation risk on the base of imitation simulation. Part 2. Basic approaches to risk management // *Issues of Risk Analysis*. 2006;3(1):53–67. (In Russ.)]
18. Мироносецкий Н. Б., Кирина Л. В., Кузнецова С. А. Модели управления научно-техническим прогрессом на предприятии / Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1988. 153 с. [Mironosetsky N. B., Kirina L. V., Kuznetsova S. A. Models of managing scientific and technical progress at the enterprise / Novosibirsk: Science. Sib. otd. 1988. 153 p. (In Russ.)]
19. Троцкий М., Груча Б., Огонек К. Управление проектами / М.: Финансы и статистика. 2006. 301 с. [Trotsky M., Grucha B., Ogonek K. Project Management / M.: Finance and Statistics. 2006. 301 p. (In Russ.)]
20. Колданов А. П., Колданов П. А. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник. М.: Изд. дом Высшей школы экономики. 2023. 245 с. [Koldanov A. P., Koldanov P. A. Probability theory and mathematical statistics: Textbook. M.: Ed. house of the Higher School of Economics. 2023. 245 p. (In Russ.)]
21. Trietsch D. PERT 21: Fitting PERT/CPM for use in the 21st century // *International Journal of Project Management*. 2012;30(4):490–502
22. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности: научное издание / В. М. Аньшин [и др.]. — М.: Изд. центр МАТИ. 2008. 191 с. ISBN 978-5-93271-415-7 [Models of project portfolio management in conditions of uncertainty: scientific publication / V. M. Anshin [et al.]. M.: ed. MATI Center. 2008. 191 p. ISBN 978-5-93271-415-7. (In Russ.)]
23. Wang J., Hwang W.-L. A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model // *Omega*, Elsevier, vol. 35(3), pages 247–257
24. Chiu, Chui-Yu and Chan S. Park. Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion. *The Engineering Economist*. 39 (1994):113–138.

25. Демкин И.В. Оценка риска прекращения инновационного проекта на основе кумулятивной теории проспектов // Труды Вольного экономического общества России. 2006. Т. 74. С. 96–103 [Demkin I. V. Risk Assessment of Termination of Innovation Project Based on Cumulative Prospectus Theory // Scientific Works of the Free Economic Society of Russia. 2006;74:96–103. (In Russ.)]
26. Энциклопедия финансового риск-менеджмента / под ред. А.А. Лобанова, А.В. Чугунова. М.: Альпина Бизнес Букс. 2006. 703 с. [Encyclopedia of financial risk management / ed. by A. A. Lobanova, A. V. Chugunova. M.: Alpina Business Books. 2006. 703 p. (In Russ.)]
27. ГОСТ Р 54869–2011 Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200089604> [GOST R 54869-2011. Project management. Requirements for project management / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200089604>. (In Russ.)]
28. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. Пособие для вузов / В.Е. Гмурман. 10-е изд., стер. М.: Высш. Шк., 2004. 479 с. [Probability theory and mathematical statistics: study manual for universities / V.E. Gmurman. 10th ed., M.: Vysch. Shk., 2004. 479 p. (In Russ.)]
29. Акимов В.А. Введение в статистику экстремальных значений и ее приложения / В.А. Акимов, А.А. Быков, Е.Ю. Щетинин; МЧС России; Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России. М.: ВНИИ ГОЧС (ФЦ). 2009. 536 с. ISBN 978-5-93970-037-5 [Akimov V.A. Introduction to the statistics of extreme values and its applications / V.A. Akimov, A. A. Bykov, E. Yu. Shchetinin; EMERCOM of Russia; All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies of the Russian Emergencies Ministry. M.: VNII GOChS (FC). 2009. 536 p. ISBN 978-5-93970-037-5. (In Russ.)]
30. Быков А.А. Статистический анализ урегулирования убытков по программам имущественного страхования:

рекомендации для страхователей и риск-менеджеров крупных компаний / А.А. Быков. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. 242 с. [Bykov A. A. Statistical analysis of the settlement of losses under property insurance programs: recommendations for insurers and risk managers of large companies / A. A. Bykov. M.: Gazprom VNIIGAZ, 2014. 242 p. (In Russ.)]

## Сведения об авторах

**Демкин Игорь Вячеславович:** доктор экономических наук, начальник лаборатории, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»  
Количество публикаций: более 80, в т.ч. монографий — 2, учебных изданий — 10

Область научных интересов: управление риском, управление проектами, логико-вероятностное моделирование

*Контактная информация:*

Адрес: 142717, Россия, Московская обл., г.о. Ленинский, п. Развилка, ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1  
[i.demkin@mail.ru](mailto:i.demkin@mail.ru)

**Ковалев Сергей Андреевич:** кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»  
Количество публикаций: более 70

Область научных интересов: управление риском, механизмы проявления рисков событий, безопасность человека и окружающей среды, логико-вероятностное моделирование

*Контактная информация:*

Адрес: 142717, Россия, Московская обл., г. о. Ленинский, п. Развилка, ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1  
[s.kovalev2006@mail.ru](mailto:s.kovalev2006@mail.ru)

**Митченко Антон Александрович:** младший научный сотрудник, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Количество публикаций: 0

Область научных интересов: управление риском

*Контактная информация:*

Адрес: 142717, Московская область, г.о. Ленинский, п. Развилка, ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1  
[antileo00@yandex.ru](mailto:antileo00@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию: 28.12.2023  
Одобрена после рецензирования: 18.03.2024  
Принята к публикации: 20.03.2024  
Дата публикации: 26.04.2024

The article was submitted: 28.12.2023  
Approved after reviewing: 18.03.2024  
Accepted for publication: 20.03.2024  
Date of publication: 26.04.2024