

УДК 338.2 DOI: 10.14451/1.222.61

Разработка механизма планирования затрат на проекты НИОКР на промышленных предприятиях химической отрасли с учетом факторов риска

© 2023 **Максименко Елизавета Игоревна**

аспирант. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.

E-mail: Maksimenko_liza@mail.ru

© 2023 **Сулоева Светлана Борисовна**

профессор, доктор экономических наук. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.

E-mail: suloeva_sb@spbstu.ru

© 2023 **Гришунин Сергей Вадимович**

доцент, кандидат экономических наук. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

E-mail: sergei.v.grishunin@gmail.com

© 2023 **Некрасова Татьяна Петровна**

профессор, доктор экономических наук. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.

E-mail: dean@fem.spbstu.ru

Ключевые слова: химическая промышленность, инновации, контроллинг инвестиций, контроллинг рисков, управление проектами, управление стоимостью и графиком проекта, бюджетирование с учетом рисков.

В данной статье разработан механизм планирования и бюджетирования затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские проекты (НИОКР) на промышленных предприятиях химической отрасли с учетом факторов риска. Актуальность данной темы объясняется растущей сложностью и неопределенностью инновационной деятельности; высокой значимостью стоимости и времени как ключевых метрик эффективности проектов НИОКР. В работе рассматривается снижение эффективности существующих механизмов, слабо учитывающих риски, и восполняются пробелы в исследованиях в этой области.

Введение

Химическая отрасль остается важнейшим фактором роста показателей экономики и инноваций среди прочих отраслей промышленности. С другой стороны, она испытывает растущую нестабильность и неопределенность в сочетании с увеличением стоимости и сокращением времени инноваций. Уровень рисков возрастает, скорость их наступления увеличивается, а их влияние на научно-исследовательские и опытно-конструкторские проекты (НИОКР) становится все более серьезным [2].

В таких условиях руководителям компаний химической промышленности (ХимПром), ответственным за инновации, необходимы новые методы и механизмы управления стоимостью и графиком НИОКР с учетом факторов внешней и внутренней среды. «Традиционные» системы [1; 9] не позволяют с приемлемой точностью удерживать стоимость и сроки выполнения НИОКР в рамках бизнес-планов. Решением является разработка и внедрение систем управления стоимостью и графиком проекта с поправкой на риск. Они основаны на принципах, методах и инструментах инвестиционного контроллинга и контроллинга рисков [3; 4] и обеспечивают своевременное выявление и оценку критических рисков проекта, а также принятие эффективных решений по снижению рисков.

В статье разрабатывается один из критических модулей комплексной системы управления затратами и временем на основе риск-контроллинга – механизм планирования и бюджетирования затрат с учетом факторов рисков. Актуальность данной темы объясняется: 1) высокой значимостью затрат и времени, как ключевых метрик эффективности инновационного процесса; 2) значительными трудностями в прогнозировании затрат и времени проекта; 3) возрастающей ролью модуля бюджетирования, как прямого механизма контроля за процессом реализации проекта. В свою очередь, приведенные в литературе попытки интегрировать управление рисками в механизмы планирования и бюджетирования затрат [12; 15; 16] являются

неполными, дискретными и не дают системного представления об управлении рисками.

Новизна статьи обусловлена преимуществами разработанного механизма перед его «традиционными» аналогами. Он позволяет 1) своевременно выявлять неопределенности и риски; 2) выбирать более надежную и прозрачную оценку рисков; 3) концентрировать время и усилия руководства на ключевых рисках и факторах стоимости; 4) минимизировать риски на более ранних стадиях процесса, что повышает скорость и качество планирования и бюджетирования.

В разделах 1 и 2 статьи представлен прогноз развития мировой химической отрасли и обзор литературы по планированию с учетом факторов риска и бюджетированию затрат. В разделе 3 определяется роль риск-контроллинга в управлении проектами НИОКР и приводится референтная модель комплексной системы управления затратами и сроками выполнения НИОКР, основанная на принципах инвестиционного контроллинга. В разделе 4 и 5 разработан механизм планирования с учетом рисков и бюджетирования затрат на НИОКР для компаний ХимПром и сформулированы выводы. Теоретической и методологической основой послужили исследования российских и зарубежных ученых и практиков бизнеса в области управления затратами на НИОКР.

Анализ предприятий химической отрасли

Химическая отрасль в России – одна из наиболее перспективных и одновременно одна из самых отстающих по мировым меркам отраслей промышленности. Согласно Стратегии химической промышленности России на период до 2030 года, рост показателей химического комплекса за 2012–2030 гг. превысит рост ВВП в 1,5 раза. С одной стороны, к текущему моменту сложились положительные тенденции: прибыль увеличилась, загрузка мощностей достигла высокого уровня, мировой спрос характеризовался положительной динамикой. С другой стороны, долгосрочные перспективы развития отрасли неоднозначны в связи с резким замедлением темпов экономического роста из-за пандемии

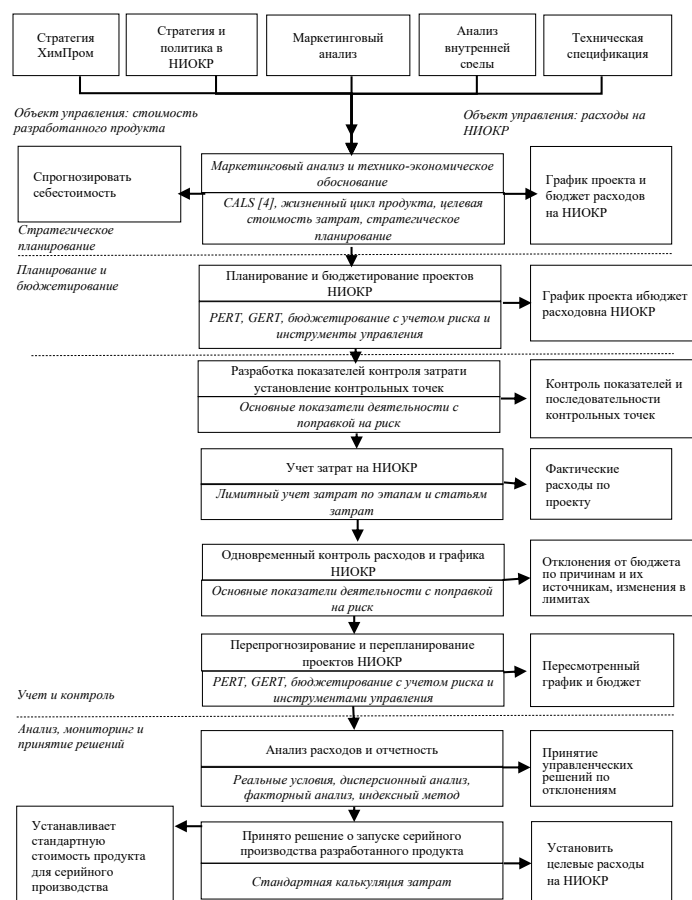


Рис. 1. Референтная модель комплексной системы управления расходами на НИОКР и временем.

Covid-19, санкций, структурных рисков и неурегулированности внешних отношений. Организация экономического сотрудничества и развития отмечает, что риск того, что взаимодействие резкого замедления роста китайской экономики, волатильности цен на нефть, а также сложного положения некоторых европейских банков может привести к ухудшению ситуации на ключевых рынках химической промышленности.

Важно отметить, что особенности предприятий химической отрасли влияют на выбор подходов и инструментов управления. Особенности химического комплекса, отличающие его от других отраслей промышленности, заключаются в следующих аспектах:

1. высокий уровень инновационной научно-технической деятельности;
2. высокая степень автоматизации производства;

3. высокий уровень безопасности;
4. широкий спектр продукции;
5. высокая степень конкуренции – химическая отрасль является одной из самых конкурентных отраслей промышленности, где каждый производитель стремится выиграть свою долю рынка благодаря инновационным технологиям и качественной продукции.

НИОКР в химической промышленности является необходимой составляющей для инновационного развития отрасли и повышения ее эффективности [6; 8]. Без проведения научных исследований и опытно-конструкторской работы невозможно создать новые продукты, улучшить качество существующих, а также оптимизировать технологические процессы производства. НИОКР позволяет сократить время и затраты на разработку и внедрение новых продуктов, что является особенно актуальным в условиях жесткой конкуренции на рынке. Кроме того, НИОКР

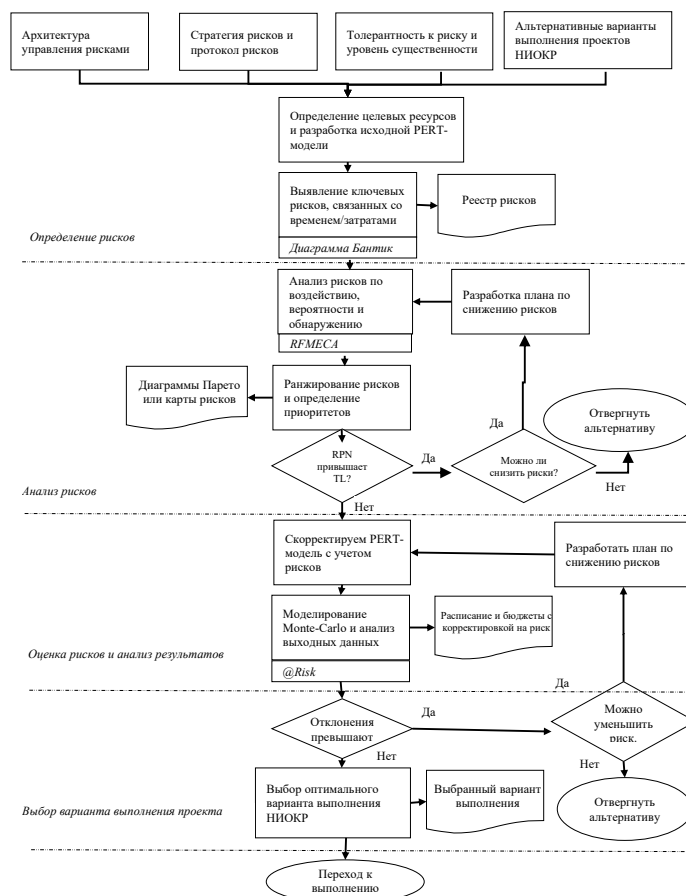


Рис. 2. Блок-схема механизма планирования и бюджетирования проекта НИОКР с поправкой на риск.

позволяет анализировать рынок и потребительские запросы, что также является важным фактором для успешного функционирования предприятий химической промышленности. В целом, проведение НИОКР в химической отрасли является необходимым условием для ее развития и повышения конкурентоспособности.

Внедрение на предприятиях химической отрасли цифровых технологий несет в себе как новые возможности, так и риски, обусловленные макроэкономическими и трансформационными, экологическими и внутренними факторами. При этом оценить и проанализировать реальные риски и возможности реализации конкурентного преимущества компании представляет собой непростую задачу.

Управление стоимостью и графиком реализации проектов НИОКР с учетом факторов риска: обзор литературы

Разработка эффективных механизмов управления стоимостью и временем выполнения НИОКР находится в центре внимания исследователей, как в стране, так и в мире [1; 9]. Это обусловлено растущей сложностью инновационной деятельности и повышением волатильности проектной среды; коротким временем выхода на рынок, что приводит к философии «быстрее-лучше-дешевле»; высокой стоимостью проектов НИОКР в сочетании с низкой вероятностью успеха проектов НИОКР. Последнее объясняется различными рисками, вызванными 1) отказами новых технологий; 2) ошибками проектирования; 3) непринятием продукции клиентами; 4) отказами поставщиков; 5) макроэкономической неопределенностью и внешними потрясениями; 6) нормативными ограничениями; 7) проблема-

ми с человеческими ресурсами; 8) действиями конкурентов; 9) операционными проблемами; 10) нарушениями координации [7].

Однако, в современной бизнес-среде «традиционные» комплексные системы управления затратами и временем выполнения НИОКР [1; 4; 9] не способны удержать затраты/время проекта в рамках прогнозов/графиков с необходимой точностью. Эти системы обычно сообщают о расхождении фактических затрат/времени проекта с бюджетом/планом примерно на 15–40%. В настоящее время такая величина расхождений превышает допустимый уровень.

Низкая эффективность «традиционных» систем обусловлена тем, что механизмы планирования и бюджетирования затрат в таких системах не служат истинными регуляторами. В данных системах плановые значения затрат и прогнозы продолжительности НИОКР в основном основаны на исторических односторонних оценках, стандартах и метриках. Существующие подходы к анализу чувствительности и стресс-тестированию сосредоточены на отдельных отклонениях; прогнозные значения и стандарты затрат часто основаны на плохо проверяемых статистических данных/мнениях экспертов, поскольку почти каждый проект НИОКР уникален. Кроме того, обратная связь и параллельный контроль в «традиционных» системах часто обеспечивают запоздалую реакцию из-за быстрого наступления рисков. Исследования показывают: эффективность комплексных систем управления стоимостью и графиком НИОКР может быть значительно повышена, если в эти системы интегрировать процессы управления рисками полного цикла.

Однако обзор литературы показывает, что существующие попытки интеграции управления рисками в системы управления стоимостью и графиком выполнения НИОКР являются неполными, дискретными и изолированными. Они не обеспечивают системного взгляда на управление рисками. Исследования сосредоточены на разработке отдельных инструментов и методик, например: 1) анализ внутренней и внешней среды

и идентификация рисков [1]; 2) методы оценки рисков с использованием различных инструментов, включая анализ режимов и эффектов отказа проекта или 3) планирование и бюджетирование затрат с учетом рисков [12; 16].

Мы рекомендуем построить комплексный подход, объединяющий вышеперечисленные инструменты и методы в интегрированный механизм планирования и бюджетирования затрат с учетом рисков. Такой механизм может быть построен на принципах и с использованием методологий и инструментов риск-контроллинга [3].

Инвестиционный контроллинг в управлении инновационными проектами

Инвестиционный контроллинг (ИК) — это применение принципов и методов контроллинга к управлению проектами, сочетание процессов, методов, навыков и инструментов, обеспечивающих достижение целей проектов в неопределенной и быстро меняющейся бизнес-среде [7]. На предприятиях химической промышленности он применяется в основном для проектов, связанных с НИОКР новых технологий, продуктов или услуг. Проведенные исследования показали, что внедрение инвестиционного контроллинга, несмотря на дороговизну его внедрения, позволяет снизить отклонения фактических сроков выполнения этапов НИОКР от запланированных на 50% [4; 7], а фактических расходов от плановых примерно на 7–20%. Это позволяет достичь более ранней окупаемости инновационного проекта, а также получить конкурентное преимущество для предприятия.

Контроллинг рисков (КР) является неотъемлемой частью всех организационных процессов ИК. Это ориентированный на достижение целей набор методов, процессов и инструментов для организации управления рисками по всем функциям управления, включая планирование, анализ, контроль и учет, организацию и регулирование и во всех процессах ИК. КР решает задачи разработки архитектуры (инфраструктуры и процессов) управления рисками сложных инновационных проектов. Применяя эту архитектуру к конкретным рискам, мене-

джеры компаний химической промышленности, в рамках процесса самоконтроля, осуществляют управление инновационным проектом с учетом рисков [3]. Функции риск-контроллинга в системе инвестиционного контроллинга:

1. Анализ.
 - Определение характеристик внешней и внутренней среды, которые подвергают проекты НИОКР рискам;
 - Выявление и приоритизация рисков по элементам процесса НИОКР;
 - Внедрение инструментов и методов анализа рисков;
 - Выявление несоответствий инновационной политики компании ХимПром к угрозам.
2. Планирование и составление бюджета.
 - Разработка инструментов планирования и бюджетирования с учетом рисков;
 - Дополнение системы ключевых показателей эффективности научно-исследовательской деятельности элементами лимитов риска и сигналами раннего предупреждения;
3. Разработка и исследование продукции.
 - Консультирование по вопросам управления рисками, возникающими в рамках любого проекта НИОКР;
 - Помощь в интегрировании практики управления рисками в процесс НИОКР;
 - Рекомендации мер по устранению последствий для снижения рисков до приемлемого уровня.
4. Воспроизведение активов проекта.
 - Разработка инструментов анализа специфических рисков, характерных для задач НИОКР;
 - Дополнение управления портфелем НИОКР инструментами управления рисками.
5. Контроль.
 - Разработка моделей оценки рисков и их влияния на цели проекта;
 - Проекты и внедрение систем раннего предупреждения о рисках;
 - Предложение «барьеров» для остановки распространения рисков;

- Консультация и разработка процедур контроля.

6. Мониторинг и отчетность.

- Внесение изменений и консультация по вопросам создания системы отчетности по рискам.

7. Упорядочивание.

- Консультация по вопросам, связанным с принятием решений по управлению рисками;
- Предложение вариантов/консультации для управления рисками.

На основе этих принципов нами была разработана референтная модель комплексной системы управления затратами на НИОКР и временем выполнения проектов (рис. 1). Ее преимущества перед «традиционными» системами, представленными, например, в [1; 9], заключаются в 1) интеграции системы управления рисками в систему управления затратами НИОКР с учетом продолжительности выполнения этапов; 2) обеспечении интеграции и координации всех этапов управления стоимостью/временем проекта; 3) применении современных инструментов планирования, контроля, учета и принятия решений, позволяющих повысить эффективность инвестиционной деятельности компании. В следующем разделе представлен механизм планирования затрат НИОКР с поправкой на риск, который является неотъемлемой частью этой системы.

Разработка механизма планирования и бюджетирования затрат на проект НИОКР с учетом факторов риска

1. Блок-схема механизма.

Разработанная блок-схема механизма представлена на рисунке 2.

В механизме планирования и бюджетирования затрат на проект НИОКР с учетом факторов риска применяются: диаграмма «бантик» для идентификации рисков; методика PERT для планирования; метод RFMEA для анализа рисков; программное обеспечение @Risk для оценки рисков и моделирования методом Monte-Carlo; критерии Гурвича для выбора оптимальной аль-

тернативы [2; 13; 15]. Предпосылкой для применения механизма является развитая инфраструктура управления рисками в компании. Она определяет роли, ответственность, коммуникацию по рискам и структуру отчетности по проекту НИОКР и рискам.

2. Этап 1. Генерирование входных данных механизма.

Для каждого варианта выполнения проекта НИОКР на этапе стратегического планирования должны быть сформулированы следующие ключевые исходные данные (табл. 1).

На этом этапе необходимо создать и обучить команду по бюджетированию и планированию проекта из числа сотрудников отделов и служб, задействованных в проекте.

3. Этап 2. Определение рисков каждого варианта проекта.

На первом этапе команда проекта с применением методов PERT [13], используя данные первого этапа, определяет и рассчитывает по вариантам проекта критический путь, критические этапы и резервы времени по этапам проекта; моделирует взаимосвязь между критическим путем и продолжительностью выполнения этапов; определяет слабые звенья и узкие места как ключевые зоны риска; моделирует общую стоимость проекта в зависимости от продолжительности, объема и цен на ресурсы.

Команда также может выполнить оптимизацию сетевого графика проекта с целью минимизации стоимости проекта при минимально возможной продолжительности проекта [13]. Затем команда определяет ключевые риски, влияющие на промежуточные и конечные цели, с помощью диаграммы «бантик» (рис. 3) [13]. Она обеспечивает структурный анализ рисков и визуализацию взаимосвязи между риском, его причинами, последствиями, а также помогает определить места для барьеров риска, средств контроля и контрмер на случай непредвиденных обстоятельств. Идентифицированные риски с атрибутами заносятся в реестр рисков.

4. Этап 3. Анализ рисков с помощью RFMEA.

Каждый риск анализируется по трем параметрам: влияние на конечные цели (значимость последствий) (I), вероятность наступления рисков события (P) и вероятность обнаружения (S) – способность выявить рисков событие до его наступления. Оценки измеряются по шкале от 1 до 10 и объединяются в ранг приоритета риска (RPN), которое представляет собой произведение значимости последствий, значений вероятности возникновения и обнаружения. Для выполнения анализа рисков команда должна использовать разработанные диаграммы «бантик».

Рекомендации по значениям рейтинга значимости последствий [2; 15].

Шкала значений рейтинга значимости последствий:

1. Несущественный
2. Очень незначительный
3. Незначительный
4. Очень низкий
5. Низкий
6. Умеренный
7. Высокий
8. Очень высокий
9. Крайне высокий
10. Опасно высокий

Расписание (I_d):

$$I_d = \begin{cases} \text{if } dT < 0 \text{ then} \\ \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ if } |dT| \leq MT \\ \left[\left(\frac{|dT| - MT}{VT - MT} \right) \times 7 \right] \\ 8 \text{ or } 9 \\ \text{if } VT < |dT| \geq RT \\ 10, \text{ if } |dT| \geq RT \end{array} \right\} \\ \text{if } dT \geq 0 \text{ then } I_d = 1 \end{cases} \quad (1)$$

Стоимость (I_c):

if $dC < 0$ then

Таблица 1. Основные исходные данные для механизма планирования и бюджетирования с учетом риска.

Входное имя	Определение ввода	Обозначения/примеры
Конечные цели	Цели, определяющие общую продолжительность и общую стоимость проекта	T – общая продолжительность C – общая стоимость
Отклонения от конечных целей	Продолжительность (dT) и затраты (dC) отклонения фактической продолжительности (T) и затрат (C) от конечных целей	$dV = T - T$ $dC = C - C$
Промежуточные цели	Цели, которые определяются путем разделения конечных целей по этапам проекта и/или типам ресурсов	T_i – продолжительность i-го этапа; C_i – стоимость i-го этапа; c_{ij} – стоимость j-го ресурса на i-м этапе; $q_{ij} - p_{ij}$ – потребление/цена j-го ресурса на i-м этапе.
Уровни толерантности к риску	Степень изменчивости конечных целей, которую готовы выдержать заинтересованные стороны проекта	VT – уровень толерантности к продолжительности VC – уровень терпимости к общим затратам
Уровни склонности к риску	Максимальный уровень изменчивости конечных целей, который является приемлемым	RT – склонность к риску в отношении продолжительности RC – склонность к риску в отношении затрат
Уровни существенности риска	Степень изменчивости конечных целей, которую заинтересованные стороны проекта считают несущественной	MT – уровень существенности для продолжительности MC – уровень существенности для общих затрат.

$$I_d = \begin{cases} 1, \text{ if } |dC| \leq MT \\ \left[\left(\frac{|dC| - MT}{VT - MT} \right) \times 7 \right] \\ 8 \text{ or } 9 \\ \text{if } VC < |dC| \geq RC \\ 10, \text{ if } |dC| \geq RC \end{cases} \quad (2)$$

if $dC \geq 0$ then $I_c = 1$

Рекомендации по рейтингам вероятности возникновения и вероятности обнаружения [2; 15].

Шкала значения вероятности возникновения (P_d, P_c):

1. Удаленный
2. Очень низкий
3. Низкий
4. Средне низкий
5. Умеренный
6. Умеренно высокий
7. Высокий

8. Очень высокий
9. Крайне высокий
10. Определенный

$$P_k = \begin{cases} 1, \text{ if } p_k \in [0, 0.1) \\ \lceil 10p_k \rceil, p_k \in [0.1, 0.9) \\ 10, p_k \in [0.9, 1) \end{cases}, \quad (3)$$

P_k – вероятность возникновения риска, отношение частоты отказов к общему количеству работ.

Шкала значения вероятности обнаружения (S_d, S_c):

1. Почти наверняка
2. Очень высокий
3. Высокий
4. Умеренно высокий
5. Умеренный
6. Низкий
7. Очень низкий
8. Удаленный

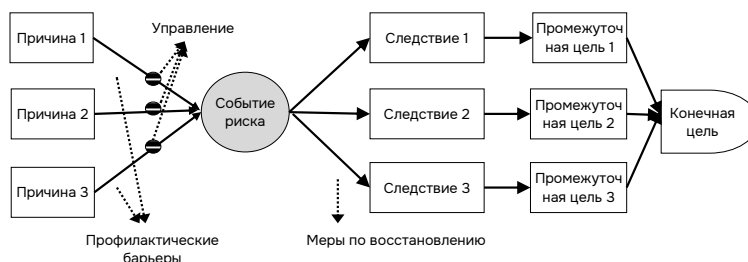


Рис. 3. Пример «бантик»-диаграммы.

9. Очень удаленный
10. Неопределенный

$$S_k = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ if } f_k \in [0, 0.05) \\ [10f_k], f_k \in [0.05, 0.9) \\ 10, f_k \in [0.9, 1) \end{array} \right\}, \quad (4)$$

$f_k = (1 - s_{1k} \times s_{2k})$; s_{1k} – вероятность обнаружения риска, частота предотвращенных рисков к общему количеству произошедших рисков; s_{2k} – вероятность раннего обнаружения риска с помощью средств контроля.

Команда проекта может изменить эти рекомендации, чтобы обеспечить их соответствие конкретному проекту (например, наличие ключевых этапов, которые не могут быть нарушены). Вероятности p_k , c_{k1} , c_{k2} ($k \in (D$ – продолжительность, C – стоимость)) могут быть получены статистическим путем из базы данных прошлых проектов НИОКР. Для новых и/или возникающих рисков (по которым нет данных или они ненадежны) могут быть использованы экспертные методы. Примером таких методов являются: аддитивно-мультипликативная модель или модификации метода Элмера [2].

После ввода значений индивидуальных рейтингов рассчитываются баллы риска и значения ранга приоритетности (RPN) для отдельных рисков, которые отображаются на диаграмме Парето (рис. 4) [15]. Если команда следует вышеуказанным рекомендациям, то RPN для уровня толерантности к риску, склонности к риску и уровня существенности равны 700, 1000 и 100 соответственно [2], однако команда может установить и другие границы. Команда также может устано-

вить различные уровни принятия решений для каждого компонента стоимости или продолжительности. Кроме того, консолидированные RPN для всей стратегии должны быть рассчитаны с использованием коэффициентов корреляции (ρ) на основе экспертных оценок [2].

Диаграмма Парето позволяет понять по уровню RPN, какой риск внес наибольший вклад в общий риск, измеряемый консолидированным значением RPN. Если RPN отдельного риска ниже уровня существенности, то этот риск исключается из дальнейшей оценки и не включается в периметр управления рисками. Для каждого варианта предлагаются следующие правила принятия решений:

1. Если консолидированные значения ранга RPN хотя бы по одному компоненту (продолжительность или стоимость) превышают допустимый риск, то вариант возвращается на доработку. Группа планирования разрабатывает и реализует меры по снижению риска, чтобы вернуть значение консолидированного ранга RPN в границы допустимого риска. Если снижение риска невозможно, то вариант должен быть отклонен. Группа может рассмотреть вопрос о немедленном отклонении варианта без доработки, если хотя бы один консолидированный ранг RPN существенно превышает значение риск-аппетита.
2. В редких случаях, когда как консолидированные, так и индивидуальные RPN для продолжительности и компонентов затрат ниже уровня существенности, такой вариант считается «безрисковым» и может рассматриваться как «оптимальный» без прохождения

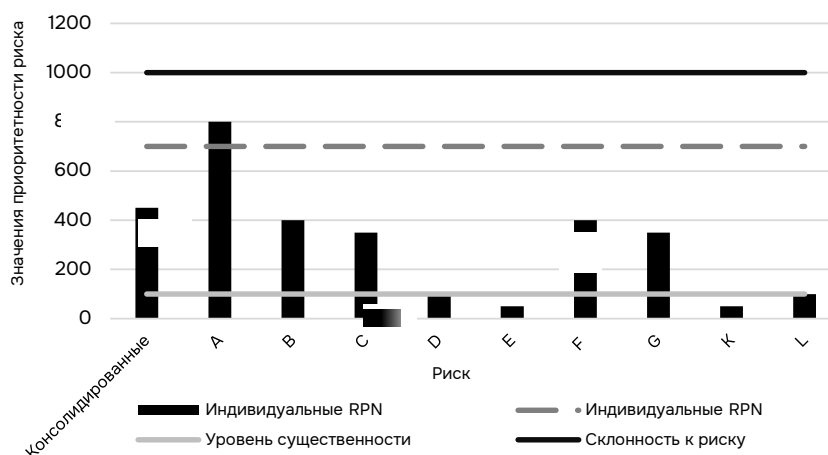


Рис. 4. Пример диаграммы Парето RPN-риска для параметра продолжительности проекта.

этапов 4 и 5. Однако, если значение ранга RPN отдельных рисков превышает уровень существенности, вариант может быть направлен на этапы 4 и 5 для дополнительного анализа.

3. Если оба консолидированных ранга RPN для продолжительности и стоимости варианта выше уровня существенности, но ниже уровня допустимого риска, вариант считается приемлемым и направляется на этап 4 для дальнейшей оценки. Индивидуальные риски с RPN выше уровня допустимости считаются существенными. Однако, если RPN для некоторых отдельных рисков превышает уровень допустимости, команда проекта может рассмотреть возможность отправки варианта на доработку, если какой-либо из этих рисков считается критическим. Вариант должен быть отправлен на доработку, если RPN любого отдельного риска превышает уровень допустимого риска.

Результаты анализа каждого риска, а также консолидированные значения RPN для каждого варианта должны быть занесены в реестр рисков для дальнейшей количественной оценки.

5. Этап 4. Количественная оценка риска и анализ результатов.

Эта оценка проводится для каждого варианта, признанного приемлемым на этапе 3. На пер-

вом этапе PERT-модель варианта корректируется с учетом действий по снижению риска, выполненных на этапе 3. Затем модель PERT экспортируется в MS Excel с установленным механизмом моделирования @Risk. Для каждой работы в PERT моделируется бюджет по видам ресурсов и рассчитывается суммарный бюджет для варианта проекта.

На втором этапе с помощью инструментов, встроенных в @Risk, команда проекта определяет какие переменные продолжительности и стоимости (включая цены или объем потребления ресурсов) подверженные рискам, являются случайными величинами; и какому виду распределения вероятностей следуют эти переменные. Учитывая ограничения PERT [13], единственным доступным вариантом распределения для продолжительности является треугольное распределение с параметрами (a , m , b), где a — наилучшая оценка, m — наиболее вероятная оценка, а b — наихудшая оценка. Однако, для параметров затрат @Risk предоставляет около 90 альтернативных вариантов распределений, включая нормальное, биномиальное, экспоненциальное и т. д. Результаты анализа вероятностей риска, выполненного на этапе 3, применяются при определении параметров этих распределений. После завершения моделирования вероятностных распределений команда запускает моделирование Monte-Carlo с помощью генератора псевдослучайных чисел (количество

повторений варьируется от 1 000 до 10 000 раз). В ходе моделирования берутся значения параметров длительности/стоимости и производятся расчеты в соответствии с моделью, построенной на этапе 2. Результатом является вариант общей продолжительности и стоимости, скорректированный с учетом риска.

Последним шагом является анализ результатов, включая: среднее значение, медиану (квантили), дисперсию и стандартное отклонение; доверительные интервалы продолжительности и затрат. Дополнительный анализ включает понимание того, какие рабочие места и/или компоненты (виды) ресурсов внесли наибольший вклад в отклонение результата (рис. 5). На этом этапе команда определяет: ожидаемое отклонение фактического результата варианта проекта от планового и вероятность того, что вариант будет выполнен в соответствии с бюджетом; наиболее вероятную продолжительность/стоимость варианта. Если ожидаемое отклонение продолжительности/стоимости превышает допустимый уровень (VT и/или VC), команда проекта отправляет вариант на доработку для разработки и реализации действий по снижению риска.

Если отклонение превышает значение риска-аппетита и/или снижение риска/корректировки бюджета невозможны, вариант отклоняется.

Анализ результатов также помогает определить размер финансирования с поправкой на риск, который необходимо привлечь для реализации опциона; какие резервы необходимо сохранить на случай реализации неблагоприятных сценариев; на каких ключевых областях риска следует сосредоточить внимание руководства при реализации опциона; каковы сценарии и какие планы действий в чрезвычайных ситуациях необходимо разработать на случай реализации наихудших сценариев.

6. Этап 5. Выбор оптимального варианта выполнения проекта НИОКР.

Цель этапа – найти оптимальный вариант выполнения проектов НИОКР среди альтернатив (обозначим все множество вариантов как Z). Входны-

ми данными этапа для каждого z^{th} -опциона являются консолидированные RPN для продолжительности (RPN_{dz}) и стоимости (RPN_{cz}) и результат моделирования продолжительности и стоимости. В механизме мы применяем критерий «оптимизма – пессимизма» Гурвича, который предполагает, что менеджер, находя подходящее решение, ищет золотую середину между крайностями, представленными оптимистичным и пессимистичным вариантами [2]. В начале команда проекта должна определить важность продолжительности и стоимости при поиске оптимального варианта (веса α и β). Тогда критерий (S_z) может быть записан в следующей форме:

$$\max \{S_z\}_{z \in [1, Z]} = \max \{\alpha GD_z + \beta GC_z\}_{z \in [1, Z]} \quad (5)$$

$$GD_z = \left\{ \frac{RPN_{dz}}{1000} \times PD_z + \frac{(1 - RPN_{dz})}{1000} \times OD_z \right\} \quad (6)$$

$$GC_z = \left\{ \frac{RPN_{cz}}{1000} \times PC_z + \frac{(1 - RPN_{cz})}{1000} \times OC_z \right\} \quad (7)$$

$$\alpha + \beta = 1; \alpha \in [0, 1], \beta \in [0, 1] \quad (8)$$

GD_z, GC_z – критерии Гурвича для варианта z^{th} по продолжительности и стоимости соответственно; PD_z, PC_z – пессимистические прогнозы продолжительности и стоимости соответственно для варианта z^{th} получены по результатам моделирования; OD_z, OC_z – оптимистичные прогнозы продолжительности и стоимости соответственно для варианта z^{th} получены из результатов моделирования с учетом заданной степени достоверности (например, 10%).

На этом этапе команда проекта рассчитывает значение S_z для каждого варианта и определяет вариант с максимальным значением S_z . Этот вариант команда считает оптимальным. Этот вариант должен быть представлен командой руководителя проекта для обсуждения и окончательного утверждения.

- государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11189> (дата обр. 11.01.2023).
11. Химическая отрасль / Международная платформа статистических данных STATISTA. – URL: <https://www.statista.com/markets/410/chemicals-resources> (дата обр. 11.01.2023).
 12. Химическое производство: тенденции и прогнозы // Аналитический бюллетень. – 2022. – № 45.
 13. Donna T. Project Risk Management Using the Project Risk FMEA // Engineering Management Journal. – 2015. – P. 28–35. – DOI: [10.1080/10429247.2004.11415263](https://doi.org/10.1080/10429247.2004.11415263).
 14. Petrochemicals 2021: Regional fortunes and growing sustainability / Z. Peng [et al.] ; McKinsey's Chemicals Practice – Chemicals Practice. – 2022. – URL: <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/petrochemicals-2021-regional-fortunes-and-growing-sustainability>.
 15. Risks of development and implementation of innovative projects / A. Batkovskiy [et al.] // Mediterranean Journal of Social Sciences. – 2015. – P. 243–253.
 16. Wyrozębski P., Wyrozębska A. Challenges of project planning in the probabilistic approach using PERT, GERT and Monte Carlo // Journal of Management and Marketing. – 2013. – P. 1–8. – ISSN 1339-4896.
 17. Zhe X., Jing Y., Hogobo L. Analyzing integrated cost-schedule risk for complex R&D project // Journal of Applied Mathematics. – 2014. – P. 2–12.