π-Economy. 2026, Том 19, № 5. С. 10–26.
π-Economy. 2026, Vol. 19, No. 5. Pp. 10–26.

Промышленные экономические системы в условиях резильентности
Industrial Economic Systems in Resilient Conditions

Научная статья
УДК 005.8:658.5
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19501
EDN: https://elibrary/BGABMQ

УПРАВЛЕНИЕ ПОРТФЕЛЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ РЕСУРСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ РЕЗИЛЬЕНТНОСТИ

А.В. Родионов[1] ✉, **А.А. Круть**[1], **А.И. Паненко**[2]

[1] Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (РАНХиГС), Москва, Российская Федерация;
[2] Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Российская Федерация

✉ avrpost@bk.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью согласования технологического развития промышленного предприятия с ограниченной доступностью ресурсов и обязательствами по уже утвержденным проектам в условиях резильентности. Индивидуально привлекательные проекты могут образовывать нереализуемый портфель, а увеличение наиболее загруженного ресурса не всегда повышает совокупный результат. Цель исследования состоит в разработке метода управления портфелем технологических проектов, связывающего совместный выбор состава и сроков реализации с обоснованием минимально необходимых изменений ресурсного обеспечения в условиях резильентности. Использованы методы целочисленного программирования, полного перебора, анализа недоминируемых решений и детерминированного вычислительного эксперимента. Информационной базой служат числовые характеристики двух ранее опубликованных тестовых примеров (десять проектов, использующих три типа ресурсов и 16 проектов с распределенными во времени затратами). Первый эксперимент охватывает 17576 комбинаций ресурсных лимитов, второй – 71 вариант годового бюджета на пятилетнем горизонте планирования. Предложена процедура пороговой ресурсной диагностики, в рамках которой для заданного прироста ценности формируется множество минимальных ресурсных пакетов, обеспечивающих достижение цели с учетом запретов на пересмотр принятых решений. Обосновано необходимое и достаточное условие результативности такого пакета в пределах конечной детерминированной модели. Научный вклад заключается в соединении этой диагностики с процедурой управленческого выбора между расширением ресурсов, перераспределением календарных лимитов и изменением состава портфеля. Расчеты показали, что для рассматриваемой сетки лимитов нормированное ранжирование уступает точному решению в среднем на 4,73%. Совместное расширение двух ресурсов обеспечивает прирост ценности на 10 у.е. по сравнению с 5 у.е. при суммировании результатов раздельного расширения. Запрет на исключение ранее утвержденного проекта устраняет этот прирост. В календарном эксперименте потери последовательного отбора и последующего исправления расписания достигают 20,77% относительно совместного оптимума. Практическая значимость состоит в подготовке проверяемого обоснования решений портфельного комитета, а не в автоматической замене управленческого суждения результатом оптимизации. Полученные величины характеризуют тестовые постановки и не являются оценкой эффекта внедрения на российских предприятиях. Дальнейшие исследования предполагают проверку метода на корпоративных данных, включение неопределенности технологических результатов и измерение организационных затрат на пересмотр портфеля.

© Родионов А.В., Круть А.А., Паненко А.И., 2026. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Ключевые слова: управление портфелем проектов, промышленное предприятие, технологические проекты, распределение ресурсов, календарное планирование, управленческие решения, комплементарность ресурсов, ресурсные ограничения

Для цитирования: Родионов А.В., Круть А.А., Паненко А.И. (2026) Управление портфелем технологических проектов промышленного предприятия при ресурсных ограничениях в условиях резильентности. π-Economy, 19 (5), 10–26. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19501

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19501

MANAGING AN INDUSTRIAL ENTERPRISE'S TECHNOLOGY PROJECT PORTFOLIO UNDER RESOURCE CONSTRAINTS IN RESILIENCE CONDITIONS

A.V. Rodionov[1] ✉ , **A.A. Krut**[1] , **A.I. Panenko**[2]

[1] The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA), Moscow, Russian Federation;
[2] Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

✉ avrpost@bk.ru

Abstract. The study addresses the need to coordinate an industrial enterprise's technological development with scarce resources and commitments to previously approved projects in resilience conditions. Individually attractive projects may form an infeasible portfolio, while expanding the most heavily utilized resource does not necessarily improve the overall outcome. The purpose is to develop a portfolio management method linking the joint selection and scheduling of technology projects to the identification of minimally sufficient changes in resource provision in resilience conditions. The research employs integer programming, exhaustive enumeration, nondominated solution analysis, and deterministic computational experiments. Its information base comprises numerical project attributes from two previously published test examples (10 projects requiring three resources and 16 projects with time-phased costs). No project attributes were generated for this study. The first experiment covers 17576 combinations of resource capacities, whereas the second examines 71 annual budget levels over a 5-year planning horizon. A threshold-based resource diagnosis procedure is proposed. For a specified improvement in portfolio value, it constructs a set of minimal resource packages that achieve the target while respecting restrictions on revising approved decisions. A necessary and sufficient condition for package effectiveness is established within the finite deterministic model. The contribution is the integration of this diagnosis into a managerial choice between resource expansion, calendar budget reallocation, and portfolio reconfiguration. Across the tested capacity grid, normalized project ranking falls short of the exact optimum by an average of 4.73%. Jointly increasing two resources raises portfolio value by 10 benchmark units, compared with 5 units obtained by adding the separate expansion effects. A commitment to retain a previously approved project eliminates this improvement. In the scheduling experiment, the loss from sequential selection followed by optimal schedule repair reaches 20.77% relative to the integrated optimum. The practical purpose is to provide auditable evidence for portfolio committee decisions rather than replace managerial judgment with an optimization output. The numerical effects describe the benchmark formulations and do not estimate implementation benefits for Russian industrial enterprises. Further research should test the method against corporate data, incorporate uncertain technological outcomes, and quantify the organizational costs of portfolio revision.

Keywords: project portfolio management, industrial enterprise, technology projects, resource allocation, project scheduling, managerial decision-making, resource complementarity, resource constraints

Citation: Rodionov A.V., Krut A.A., Panenko A.I. (2026) Managing an industrial enterprise's technology project portfolio under resource constraints in resilience conditions. π-Economy, 19 (5), 10–26. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.19501

© Rodionov A.V., Krut A.A., Panenko A.I., 2026. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Введение

Актуальность исследования

Объект исследования – портфель технологических проектов промышленного предприятия, решения по которому определяют обновление оборудования, освоение технологий и развитие инженерных компетенций. Портфель рассматривается как совокупность конкурирующих за общие ресурсы инициатив, а не как простой перечень инвестиционных предложений. Исследования цифровых промышленных экосистем, распределения ресурсов и межпроектных зависимостей в рамках крупных корпоративных структур показывают необходимость согласования организационных и технологических решений в условиях резильентности [1–3]. При этом наличие профицитного консолидированного корпоративного бюджета не гарантирует доступности требуемого ресурса в нужный период.

Исходная управленческая проблема состоит в разрыве между обоснованием ответов на три конкретных вопроса (определяющих принятие тактических и стратегических решений):

– Какие проекты признать привлекательными?

– Какие из этих проектов возможно реализовать параллельно?

– Какие изменения ресурсного обеспечения действительно улучшают результат всего портфеля?

При решении такого рода задач на промышленных предприятиях (в том числе входящих в структуру крупных корпоративных образований) дополнительное финансирование не заменяет автоматически времени, затрачиваемого на испытание нового оборудования, или трудоемкости специалистов нужной (чаще всего специфической) квалификации. Соответственно, объектом управленческого выбора должен стать не отдельный ресурс с высокой загрузкой (объемом использования), а согласованное изменение ресурсных лимитов, состава и календаря портфеля.

Ключевая идея исследования – переход от ранжирования проектов к пороговой ресурсной диагностике. Под ней понимается определение минимальных сочетаний изменений ресурсов, достаточных для заданного прироста ценности при сохранении обязательных решений. В отличие от оценки уровня загрузки оборудования (и/или объема использования ресурса), эта процедура дает формализованную количественную характеристику того, какие именно изменения в структуре портфелями обеспечивают результат и какие ограничения препятствуют таким изменениям в условиях резильентности.

Литературный обзор

Организационное направление исследований связывает портфельный менеджмент с реализацией стратегии, распределением полномочий и регулярным пересмотром решений. Н. Арчер и Ф. Гасемзаде предложили интегрированную схему отбора проектов [4]. Б. Блихфельдт и П. Эскерод показали ограниченность подхода, учитывающего только формально включенные в портфель проекты [5]. Д. Йонас исследовал роль руководителя портфеля и участие высшего менеджмента [6], а М. Мартинсуо обосновала необходимость рассматривать портфельное управление в организационном контексте, включая переговоры и структурную реконфигурацию [7]. Следовательно, оптимальный набор проектов сам по себе не составляет законченного управленческого решения. Необходимо определить, кто вправе изменить ресурсные обязательства и на каком основании.

Отечественные исследователи конкретизируют эти вопросы применительно к технологическому развитию. Д.Ю. Каталевский, Н.В. Космодемьянская и А.Г. Гришин анализируют управление портфелем научно-исследовательских разработок на материалах Сколтеха [8]. А.Г. Ташкинов рассматривает портфель цифровой трансформации промышленного предприятия [9]. С.М. Бекетов и М.В. Дергачёв связывают формирование портфеля с Парето-оптимальным распределением трудовых ресурсов [10]. А. Лёвина и соавторы предлагают агентную архитектуру поддержки решений и перепланирования [11]. И.В. Трифонов и соавторы исследуют зрелость

портфельного управления в горнодобывающих компаниях [12]. Общий для этих работ предмет – согласование развития технологий с организационными возможностями, однако показатели зрелости, распределение труда и архитектура взаимодействия решают разные задачи и не являются взаимозаменяемыми инструментами.

Методы количественного отбора систематизированы в обзорных трудах Д. Данеша и соавторов [13] и В. Мохагеги и соавторов [14]. Их анализ и сопоставление позволяют разграничить процессы оценки привлекательности и оптимизации совместно реализуемого множества, т.к. многокритериальный рейтинг задает предпочтения, но не устраняет ресурсную несовместимость проектов. Г. Виейра и соавторы в своем труде уточнили терминологию межпроектных зависимостей, что существенно снизило понятийно-категориальную неопределенность в рамках исследуемого направления [3]. Это позволяет обоснованно дифференцировать экономические сущности и характеристики прямой технологической зависимости, синергии результатов и конкуренции за ресурсы. Последняя может возникать даже между технологически независимыми проектами. Именно этот случай используется в нашей работе для изоляции эффекта ресурсной комплементарности.

Совместный выбор и календарное планирование уже представлены развитым классом моделей. Обзор С. Хартманна и Д. Брискорна охватывает варианты задач планирования с ограниченными ресурсами [15]. Н. Арратиа-Мартинес и соавторы объединяют отбор, расписание, распределение ресурсов, синергию и делимость проектов [16]. Б. Цю и соавторы рассматривают многоэтапный выбор с учетом жизненного цикла и взаимодействий [17]. Таким образом, сам факт применения целочисленного программирования или одновременного определения состава и сроков не может заявляться в качестве научной новизны настоящей статьи.

Ц. Ван и соавторы моделируют синергию нескольких проектов [18], Ч. Шэнь и С. Ли – ее проявления в динамическом портфеле [19], Ж.-Ф. Цзай и М.-Х. Лин развивают точную линеаризацию моделей взаимозависимого отбора [20]. М. Тавана и соавторы включают в ресурсное распределение межпроектные связи и возможности ускорения работ [2]. Х. Чан и Ы.С. Со связывают оценку портфеля с инженерным анализом внедрения технологий [21]. Эти результаты определяют важную границу нашего исследования. Эффект комбинации проектов должен быть обоснован технологически, и его нельзя приписывать модели только потому, что совместное использование ресурсов улучшило оптимальное значение целевой функции.

Отдельное направление связано с учетом фактора неопределенности. Т. Флиднер и Ю. Лиесиё исследуют регулируемую робастность многокритериального выбора [22]; Г. Мавротас и Э. Макривелиос сочетают многокритериальный анализ, программирование и моделирование Монте-Карло [23]. Ф. Хабиби и соавторы учитывают неопределенность поставок материалов [24], М. Саис и соавторы – неопределенные затраты, сроки, прерывания и корреляции рисков [25]. М. Тянь и С. Ли развивают робастное многопроектное планирование на основе критической цепи [26]. Ж. Хань и соавторы рассматривают задержки распространения рисков [27], Л. Бай и соавторы – ценностно-ориентированное управление взаимодействующими рисками [28]. Детерминированная проверка ресурсной реализуемости необходима, но не заменяет ни одно из этих направлений. И.Н. Дурбах и соавторы исследуют простые эвристики портфельных решений [29], а К.Р. Харрисон и соавторы публикуют воспроизводимые тестовые данные для отбора проектов [30]. Это обосновывает сравнение прозрачных и понятных (с управленческой точки зрения) правил с точным решением на открыто описанных входных данных.

Далее нами не воспроизводятся алгоритмы указанных авторов, а используются собственные явно определенные ранговые компараторы и метод полного перебора с применением программно-аппаратных средств.

Исследовательская задача формулируется на пересечении проанализированных нами направлений и предполагает формулировку обоснованного ответа на вопрос: как преобразовать

результат оптимизации в проверяемое решение о минимально достаточном изменении ресурсов при наличии ограничений на пересмотр портфеля? В проанализированных литературных источниках эта задача не образует единой процедуры, связывающей целевой прирост, вектор ресурсного изменения, альтернативный состав и управленческие обязательства. Предлагаемое приращение знаний ограничивается разработкой и проверкой такой процедуры. Вывод о преимуществе моделей совместного отбора или учета зависимостей нами не формулируется.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – разработать метод управления портфелем технологических проектов промышленного предприятия, обеспечивающий совместный выбор состава и сроков реализации и обоснование минимально необходимых изменений ресурсного обеспечения.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

– формализовать связь ценности, календарной реализуемости и управленческих обязательств;

– разработать пороговую диагностику одиночных и групповых ресурсных изменений;

– проверить метод на опубликованных тестовых данных в сопоставлении с ранжированием и последовательным отбором;

– определить порядок использования результатов и границы применимости метода.

Методы и материалы

Логика исследования и исходные допущения

Исследование сочетает аналитическое обоснование и детерминированный вычислительный эксперимент. Его предметом является качество процедуры принятия решений, а не оценка состояния конкретного предприятия. Используются два опубликованных числовых примера (многоресурсный и календарный). Новые проектные характеристики, экспертные оценки и сведения о предприятиях не создавались. Варьируются только задаваемые исследователем лимиты, чтобы проверить чувствительность решений к ресурсным условиям[1].

Предполагается, что проекты являются унитарными (неделимыми), а их характеристики – известными. Учитывается ограниченное множество допустимых дат начала реализации проектов, а их завершение является обязательным в рамках установленного горизонта планирования. Ценность измеряется единой аддитивной функцией, установленной до оптимизации. Стратегически обязательные проекты задаются ограничениями, а не повышением произвольных весов. Ресурсные типы сохраняют собственные единицы измерения.

Модель совместного выбора состава и календаря

Пусть i – проект, s – допустимый период его запуска, t – календарный период, k – ресурс; S_i – множество допустимых запусков. Переменная x_{is} равна единице при выборе проекта i с началом s. Значение v_{is} отражает ценность такого решения; при денежной постановке это согласованная оценка чистого эффекта с учетом времени. Целевая функция имеет вид:

$$Q(x) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{s \in S_i} v_{is} x_{is} \to \max. \quad (1)$$

Каждый проект выбирается не более одного раза:

$$\sum_{s \in S_i} x_{is} \le 1, \quad x_{is} \in \{0;1\}, \quad i = 1, \ldots, n. \quad (2)$$

[1] При подготовке текста, программного кода и английского перевода использован ChatGPT (OpenAI). Первичные числовые характеристики проектов перенесены из указанных научных публикаций, а не сгенерированы. Расчетные результаты получены исполнением детерминированного кода; проверки допустимости решений и независимые контрольные расчеты включены в воспроизводимый комплект. Использование инструмента не заменяет содержательной проверки и ответственности авторов перед подачей статьи.

Пусть $a_{ik,t-s}$ – потребность в ресурсе k на соответствующей стадии проекта. Вне периода реализации проекта $a_{ik,t-s} = 0$. Календарные ограничения записываются следующим образом:

$$R_{kt}(x) = \sum_i \sum_{s \in S_i} a_{ik,t-s} x_{is} \le C_{kt} \quad \forall k,t. \tag{3}$$

Здесь C_{kt} – доступный лимит. Для расходуемого за весь горизонт планирования ресурса вводится отдельное суммарное ограничение. Для годового бюджетного лимита неиспользованный остаток не переносится автоматически. Перенос представляет самостоятельное управленческое решение. Поступления, отраженные в ценности проекта, также не увеличивают лимиты без явно заданного механизма реинвестирования.

Обозначим через F зафиксированные обязательства (обязательность проекта, утвержденную дату запуска либо запрет изменения части календаря). Множество $X(F)$ включает условия (2) и такие не связанные с объемом ресурсов ограничения, как технологическое предшествование и взаимоисключение. Они задаются только при наличии подтверждающих данных. Оптимальная ценность при ресурсном векторе C определяется функцией:

$$Z(C;F) = \max\{Q(x) : x \in X(F),\ R(x) \le C\}. \tag{4}$$

Статический выбор является частным случаем с одним допустимым запуском и одним периодом. Календарный эксперимент ниже использует пятилетний горизонт и отдельный бюджет каждого года. Межпроектная синергия и технологические зависимости намеренно исключены из обоих множеств данных. Проверяется эффект структуры ресурсных ограничений, а не воспроизводятся более сложные модели первоисточников [18, 17].

Пороговая ресурсная диагностика

Для неотрицательного вектора расширения δ результативность ресурсообеспечения оценивается конечным, а не дифференциальным приростом оптимальной ценности:

$$\Delta(C,\delta;F) = Z(C+\delta;F) - Z(C;F). \tag{5}$$

В дискретном портфеле незначительное приращение ресурса может не открыть ни одной новой комбинации проектов. Поэтому высокая загрузка (объем использования) и положительная результативность расширения – разные характеристики. Для двух изменений δ^a и δ^b их комплементарность в данном состоянии определяется выражением:

$$U_{ab} = \Delta(C,\delta^a+\delta^b;F) - \Delta(C,\delta^a;F) - \Delta(C,\delta^b;F). \tag{6}$$

Положительное значение означает, что совместный эффект превосходит сумму раздельных. Знак не фиксирован теоретически. При других лимитах изменения могут оказаться заменителями. Это не технологическая синергия проектов, а свойство дискретного множества допустимых портфелей. Двойственные оценки линейного ослабления не подменяют такой расчет для неделимых проектов. Чтобы перейти от диагностики к действию, задается требуемый прирост ($m > 0$). Для каждой альтернативы x определяется минимальный вектор дополнительных ресурсов:

$$d_{kt}(x;C) = \max\{0, R_{kt}(x) - C_{kt}\}. \tag{7}$$

Среди альтернатив, обеспечивающих требуемую ценность и соблюдающих обязательства F, сохраняются только покомпонентно недоминируемые векторы:

$$P_m(C;F) = \mathrm{Min}_{\leq}\left\{d(x;C) : x \in X(F),\ \ Q(x) \geq Z(C;F) + m\right\}. \quad (8)$$

Оператор $\mathrm{Min}_{\leq}$ удаляет вектор, если существует другой (альтернативный), не превышающий его ни по одной координате и являющийся строго меньшим хотя бы по одной координате. Полученное множество – перечень минимально достаточных ресурсных пакетов. Различные пакеты не ранжируются по простой сумме разноименных ресурсов. Их последующий выбор требует сведений о доступности, сроках получения и стоимости.

Для конечного множества $X(F)$, допустимого исходного портфеля и $\delta \geq 0$ достижение заданного прироста эквивалентно наличию пакета, не превосходящего доступное расширение:

$$Z(C+\delta;F) \geq Z(C;F) + m \leftrightarrow \exists d \in P_m(C;F) : d \leq \delta. \quad (9)$$

Если левая часть выполнена, то существует соответствующий портфель x, превышение используемых ресурсов в рамках которого не превосходит δ, следовательно, $d(x; C) \leq \delta$. В конечном множестве векторов, удовлетворяющих целевому уровню, найдется минимальный вектор d, не превышающий $d(x; C)$. В свою очередь, каждому включенному в множество минимальному вектору соответствует портфель с требуемой ценностью; при $d \leq \delta$ его ресурсы не превосходят $C + \delta$. Обязательства F в обеих частях одинаковы. Тем самым условие (9) дает проверяемое основание достаточности ресурсного пакета, а не только оценку его желательности.

При стоимостной оценке проекта обеспечение его экономической эффективности (и/или целесообразности) дополнительно требует, чтобы прирост превышал затраты на получение ресурсов и изменение портфеля. При балльной оценке уровня ценности такое стоимостное сравнение непосредственно недопустимо. Для переноса бюджетов между периодами, включающего отрицательные компоненты δ, необходим прямой пересчет (4), так как эквивалентность (9) сформулирована только для ситуации расширения привлекаемых ресурсов.

Данные, компараторы и воспроизводимость

Набор A включает значения эффекта и потребления трех ресурсов десятью проектами (табл. 4 из [18]). Используются только детерминированные столбцы v и r^1–r^3 (табл. 1). Вероятности успеха, стратегические оценки и синергетические коэффициенты первоисточника в целевую функцию не включаются. Единицы измерения ресурсов и эффекта являются условными. Реальные названия проектам не присваиваются.

Таблица 1. Исходные характеристики проектов набора A
Table 1. Input project attributes for test set A

Проект	Эффект, у.е.	Ресурс 1, у.е.	Ресурс 2, у.е.	Ресурс 3, у.е.
1	60	7	8	8
2	30	4	5	3
3	50	6	8	7
4	30	3	4	5
5	45	6	6	5
6	65	9	10	8
7	40	5	6	4
8	35	4	4	5
9	40	4	5	4
10	45	5	4	5

Источник: [18]

Для каждого из трех ресурсов исследуются все целочисленные лимиты от 15 до 40 включительно. Таким образом, всего 26^3 сочетаний (17576 ед.). На каждом сочетании перебираются все 2^{10} (1024 ед.) портфелей. Сравниваются три правила последовательного включения (по убыванию эффекта v_i; по отношению v_i/r_i^1; по отношению v_i к сумме нормированных потребностей r_i^k/C_k. Последний компаратор учитывает все ресурсы, но остается ранговым. При совпадении оценок приоритет отдается проекту с меньшим порядковым номером. Если оставшихся ресурсов недостаточно для размещения проекта, он пропускается. Ни одна из функций сравнения (компараторов) не приводит к нарушению ресурсных ограничений. Относительная погрешность эвристики h при положительном оптимальном значении рассчитывается по формуле:

$$L_h(C) = 100\frac{Z(C;F) - Q_h(C;F)}{Z(C;F)}. \quad (10)$$

Средние и максимальные потери представляют собой дескриптивные характеристики исследуемой сетки параметров, а не статистические оценки для генеральной совокупности предприятий. Для верификации результатов оптимальные значения, полученные методом полного перебора, были сопоставлены с решениями целочисленного солвера на 27 наборах лимитов из декартова куба $\{15; 27; 40\}^3$. Расхождений между методами не обнаружено.

Выборка B сформирована на основе данных таблиц A1–A3 приложения из [17]. Для 16 проектов были сохранены их продолжительность, а также годовые показатели затрат и результатов. В модели рассматриваются все допустимые варианты запуска проектов на пятилетнем горизонте планирования (всего 63 бинарные переменные). Целевая функция определяется как разность между суммой опубликованных годовых результатов и общими затратами; ставка дисконтирования в эксперименте принята равной 0. Полученная величина представляет собой условный расчетный чистый эффект в денежных единицах исходного примера, а не реальную чистую приведенную стоимость проектов.

Годовые бюджетные лимиты последовательно варьируются от 30 до 100 млн USD с шагом 1 млн USD, что образует 71 расчетный сценарий (в отличие от эмпирических наблюдений). Интегрированное совместное решение сопоставляется с двухэтапной процедурой. На первом этапе осуществляется точный отбор проектов при общем лимите, равном сумме пяти годовых бюджетов. На втором – формируется оптимальное календарное расписание для выбранного множества с возможностью исключения неэффективных проектов (но без добавления новых). Если первый этап генерирует несколько равноценных по стоимости портфелей, из них выбирается тот, который обеспечивает наилучшее расписание на втором этапе. Такое правило сравнения (компаратор) исключает ухудшение целевой функции из-за случайного разрешения неопределенности при равенстве оценок или из-за субоптимальности эвристик расписания.

В первоисточнике суммарные годовые затраты проекта 10 составляют 81,0081 млн USD, при этом опубликованный итог округлен до 81 млн USD. Базовый расчет в данной работе опирается на исходные годовые показатели без предварительной корректировки. Для проверки устойчивости результатов выполнен альтернативный расчет с их пропорциональным приведением к строгому значению 81 млн USD. Продолжительность проекта 13 сохранена равной двум годам, несмотря на то что денежные потоки зафиксированы только в первом году, поскольку содержательные основания для изменения номинальной длительности проекта отсутствуют.

Вычисления реализованы на языке Python с использованием библиотек NumPy и scipy.optimize.milp (SciPy версии 1.17.0, линейный целочисленный решатель HiGHS). Для повышения точности и исключения вычислительных погрешностей денежные коэффициенты были масштабированы путем умножения на 10^4 с последующим округлением до целых чисел. В ходе пост-оптимизационного анализа контролировались бинарность переменных, соблюдение календарных

ограничений и корректность пересчета целевой функции. Максимальный относительный разрыв оптимальности, зафиксированный решателем в основных задачах календарного планирования, не превышает 10^{-10}. Воспроизводимый программный комплекс включает исходные файлы формата CSV, полные результаты сеточных экспериментов, исходный код и описание процедур предобработки данных. При решении задач календарного планирования совпадение значений целевой функции является обязательным, тогда как структура оптимального расписания может варьироваться в случае альтернативного оптимума.

Результаты и обсуждение

Потери ранжирования при нескольких ресурсных ограничениях

В наборе A ресурсно-нормированный компаратор дает меньшие средние потери, чем два более простых правила, но совпадает с оптимумом только в 5697 из 17576 сценариев (табл. 2). Следовательно, учет всех ресурсов в индивидуальном балле полезен, однако не эквивалентен выбору лучшей комбинации проектов. Причина состоит в дискретности. Включение высокорангового проекта изменяет остатки ресурсов и может блокировать более ценное сочетание последующих инициатив.

Таблица 2. Качество правил отбора на сетке из 17576 ресурсных сценариев
Table 2. Selection-rule performance across 17576 resource-capacity scenarios

Правило отбора	Средняя потеря, %	Максимальная потеря, %	Совпадение с оптимумом, %
По величине эффекта	16,97	30,56	0
По эффекту на единицу ресурса 1	8,66	25,81	17,88
По эффекту на нормированную потребность	4,73	18,75	32,41
Точный совместный отбор	0	0	100

Источник: расчеты по набору A. Потеря определена относительно точного оптимума по формуле (10)

Полученный результат не свидетельствует о полной неэффективности эвристических методов. Их качество детерминировано структурой конкретных задач, что согласуется с методологией исследования простых портфельных правил. Тем не менее для портфелей небольшой размерности рейтинги целесообразно применять в качестве инструмента интерпретации и обоснования решений, а не как безальтернативный механизм распределения ресурсов. В данном классе задач расчет точного глобального оптимума вполне реализуем, что позволяет непосредственно измерить цену упрощения.

Комплементарность ресурсов и ограничения на пересмотр портфеля

При лимитах $C = (30; 32; 31)$ оптимальная ценность равна 255 у.е.; один из оптимальных портфелей включает проекты 1, 2, 5, 8, 9 и 10 с потреблением (30; 32; 30). Ресурсы 1 и 2 использованы полностью, ресурс 3 имеет остаток. Тем не менее увеличение ресурса 1 на единицу не дает прироста, а расширение ресурса 2 дает только 5 у.е. Совместное увеличение ресурсов 1 и 2 обеспечивает уже 10 у.е. (табл. 3).

Комплементарность двух единичных изменений составляет $10 - 0 - 5 = 5$ (у.е.). Этот эффект получен при аддитивных результатах и независимых проектах, то есть не обусловлен добавлением синергетической премии. Его механизм – переход к другой комбинации. При лимитах (31; 33; 31) выбираются проекты 1, 5, 7, 8, 9 и 10. Проект 7 заменяет проект 2, и для такой замены требуются одновременно ресурсы 1 и 2.

Полный перебор для целевого прироста 10 у.е. дает ровно два недоминируемых пакета: (1; 1; 0) и (0; 3; 2). Любое неотрицательное расширение обеспечивает прирост не менее 10 у.е. тогда

Таблица 3. Результат изменения лимитов при исходной ценности 255 у.е.
Table 3. Effects of capacity changes from a baseline value of 255 units

Приращение ресурсов (δ_1; δ_2; δ_3)	Ценность, у.е.	Прирост, у.е.	Условие пересмотра
(0; 0; 0)	255	0	Свободный состав
(1; 0; 0)	255	0	Свободный состав
(0; 1; 0)	260	5	Свободный состав
(0; 0; 1)	255	0	Свободный состав
(1; 1; 0)	265	10	Свободный состав
(0; 3; 2)	265	10	Свободный состав
(1; 1; 0)	255	0	Проект 2 обязателен

Источник: расчеты по набору А. Исходные лимиты – (30; 32; 31)

и только тогда, когда покомпонентно покрывает хотя бы один из них. Следовательно, можно обсуждать с владельцами ресурсов две конкретные альтернативы, не покупая все ресурсы пропорционально и не ориентируясь исключительно на процент загрузки.

Если проект 2 ранее утвержден и не может быть исключен, ценность при расширении (1; 1; 0) остается равной 255 у.е. Физически доступный пакет перестает быть результативным из-за управленческого обязательства. Поэтому заключение о выгодности увеличения действительно только для того множества разрешенных изменений, для которого выполнен расчет. Информация о зафиксированном составе столь же существенна, как сведения о доступных ресурсах.

Цена разделения отбора и календарного планирования

В календарном вычислительном эксперименте интегрированный (совместный) подход превосходит процедуру двухэтапного последовательного отбора с наилучшим расписанием в 25 из 71 сценария. Среднее относительное отклонение последовательного подхода от совместного оптимума составляет 2,75%, тогда как максимальное достигает 20,77%. Выборочные результаты моделирования, включая сценарий с максимальной потерей эффективности, приведены в табл. 4. В остальных 46 сценариях значения целевой функции полностью совпадают. Следовательно, синергетический эффект интеграции процессов отбора и планирования не гарантирован априори, а проявляется именно в тех условиях, где календарные ограничения меняют структуру множества допустимых портфелей.

При фиксированном годовом лимите в 35 млн USD последовательный подход после процедуры оптимального календарного планирования сохраняет в портфеле проекты 1, 2 и 7 с суммарным эффектом 145 млн USD. В то же время интегрированное совместное решение дополнительно включает проект 3, что позволяет достичь ценности в 183 млн USD. Соответствующее допустимое расписание выглядит следующим образом. Проекты 1 и 3 стартуют в 1-м году, проект 2 – в 3-м году, проект 7 – в 5-м году. Годовые затраты по периодам составляют 34,8264; 28,4488; 31,0598; 31,665 и 26 млн USD, что означает строгое соблюдение лимитов без увеличения общего объема финансирования. Причина неэффективности двухэтапного решения заключается в запрете на добавление проектов, которые отсутствовали в оптимальном наборе агрегированной задачи.

Другой важный результат связан с календарным профилем бюджета. При равномерном векторе лимитов (50, 50, 50, 50, 50) совместная оптимальная ценность составляет 249,9919 млн USD. В рамках дополнительного эксперимента было проанализировано 40 сценариев межвременного перераспределения средств (смещение 5 или 10 млн USD между периодами при неизменном общем бюджете). Наилучший из найденных вариантов (50, 45, 55, 50, 50) обеспечивает

Таблица 4. Сопоставление последовательного и совместного календарного отбора
Table 4. Sequential versus integrated portfolio selection and scheduling

Годовой бюджет, млн USD	Эффект отбора, млн USD	Эффект после исправления, млн USD	Эффект совместного решения, млн USD	Потеря, %
30	189	124	134	7,46
35	199	145	183	20,77
40	228	199	199	0
50	269	237	249,9919	5,2
60	310,9919	281,9919	303,9919	7,24
70	335,9919	335,9919	335,9919	0
80	388,9919	364,9919	364,9919	0
90	411,9919	388,9919	388,9919	0
100	411,9919	411,9919	411,9919	0

Источник: расчеты по набору B. Потеря – относительно совместного решения

ценность в 266 млн USD, что на 6,4% превышает базовое совместное решение. Данный результат является максимумом среди проверенных сценариев перераспределения, но не претендует на глобальный оптимум при произвольном изменении лимитов.

Оптимальный календарный график для этого случая предполагает запуск проектов 6 и 12 с 1-го года, проекта 1 – со 2-го года, проектов 2 и 3 – с 3-го года, проекта 7 – с 5-го года. Годовые издержки при этом составляют 47,848; 39,1584; 54,7886; 47,8402 и 38,3648 млн USD. Этот пример наглядно иллюстрирует разницу между абсолютной недостаточностью совокупного бюджета и неоптимальной конфигурацией его годовых лимитов. Разумеется, реальные условия финансирования, допустимость таких переносов и издержки организационного перепроектирования на конкретном предприятии должны оцениваться обособленно.

Проверка устойчивости результатов к погрешности в исходных данных проекта 10 подтверждает содержательную корректность выводов. Приведение годовых затрат к опубликованному итогу изменяет значения целевой функции лишь в восьми контрольных сценариях, причем отклонение не превышает 0,0081 млн USD. В сценарии максимальной потери эффективности (при годовом лимите 35 млн USD) проект 10 вовсе не входит в сравниваемые портфели, в связи с чем указанное расхождение не оказывает влияния на выявленный эффект.

Использование метода в системе управления предприятием

Предлагаемый метод связывает три уровня принятия решений. На стратегическом уровне портфельный комитет утверждает целевой эффект, горизонт планирования, обязательные технологические направления и пределы допустимого пересмотра параметров. На тактическом уровне проектный офис формирует проверяемый календарно-ресурсный план и альтернативные ресурсные пакеты. На операционном уровне владельцы ресурсов подтверждают фактическую доступность мощностей и сроки ее изменения. Такой порядок согласуется с организационным пониманием портфельного менеджмента [6, 7], но дополняет его расчетным условием достаточности регуляторного вмешательства.

Первым результирующим документом становится паспорт ресурсной реализуемости портфеля, содержащий состав проектов, календарный график, профиль потребления ресурсов по периодам, источники расчетных коэффициентов и перечень обязательств F. Вторым документом является обоснование изменений, включающее целевой прирост, минимальный пакет ресурсов, альтернативный состав портфеля, стоимость привлечения дополнительных ресурсов и

согласованные ограничения. Решение о расширении бюджетов не должно утверждаться исключительно на основании высокой загрузки подразделения. Необходимо продемонстрировать, какой именно достижимый портфель обеспечивает прирост ценности и какие ранее принятые решения потребуют пересмотра.

При возникновении дефицита сначала проверяется возможность календарного перераспределения средств при неизменном общем лимите. Затем анализируются варианты замещения проектов и недоминируемые пакеты расширения. Данный порядок не является универсальной очередностью экономической предпочтительности. Он лишь отделяет организационно доступные (беззатратные) меры от мер, требующих внешних расходов. Окончательный выбор осуществляется по критерию сопоставимого чистого эффекта после учета затрат и рисков. При отсутствии надежной денежной оценки портфельный комитет получает множество эффективных альтернатив, а не искусственно точное ранжирование.

Повторный расчет целесообразен при изменении доступности ключевого ресурса, продолжительности проектов, состава обязательных инициатив или при корректировке подтвержденной оценки результата. Для уже выполняемых проектов фиксируются осуществленные действия и необратимые (обязательные) затраты. Оптимизации подлежит только пересматриваемая часть портфеля. Цена отмены решений и ограничения на реструктуризацию календаря должны эксплицитно входить в прикладную постановку задачи. В противном случае модель будет систематически переоценивать свободу менеджмента и потенциальный синергетический эффект.

В отличие от моделей многопроектной синергии [18, 19], установленный в вычислительном эксперименте эффект возникает без прямой взаимосвязи результатов проектов. В отличие от подходов к распределению труда [10] и агентной координации [11], ключевым результатом здесь выступает не механизм ведения переговоров и не алгоритм назначения исполнителей, а проверяемая функциональная связь между целевым приростом ценности и достаточным изменением ресурсных лимитов. Метод может успешно использовать результаты инженерной оценки в качестве входных данных, не претендуя на их замену.

Ограничения исследования

Вычислительная верификация предложенного подхода опирается на два опубликованных тестовых примера, а не на репрезентативную выборку российских промышленных предприятий. Расширение числа комбинаций лимитов увеличивает плотность расчетной сетки, но не число независимых исходных наборов данных (17576 и 71 – размеры исследовательских сеток). По этой причине полученные средние потери не могут быть экстраполированы на отрасль в целом, а результативность внедрения метода не объявляется доказанной. Сценарии не снабжаются вероятностными оценками, статистическая значимость для генеральной совокупности не рассчитывается.

Проверенные постановки задач исключают неопределенность результатов, прямую синергию и взаимное влияние рисков. В наборе данных B в качестве ресурса выступает исключительно календарное финансирование. Трудовые и технологические ограничения для него искусственно не вводились. Таким образом, два вычислительных эксперимента проверяют разные частные случаи общей схемы, но не заменяют единого комплексного промышленного кейса со всеми типами ограничений. Обоснование условия (9) справедливо для конечной детерминированной модели. В условиях неопределенности требуется отдельное определение допустимого уровня риска или построение робастного множества решений в соответствии с профильной литературой [22, 24, 25].

Метод полного перебора использован для портфеля из десяти проектов в иллюстративных целях и не предлагается как универсальный промышленный алгоритм. При масштабировании портфеля расчет множества минимальных пакетов может стать вычислительно трудоемким. В

таких случаях необходимы ограничение числа рассматриваемых управленческих вмешательств, построение целочисленных моделей для заданного целевого уровня ценности и отсечение доминируемых вариантов. Их масштабируемость и алгоритмическая сложность требуют самостоятельного тестирования. Преимущества по скорости вычислений по сравнению со специализированными алгоритмами в рамках данной статьи не заявляются.

Заключение

Формализована процедура управления портфелем проектов, совместно учитывающая их ценность, календарную ресурсную реализуемость и ограничения на пересмотр ранее принятых решений. Научный результат заключается в их интеграции в единый объект управленческой диагностики. Стандартная модель целочисленного линейного программирования используется как аналитический инструмент и не заявляется в качестве самостоятельной научной новизны.

Разработан метод пороговой ресурсной диагностики, формирующий множество минимальных пакетов ресурсов для заданного прироста ценности портфеля в условиях резильентности. Для конечной детерминированной постановки обоснована эквивалентность достижения цели и наличия пакета приращений, покомпонентно мажорируемого доступным расширением. Продемонстрировано фундаментальное различие между загрузкой ресурса, результатом его изолированного увеличения и комплементарностью нескольких совместных изменений.

На основе опубликованных верификационных данных установлены границы применимости рангового и последовательного подходов. Средняя потеря эффективности нормированного ранжирования на выбранной расчетной сетке составляет 4,73%. Максимальная потеря последовательного отбора с последующим оптимальным исправлением расписания достигает 20,77%. Выявлены эффект ресурсной комплементарности, а также условия его нивелирования при фиксации обязательного проекта. Указанные количественные значения характеризуют исключительно проверенные тестовые постановки.

Предложен регламент использования расчетных процедур портфельным комитетом (утверждение целевого результата и обязательств, проверка календарной реализуемости, выявление достаточных ресурсных пакетов и оценка стоимости разрешенных изменений). Практический результат состоит в формировании проверяемого обоснования вмешательства, связывающего ресурсную заявку с конкретным достижимым портфелем, что исключает автоматическое (некритичное) принятие решений оптимизатором.

Управление ресурсно-ограниченным портфелем требует ответа не только на вопрос о приоритетности проектов, но и на вопрос об условиях реализуемости выбранного структурного перехода. Предложенный подход делает эти условия явными. Его прикладное применение на предприятии предполагает предварительную верификацию проектных оценок, правомерности и организационной выполнимости изменений; только после этого расчетный прирост может интерпретироваться как объективное основание для управленческого решения.

Направления дальнейших исследований

Приоритетным направлением развития темы является апробация метода на ретроспективных и текущих данных реального промышленного предприятия (реестре технологических инициатив, календарях инженерных команд, графиках загрузки испытательных мощностей и фактических затратах на пересмотр решений). Следующими важными задачами являются явное включение в модель неопределенности технологического результата, ограничений по компетенциям (человеческому капиталу) и затрат на переключение, а также сравнительный анализ точного и приближенного построения ресурсных пакетов на более крупных открытых наборах данных [30]. Отдельно следует исследовать, меняет ли применение предложенной диагностики качество стратегических решений портфельного комитета в реальных условиях, а не только значение целевой функции расчетной модели.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ташкинов А.Г. (2026) Концептуальная модель цифровой адаптивной экосистемы промышленного предприятия в условиях индустрии 4.0. *π-Economy*, 19 (1), 36–61. DOI: 10.18721/JE.19102

2. Tavana M., Senisel Bachari M., Solouki A., Larni-Fooeik A., Ghanbari H. (2025) A comprehensive framework for multi-aspectual project portfolio resource allocation and evaluation. *Advanced Engineering Informatics*, 68 (C), 103773. DOI: 10.1016/j.aei.2025.103773

3. Vieira G.B., Oliveira H.S., de Almeida J.A., Belderrain M.C.N. (2024) Project Portfolio Selection considering interdependencies: A review of terminology and approaches. *Project Leadership and Society*, 5, 100115. DOI: 10.1016/j.plas.2023.100115

4. Archer N.P., Ghasemzadeh F. (1999) An integrated framework for project portfolio selection. *International Journal of Project Management*, 17 (4), 207–216. DOI: 10.1016/S0263-7863(98)00032-5

5. Blichfeldt B.S., Eskerod P. (2008) Project portfolio management – There's more to it than what management enacts. *International Journal of Project Management*, 26 (4), 357–365. DOI: 10.1016/j.ijproman.2007.06.004

6. Jonas D. (2010) Empowering project portfolio managers: How management involvement impacts project portfolio management performance. *International Journal of Project Management*, 28 (8), 818–831. DOI: 10.1016/j.ijproman.2010.07.002

7. Martinsuo M. (2013) Project portfolio management in practice and in context. *International Journal of Project Management*, 31 (6), 794–803. DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.10.013

8. Каталевский Д.Ю., Космодемьянская Н.В., Гришин А.Г. (2024) Управление портфелем научно-исследовательских разработок: опыт Сколковского института науки и технологий. *Российский журнал менеджмента*, 22 (4), 635–654. DOI: 10.21638/spbu18.2024.401

9. Ташкинов А.Г. (2025) Управление портфелем проектов цифровой трансформации промышленного предприятия. *Вестник проектного управления*, 1 (1), 10–15. DOI: 10.26425/3034-6916-2025-1-1-10-15

10. Бекетов С.М., Дергачёв М.В. (2025) Алгоритм управления портфелем инновационных проектов на основе Парето-оптимального распределения трудовых ресурсов. *Инновации*, 2 (304), 71–76.

11. Лёвина А., Калязина С., Трифонова Н., Антонов А., Абрамов В. (2025) Агентная модель поддержки принятия решений по управлению портфелем проектов. *Sustainable Development and Engineering Economics*, 1, 4. DOI: 10.48554/SDEE.2025.1.4

12. Трифонов И.В., Баркова Н.Ю., Музюкова Е.В., Шаймиева Э.Ш. (2026) Управление портфелем проектов цифровой трансформации в горнодобывающих компаниях Российской Федерации: модель оценки зрелости и факторы экономической результативности. *Горная промышленность*, 4, 74–82. DOI: 10.30686/1609-9192-2026-4-74-82

13. Danesh D., Ryan M.J., Abbasi A. (2018) Multi-criteria decision-making methods for project portfolio management: A literature review. *International Journal of Management and Decision Making*, 17 (1), 75–94. DOI: 10.1504/IJMDM.2018.088813

14. Mohagheghi V., Mousavi S.M., Antuchevičienė J., Mojtahedi M. (2019) Project portfolio selection problems: A review of models, uncertainty approaches, solution techniques, and case studies. *Technological and Economic Development of Economy*, 25 (6), 1380–1412. DOI: 10.3846/tede.2019.11410

15. Hartmann S., Briskorn D. (2022) An updated survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 297 (1), 1–14. DOI: 10.1016/j.ejor.2021.05.004

16. Arratia-Martinez N.M., Hernandez-Gonzalez N.M., Lopez-Irarragorri F. (2021) Project Portfolio Selection and Scheduling with Resource Allocation, Synergies, and Project Divisibility. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 4163287. DOI: 10.1155/2021/4163287

17. Qiu B., Dou Y., Chen Z. (2024) Optimizing Multi-Stage Project Portfolio Selection Considering Integrating Lifecycle and Interactions. *Systems*, 12 (10), 414. DOI: 10.3390/systems12100414

18. Wang Z., Esangbedo M.O., Bai S. (2023) Project portfolio selection based on multi-project synergy. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 19 (1), 117–138. DOI: 10.3934/jimo.2021177

19. Shen Z., Li X. (2023) An extended model of dynamic project portfolio selection problem considering synergies between projects. *Computers & Industrial Engineering*, 179, 109175. DOI: 10.1016/j.cie.2023.109175

20. Tsai J.-F., Lin M.-H. (2026) An efficient linearization approach for project portfolio selection problems considering project interdependencies. *Computational Optimization and Applications*, 94 (3), 1187–1226. DOI: 10.1007/s10589-026-00785-1

21. Jang H., Suh E.S. (2025) Technology Infusion Analysis-Based Research and Development Project Portfolio Valuation. *Systems Engineering*, 28 (6), 675–690. DOI: 10.1002/sys.21817

22. Fliedner T., Liesiö J. (2016) Adjustable robustness for multi-attribute project portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, 252 (3), 931–946. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.01.058

23. Mavrotas G., Makryvelios E. (2021) Combining multiple criteria analysis, mathematical programming and Monte Carlo simulation to tackle uncertainty in Research and Development project portfolio selection: A case study from Greece. *European Journal of Operational Research*, 291 (2), 794–806. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.09.051

24. Habibi F., Chakrabortty R.K., Servranckx T., Abbasi A., Vanhoucke M. (2025) Project portfolio selection and scheduling problem under material supply uncertainty. *Operations Management Research*, 18 (1), 226–256. DOI: 10.1007/s12063-024-00532-x

25. Saiz M., Calvet L., Juan A.A., Lopez-Lopez D. (2024) A simheuristic for project portfolio optimization combining individual project risk, scheduling effects, interruptions, and project risk correlations. *Computers & Industrial Engineering*, 198, 110694. DOI: 10.1016/j.cie.2024.110694

26. Tian M., Li X. (2025) Robust optimization for multi-project scheduling via the critical chain method. *PLoS One*, 20 (11), e0336350. DOI: 10.1371/journal.pone.0336350

27. Han R., Zhao Z., Ma Q. (2025) Modeling for delay of risk propagation in divisible project portfolio selection based on the project interaction. *Expert Systems with Applications*, 275, 127109. DOI: 10.1016/j.eswa.2025.127109

28. Bai L., Zhang L., Zhang L., Shao K., Luo X. (2025) Unlocking the potential of project portfolio: Value-oriented interactive risk management. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12 (1), 1012. DOI: 10.1057/s41599-025-05296-8

29. Durbach I.N., Algorta S., Kantu D.K., Katsikopoulos K.V., Şimşek Ö. (2020) Fast and frugal heuristics for portfolio decisions with positive project interactions. *Decision Support Systems*, 138, 113399. DOI: 10.1016/j.dss.2020.113399

30. Harrison K.R., Elsayed S.M., Garanovich I.L., Weir T., Boswell S.G., Sarker R.A. (2022) Generating datasets for the project portfolio selection and scheduling problem. *Data in Brief*, 42, 108208. DOI: 10.1016/j.dib.2022.108208

REFERENCES

1. Tashkinov A.G. (2026) Conceptual model of a digital adaptive ecosystem for an industrial enterprise in Industry 4.0. *π-Economy*, 19 (1), 36–61. DOI: 10.18721/JE.19102

2. Tavana M., Senisel Bachari M., Solouki A., Larni-Fooeik A., Ghanbari H. (2025) A comprehensive framework for multi-aspectual project portfolio resource allocation and evaluation. *Advanced Engineering Informatics*, 68 (C), 103773. DOI: 10.1016/j.aei.2025.103773

3. Vieira G.B., Oliveira H.S., de Almeida J.A., Belderrain M.C.N. (2024) Project Portfolio Selection considering interdependencies: A review of terminology and approaches. *Project Leadership and Society*, 5, 100115. DOI: 10.1016/j.plas.2023.100115

4. Archer N.P., Ghasemzadeh F. (1999) An integrated framework for project portfolio selection. *International Journal of Project Management*, 17 (4), 207–216. DOI: 10.1016/S0263-7863(98)00032-5

5. Blichfeldt B.S., Eskerod P. (2008) Project portfolio management – There's more to it than what management enacts. *International Journal of Project Management*, 26 (4), 357–365. DOI: 10.1016/j.ijproman.2007.06.004

6. Jonas D. (2010) Empowering project portfolio managers: How management involvement impacts project portfolio management performance. *International Journal of Project Management*, 28 (8), 818–831. DOI: 10.1016/j.ijproman.2010.07.002

7. Martinsuo M. (2013) Project portfolio management in practice and in context. *International Journal of Project Management*, 31 (6), 794–803. DOI: 10.1016/j.ijproman.2012.10.013

8. Katalevsky D.Y., Kosmodemianskaya N.V., Grishin A.G. (2024) A portfolio approach to the management of R&D projects of a technological university: The case of the Skolkovo Institute of Science and Technology. *Russian Management Journal*, 22 (4), 635–654. DOI: 10.21638/spbu18.2024.401

9. Tashkinov A.G. (20255) Managing the portfolio of digital transformation projects of an industrial enterprise. *Journal of Project Management*, 1 (1), 10–15. DOI: 10.26425/3034-6916-2025-1-1-10-15

10. Beketov S.M., Dergachev M.V. (2025) Algorithm for managing a portfolio of innovative projects based on the Pareto-optimal allocation of labor resources. *Innovations*, 2 (304), 71–76.

11. Levina A., Kalyazina S., Trifonova N., Antonov A., Abramov V. (2025) Agent-Based Decision Support Model for Project Portfolio Management. *Sustainable Development and Engineering Economics*, 1, 4. DOI: 10.48554/SDEE.2025.1.4

12. Trifonov I.V., Barkova N.Yu., Muzyukova E.V., Shaimieva E.Sh. (2026) Managing a portfolio of a digital transformation project in mining companies of the Russian Federation: a maturity assessment model and factors of economic performance. *Russian Mining Industry*, 4, 74–82. DOI: 10.30686/1609-9192-2026-4-74-82

13. Danesh D., Ryan M.J., Abbasi A. (2018) Multi-criteria decision-making methods for project portfolio management: A literature review. *International Journal of Management and Decision Making*, 17 (1), 75–94. DOI: 10.1504/IJMDM.2018.088813

14. Mohagheghi V., Mousavi S.M., Antuchevičienė J., Mojtahedi M. (2019) Project portfolio selection problems: A review of models, uncertainty approaches, solution techniques, and case studies. *Technological and Economic Development of Economy*, 25 (6), 1380–1412. DOI: 10.3846/tede.2019.11410

15. Hartmann S., Briskorn D. (2022) An updated survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 297 (1), 1–14. DOI: 10.1016/j.ejor.2021.05.004

16. Arratia-Martinez N.M., Hernandez-Gonzalez N.M., Lopez-Irarragorri F. (2021) Project Portfolio Selection and Scheduling with Resource Allocation, Synergies, and Project Divisibility. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 4163287. DOI: 10.1155/2021/4163287

17. Qiu B., Dou Y., Chen Z. (2024) Optimizing Multi-Stage Project Portfolio Selection Considering Integrating Lifecycle and Interactions. *Systems*, 12 (10), 414. DOI: 10.3390/systems12100414

18. Wang Z., Esangbedo M.O., Bai S. (2023) Project portfolio selection based on multi-project synergy. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 19 (1), 117–138. DOI: 10.3934/jimo.2021177

19. Shen Z., Li X. (2023) An extended model of dynamic project portfolio selection problem considering synergies between projects. *Computers & Industrial Engineering*, 179, 109175. DOI: 10.1016/j.cie.2023.109175

20. Tsai J.-F., Lin M.-H. (2026) An efficient linearization approach for project portfolio selection problems considering project interdependencies. *Computational Optimization and Applications*, 94 (3), 1187–1226. DOI: 10.1007/s10589-026-00785-1

21. Jang H., Suh E.S. (2025) Technology Infusion Analysis-Based Research and Development Project Portfolio Valuation. *Systems Engineering*, 28 (6), 675–690. DOI: 10.1002/sys.21817

22. Fliedner T., Liesiö J. (2016) Adjustable robustness for multi-attribute project portfolio selection. *European Journal of Operational Research*, 252 (3), 931–946. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.01.058

23. Mavrotas G., Makryvelios E. (2021) Combining multiple criteria analysis, mathematical programming and Monte Carlo simulation to tackle uncertainty in Research and Development project portfolio selection: A case study from Greece. *European Journal of Operational Research*, 291 (2), 794–806. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.09.051

24. Habibi F., Chakrabortty R.K., Servranckx T., Abbasi A., Vanhoucke M. (2025) Project portfolio selection and scheduling problem under material supply uncertainty. *Operations Management Research*, 18 (1), 226–256. DOI: 10.1007/s12063-024-00532-x

25. Saiz M., Calvet L., Juan A.A., Lopez-Lopez D. (2024) A simheuristic for project portfolio optimization combining individual project risk, scheduling effects, interruptions, and project risk correlations. *Computers & Industrial Engineering*, 198, 110694. DOI: 10.1016/j.cie.2024.110694

26. Tian M., Li X. (2025) Robust optimization for multi-project scheduling via the critical chain method. *PLoS One*, 20 (11), e0336350. DOI: 10.1371/journal.pone.0336350

27. Han R., Zhao Z., Ma Q. (2025) Modeling for delay of risk propagation in divisible project portfolio selection based on the project interaction. *Expert Systems with Applications*, 275, 127109. DOI: 10.1016/j.eswa.2025.127109

28. Bai L., Zhang L., Zhang L., Shao K., Luo X. (2025) Unlocking the potential of project portfolio: Value-oriented interactive risk management. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12 (1), 1012. DOI: 10.1057/s41599-025-05296-8

29. Durbach I.N., Algorta S., Kantu D.K., Katsikopoulos K.V., Şimşek Ö. (2020) Fast and frugal heuristics for portfolio decisions with positive project interactions. *Decision Support Systems*, 138, 113399. DOI: 10.1016/j.dss.2020.113399

30. Harrison K.R., Elsayed S.M., Garanovich I.L., Weir T., Boswell S.G., Sarker R.A. (2022) Generating datasets for the project portfolio selection and scheduling problem. *Data in Brief*, 42, 108208. DOI: 10.1016/j.dib.2022.108208

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

РОДИОНОВ Алексей Владимирович
E-mail: avrpost@bk.ru
Alexey V. RODIONOV
E-mail: avrpost@bk.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9311-4896

КРУТЬ Анатолий Александрович
E-mail: a.transport62@mail.ru
Anatoly A. KRUT
E-mail: a.transport62@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-5105-2878

ПАНЕНКО Анна Ивановна
E-mail: panenko.ann@list.ru
Anna I. PANENKO
E-mail: panenko.ann@list.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9691-0794

Поступила: 28.09.2026; Одобрена: 08.10.2026; Принята: 08.10.2026.
Submitted: 28.09.2026; Approved: 08.10.2026; Accepted: 08.10.2026.