

**МОДЕЛИ И СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ
РАЗРАБОТКОЙ И ВНЕДРЕНИЕМ
ИННОВАЦИОННЫХ СРЕДСТВ И ТЕХНОЛОГИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА)¹**

**I. МЕХАНИЗМЫ ОТБОРА ПРИОРИТЕТНЫХ
ПРОЕКТОВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ**

Бурков В. Н.², Еналеев А. К.³,
(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Строгонов В. И.,⁴
(ОАО НИИАС, Москва)

Федянин Д. Н.⁵
(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

В первой из двух частей статьи предложены подходы к организации управления выполнением и внедрением разработок сложных проектов по созданию инновационных средств и технологий, обеспечивающих энергоэффективность железнодорожного транспорта. Рассмотрены методы оценки и клас-

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» в рамках научного проекта №17-20-05216.

² Владимир Николаевич Бурков, доктор технических наук, профессор (vlab17@bk.ru).

³ Анвер Касимович Еналеев, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (anverena@mail.ru).

⁴ Владимир Иванович Строгонов, доктор технических наук (v.strogonov@vniias.ru).

⁵ Денис Николаевич Федянин, младший научный сотрудник (dfedyanin@inbox.ru).

сификации проектов по степени реализуемости и эффективности. Представлены модель и алгоритм планирования ресурсного обеспечения для комплекса проектов.

Ключевые слова: классификация, уровень зрелости разработок, энергоэффективность, распределение фондов, контроль, управление, организация.

1. Введение

Важнейшей задачей крупных производственных объединений, таких как, например, Холдинг РЖД (далее организация), является внедрение в свою хозяйственную деятельность инновационных средств и технологий с целью повышения энергоэффективности. Решение этой задачи требует значительных вложений финансовых, материальных, интеллектуальных и трудовых ресурсов. Вследствие ограниченности этих ресурсов и того, что имеющийся научно-технологический задел и ожидаемая эффективность рассматриваемых средств и технологий находятся на различных уровнях готовности (зрелости), возникают вопросы отбора приоритетных проектов и определения степени участия организации в продолжении разработок этих проектов, а также степени участия в доведении некоторых из них до уровня, при котором возможно опытное производство и последующее внедрение. Для этого предлагается разбить имеющиеся заделы по исследованиям и разработкам на классы, характеризующие уровень их разработки (степень зрелости и оцениваемой перспективности с точки зрения возможности внедрения в серийную эксплуатацию). Разбиение на классы (на 3 слоя проектов) предлагалось осуществлять при анализе взаимосвязи сложных проектов в [4]. В настоящей статье предлагается установить четыре класса разработок, а именно:

- класс проектов, находящихся на уровне фундаментальных НИР;
- класс проектов, находящихся на уровне ОКР;
- класс разработок, по которым созданы опытные образцы средств и технологий;

Программы и системы моделирования объектов, средств и систем управления

- идеи и разработки, перспективность которых еще недостаточно исследована или сомнительна.

Классификация на разряды по уровням разработок в мировой практике определяется стандартами TRL (Technology Readiness Level) [25, 27, 30]. В этих стандартах проекты по уровню разработок делятся на 9 разрядов. Мы видим следующее соответствие этих разрядов по рассматриваемым здесь четырем классам:

- класс идей и разработок, перспективность которых недостаточно исследована, соответствует разрядам TRL1 и TRL2;
- класс проектов, находящихся на уровне фундаментальных НИР, соответствуют TRL3 и TRL4;
- класс проектов, находящихся на уровне ОКР, соответствуют TRL5–TRL7;
- класс разработок, по которым созданы опытные образцы средств и технологий, соответствуют TRL8 и TRL9.

В статье описывается метод разбиения на классы проектов на основе анализа уровня завершенности и перспективности исследований и разработок по совокупности разнородных показателей с использованием и развитием методологии комплексного оценивания, основы которой были заложены еще в работах [2, 3]. Методика отнесения к различным классам в статье проиллюстрирована на примере проектов по разработке и внедрению инновационных энергоэффективных средств и технологий, включая использование альтернативных видов энергии для тяги поездов.

В зависимости от класса, к которому отнесена та или иная разработка, предлагаются различные варианты участия организации в ее поддержке и финансировании. Для решения этой задачи предлагается механизм распределения финансирования комплекса проектов.

Участие в поддержке и финансировании разработок из разных классов требует модернизации системы управления научно-техническим комплексом организации. С этих позиций исследованы возможности совершенствования структуры управления научно-технической сферы.

Обзор исследований по обозначенной тематике содержится в [20–22, 26, 28, 29].

2. Комплексная оценка проектов и их классификация

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Рассматриваемая система комплексного оценивания инновационных проектов включает следующие блоки мероприятий.

Первый блок мероприятий заключается в формировании по возможности полного списка проектов, имеющих отношение к рассматриваемой области средств и технологий.

Второй блок мероприятий заключается в составлении перечня показателей, характеризующих рассматриваемые проекты. Эти показатели определяют разнообразные и, возможно, разнородные особенности проектов, которые считаются важными для проведения оценки. Необходимо, чтобы набор показателей максимально полно отражал цели организации. Обычно рекомендуется в состав показателей включать те, которые характеризуют объем выполненных работ, объем незавершенных работ, планируемые энергетические затраты проектируемого изделия, наличие неисследованных проблем, имеющийся зарубежный уровень исследований, наличие экспериментальных данных по использованию прототипа изделия или его опытного образца, влияние на природу, уровень безопасности, оценку времени на выполнение работ для получения опытных образцов и времени до начала возможного серийного производства, оценку времени окупаемости проекта и др. Состав набора показателей может отличаться для разных рассматриваемых предметных областей использования проектов.

Ниже будет рассмотрен пример предметной области по разработке и внедрению инновационных энергоэффективных средств и технологий, в частности, использование альтернативных видов энергии для тяги поездов. Для этого примера будет представлен возможный перечень таких показателей. Заметим, что показатели должны отражать не только снижение затрат

Программы и системы моделирования объектов, средств и систем управления

энергии, но и другие аспекты, касающиеся эффективности перевозочного процесса и его клиентоориентированности в соответствии с целями организации.

В третьем блоке мероприятий для каждого показателя из выбранного перечня формируются шкалы измерений. Предлагается рациональным измерять их в дискретных шкалах, так как показатели существенно разнородны, например, имеющих вид оценок «Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо», «Отлично», либо, например, по цветам светофора: «Красный», «Желтый», «Зеленый». При отсутствии достаточно точных количественных значений показателей или в случае качественного характера показателей шкалы формируются экспертным путем.

В четвертом блоке мероприятий устанавливается порядок попарной свертки показателей в виде дерева свертки. По возможности рекомендуется при выборе показателей для попарной свертки формировать осмысленные характеристики промежуточных показателей.

Наконец, *в пятом блоке* заполняются значения матриц свертки, соответствующие вершинам построенного дерева.

2.2. ПРИМЕР СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ПРОЕКТОВ

Рассмотрим применение системы комплексного оценивания и классификации проектов на примере использования альтернативных видов энергии для тяги поездов.

В настоящее время в Холдинге РЖД используются локомотивы двух типов: электровозы с тяговыми электродвигателями, получающими энергию из контактной электросети, и тепловозы с дизельными двигателями на дизельном топливе. Замещение углеводородного топлива альтернативными источниками является одним из важнейших направлений повышения энергоэффективности перевозок [10, 17, 24, 31].

Блок 1. Список проектов.

Обзор возможностей использования других видов топлива для тяги локомотивов позволяет выявить следующие варианты:

синтетическое жидкое топливо; природный газ; твердое топливо; водородные топливные элементы; локомотив с ядерной силовой установкой. Сюда же следует отнести перспективные инновационные транспортные технологии: магнитолевитационную и вакуумно-левитационную.

Кратко охарактеризуем имеющиеся научно-технические задачи и проблемы, которые необходимо решить в ходе реализации проектов по применению альтернативных видов топлива.

Синтетическое жидкое топливо. Имеется в виду применение всевозможных видов синтетического жидкого топлива, получаемого из растительного сырья [6, 8, 13, 18, 19]. Проведенные исследования [6, 8, 13] показали возможность применения этих видов топлива в тяговых установках локомотивов. Главным недостатком синтетических топлив является меньшая по сравнению с дизельным топливом теплота сгорания и, как следствие, больший расход топлива. Проблемой является разработка и внедрение технологий синтеза топлива и обеспечение производства сырьем.

Природный газ. Его использование возможно в сжатом и сжиженном состояниях.

Брянским заводом был построен и прошел испытания образец маневрового газотепловоза ТЭМ18Г на сжатом природном газе. Испытания показали, что пробег локомотива сильно ограничивается размерами емкостей для топлива, т.е. сжатый газ может применяться на локомотивах с ограниченным радиусом действия [6]. Эксплуатация тепловозов на сжиженном газе требует обеспечения заправочных станций мощными компрессорными станциями.

Перспективным является использование тяговым подвижным составом сжиженного природного газа.

Во ВНИКТИ были созданы и переданы в опытную эксплуатацию магистральный газотурбовозы ГТ1h-001 (2009) и ГТ1h-002, маневровый газотепловоз ТЭМ19 [7].

Основные проблемы применения сжиженного газа связаны, с эксплуатацией криогенной техники, а также организации производства и снабжения сжиженным газом железнодорожного транспорта в необходимых размерах.

Программы и системы моделирования объектов, средств и систем управления

Твердое топливо. Имеется опыт создания газогенераторных тепловозов и их эксплуатации на железных дорогах СССР и КНР. Газификации угля на транспортных газогенераторах происходит менее эффективно, чем в стационарных условиях, что связано с ограничением локомотивов по габаритам и весу [6].

Эксплуатация газотурбинного локомотива на твердом топливе может быть осуществлена двумя путями: на генераторном газе (аналогично газогенераторным тепловозам) и на основе пылеугольного способа сжигания [6].

Для газогенераторного газотурбовоза требуется газогенератор большей производительности, чем для тепловозов.

Для газотурбовоза с локомотивом на пылеугольном топливе актуальна задача повышения качества и полноты сгорания твердого топлива. Её решение возможно при реализации следующих способов сжигания:

- сжигание угольной пыли в циклонной топке;
- двухступенчатое сжигание угля в топке парового котла – газификация в слое при недостатке воздуха и последующее сжигание газовой смеси;
- сжигание угольной пыли в «кипящем» слое при температуре порядка 850°C по типу стационарных парогенераторов.

Газотурбинная локомотивная установка на пылеугольном топливе требует предварительной подготовки пылевидного угля в стационарных условиях или на самом локомотиве.

Сжигание пылеугольного топлива сопровождается интенсивным износом лопаток турбины.

Основные проблемы использования твердого топлива для локомотивных энергетических установок связаны с необходимостью повышения к.п.д. двигателей, обеспечения надежности и срока службы газогенератора, турбин, уменьшения дополнительных расходов на устройства и операции по хранению, предварительной подготовки угля, его загрузке.

Локомотив на топливных элементах. Прототип поезда на водородных топливных элементах был разработан в Японии. Поезд может развивать скорость 120 км/ч, дальность пробега на одной заправке – 300–400 км. В США был разработан опытный образец локомотива на водородных топливных элементах мощ-

ностью 2 тыс. л. с. «Водородный» поезд в Дании курсирует по маршруту 59 км, что ограничено ёмкостью водородных баков [8, 13].

Во ВНИИЖТ [12] был выполнен ряд проектов создания подвижного состава, работающего на водороде (дрезины, рельсового автобуса, автомотрисы, энерговагона и локомотива). В настоящее время разрабатывается вагон-электростанция для путевой техники, работающей в тоннелях.

Двигатели на водородных топливных элементах обладают большим количеством преимуществ. Однако для их применения на локомотивах необходимо решить ряд сложных задач:

- разработки технологии хранения водорода;
- разработки стандартов безопасности, хранения, транспортировки, применения и т.д.
- создания «водородной» инфраструктуры.

Локомотив с ядерной энергетической установкой (ЯЭУ). Конструктивная схема локомотива с ядерной силовой установкой (атомовоза) с реактором на быстрых нейтронах типа БОР-60В была разработана в 1983-1985 гг. Всероссийским научно-исследовательским тепловозным институтом (ВНИТИ), Коломенским заводом при участии ряда других организаций [1]. Были проработаны варианты компоновки энергетической установки, которая может быть использована в качестве локомотива (газотурбовоза) или передвижной электростанции. Дальнейшие работы были прекращены.

Для создания и использования локомотивов с ЯЭУ требуется решение большого числа проблем, в первую очередь связанных с безопасностью их эксплуатации, обслуживания и ремонта, громоздкостью и весовыми характеристиками, переменным режимом работы локомотива и многими другими вопросами по обеспечению герметичности, надежности и прочности трубопроводов и соединений, природоохранными мероприятиями, созданием инфраструктуры обслуживания.

Перспективные транспортные технологии. Проведенные к настоящему времени исследования показывают перспективность использования магнитолевитационной и вакуумно-

Программы и системы моделирования объектов, средств и систем управления

левитационной транспортных технологий, однако их создание требует решения целого ряда фундаментальных задач.

Для транспортной технологии, основанной на использовании линейного электродвигателя и магнитного подвеса (магнитолевитационной технологии) [10], необходимы:

- создание материалов для высокотемпературной сверхпроводимости;

- создание электромагнитов, двигателей, высоковольтных выключателей, накопителей электроэнергии индуктивного типа с элементами высокотемпературной сверхпроводимости;

- разработка конструкционных композиционных материалов с применением нанотехнологий и технологий по изготовлению изделий из них;

- разработка автономных источников энергии большой мощности и энергоемкости для бортовых источников питания, включая водородные топливные элементы и малые ядерные установки;

- разработка высоковольтных полупроводниковых преобразователей и других электронных компонентов большой мощности и др.

Для вакуумно-левитационного транспорта [10, 23, 32] необходимы:

- исследование аэродинамических характеристик вакуумно-левитационного транспорта в разреженной среде;

- определение параметров и конструкционных решений обеспечения вакуумной среды с учетом оптимизации затрат;

- изучение динамики движения (устойчивость транспортных средств, нагрузки, перегрузки при маневрах и др.);

- изучение пассивных и активных методов стабилизация и управления подвижным составом в процессе движения;

- исследование и расчет механических напряжений, возникающих на поверхности движущейся капсулы и трубы;

- определение параметров и конструкционных решений обеспечения вакуумной среды;

- определение предельных температур конструкции и обслуживания вакуумно-левитационного транспорта, а также спо-

способности системы терморегуляции вакуумно-левитационного транспорта обеспечить тепловой режим в заданном диапазоне;

– исследование вопросов теплообмена при движении транспортного средства в вакуумной среде и др.

Большие затраты потребуются для создания транспортной инфраструктуры. Также необходима разработка комплексной системы обеспечения безопасности на основе непрерывной диагностики и защиты пассажиров и грузов от влияния негативных факторов (магнитное излучение, перегрузки при разгоне и торможении, перепад давлений и температур и т.д.).

Блоки 2 и 3. Показатели и шкалы их измерений.

Выбор состава показателей для классификации проектов осуществляется на основе анализа стратегических целей организации и оценки степени влияния ожидаемой энергоэффективности рассматриваемых проектов на эти показатели. Для наглядности и интерпретируемости системы классификации, по возможности, желательно использовать ограниченное число показателей. Ниже приведен пример, в котором установлено 8 показателей.

Таблица 1. Перечень показателей и шкалы их измерений

№	Наименование показателя	Шкала измерения показателя
1.	Ожидаемое снижение удельных энергозатрат на единицу перевезенного груза и единицу расстояния	1, 2, 3, 4
2.	Стадия выполнения работ	1, 2, 3
3.	Безопасность средства или технологии	1, 2, 3
4.	Ожидаемый срок окупаемости	1, 2, 3
5.	Капитальные вложения	1, 2, 3, 4
6.	Риск невыполнения	1, 2, 3
7.	Срок внедрения	1, 2, 3
8.	Дисконтированное снижение энергозатрат на период жизненного цикла технологии	1, 2, 3, 4

Первый показатель определяет ожидаемую удельную эффективность проекта по энергосбережению. Шкала по этому

Программы и системы моделирования объектов, средств и систем управления

показателю имеет 4 значения: 1 – неудовлетворительная эффективность, при которой проект исключается от рассмотрения; 2 – возможно включение проекта при условии хороших значений других показателей; 3 – удовлетворительное значение показателя; 4 – хорошее значение показателя.

Второй показатель характеризует, на какой стадии исследований или производства находится проект. Предлагается установить три значения для этого показателя: 1 – проект находится на стадии НИР и концептуальных разработок; 2 – проект преимущественно находится на стадии опытно-конструкторских разработок; 3 – по проекту созданы опытные образцы.

Третий показатель определяет степень безопасности разрабатываемой технологии. Значение 1 означает, что вопросы безопасности не решены; значение 2 означает в целом удовлетворительный уровень безопасности и влияния на окружающую среду, но имеются отклонения, которые могут быть устранены без существенных затрат; значение 3 означает, что средство или технология по рассматриваемому проекту удовлетворяет требованиям безопасности и природоохранным мероприятиям.

Четвертый показатель характеризует срок окупаемости после предполагаемого начала промышленной эксплуатации средства или технологии. Значение 1 означает окупаемость более 15 лет; значение 2 – окупаемость не более 10 лет; значение 3 означает окупаемость менее 5 лет.

Пятый показатель характеризует степень затрат на создание промышленного образца и необходимой инфраструктуры для эксплуатации средства или технологии. Значение 1 означает объем затрат существенно превышающий возможности организации и заинтересованных структур по финансированию проекта; 2 – проект требует значительных вложений организации и заинтересованных структур вложений; 3 – проект может быть выполнен за счет крупных, но допустимых вложений в его финансирование; 4 – проект не требует крупных вложений для реализации.

Шестой показатель характеризует риски невыполнения проекта из-за внешних и внутренних неблагоприятных условий и недостаточного обоснования надежности проекта: 1 – риск

невыполнения очень высокий; 2 – риск невыполнения умеренный; 3 – риск невыполнения проекта незначительный.

Седьмой показатель определяет предполагаемый срок начала внедрения технологии: 1 – неприемлемо большой срок; 2 – условно приемлемый срок; 3 – приемлемый срок.

Восьмой показатель определяет характеристики энергоэффективности изделия или технологии в течение их жизненного цикла с учетом дисконтирования доходов. Значение 1 соответствует низкому снижению затрат; 2 – удовлетворительному снижению затрат, сопоставимому с вложениями в реализацию проекта; 3 – хорошая энергоэффективность; 4 – снижение энергозатрат значительно превышает затраты на реализацию и внедрение результатов проекта.

Как показывает приведенное описание показателей, оценки по ним должны осуществляться с привлечением экспертов.

Каждый из приведенных показателей может, в свою очередь, рассчитываться на основе свертки соответствующего набора индикаторов, детализирующих данный показатель.

Заметим, что приведенные оценки показателей носят не количественный, а качественный характер и осуществляются до разработки финансовой модели проекта. Финансовая модель проекта разрабатывается после принятия решения о рассмотрении проекта для участия в разработке.

Таблица 2. Пример выбора значений показателей для проектов

№	Наименование проекта	Значения показателей							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Синтетическое жидкое топливо	2	3	3	2	3	3	3	2
2.	Природный газ в сжатом состоянии	3	3	3	2	3	3	3	3
3.	Природный газ в сжиженном состоянии	4	3	3	3	4	3	3	4
4.	Твердое топливо	3	3	3	3	3	3	3	4
5.	Топливные элементы	4	2	3	3	3	3	3	3
6.	Ядерная установка	3	1	1	2	1	1	1	2
7.	Магнитолевитационная технология	3	3	3	2	3	3	2	3
8.	Вакуумнолевитационная технология	4	2	2	3	3	2	2	4

Блок 4. Структура дерева свертки показателей.

Структура дерева свертки устанавливается экспертами, в том числе пользователями системы комплексного оценивания проектов (рис. 1). Для получения промежуточного показателя целесообразно сворачивать близкие по содержанию показатели, например, свертка 5-го и 8-го показателей (см. таблицу 1) характеризует прибыльность оцениваемого проекта.



Рис. 1. Дерево свертки показателей

Блок 5. Описание матриц свертки.

Ниже приведен пример построения матриц свертки, рис. 2. Номер строки определяется первым показателем, поступающим на вход соответствующего блока свертки, а номер строки – значением второго показателя. Значения элементов матриц свертки устанавливается экспертным путем на этапе настройки системы комплексного оценивания для заданной предметной области, в данном случае для оценки перспективности проектов по созданию средств и технологий по использованию новых видов энергии для тяги поездов.

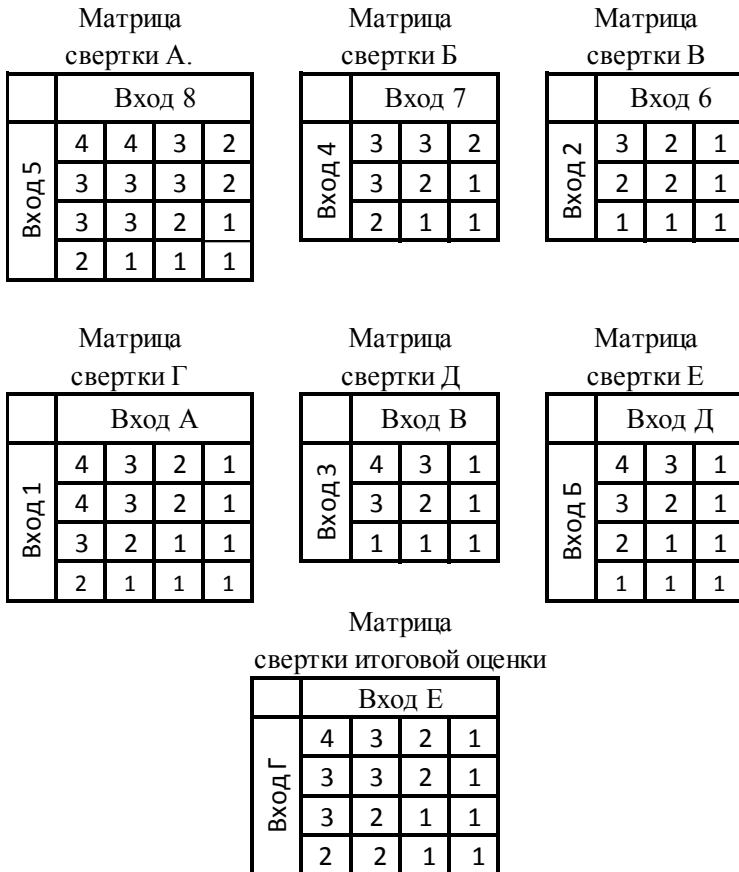


Рис. 2. Матрицы свертки показателей

2.3. ФОРМЫ УЧАСТИЯ ОРГАНИЗАЦИИ В ПРОЕКТАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ КЛАССИФИКАЦИИ

В приведенной ниже таблице представлены результаты расчетов значений оценок для рассматриваемых проектов. Итоговая оценка позволяет разбить проекты на классы, описывающие перспективность проектов, и служить основой для принятия решений по форме участия организации в разработке проектов.

*Программы и системы моделирования объектов,
средств и систем управления*

Таблица 3. Пример расчета значений промежуточных и итоговой оценок для проектов

№	Наименование проекта	Значения промежуточных и итоговой оценок						
		А	Б	В	Г	Д	Е	Итоговая оценка
1.	Синтетическое жидкое топливо	3	1	3	2	4	1	1
2.	Природный газ в сжатом состоянии	3	3	3	2	4	3	2
3.	Природный газ в сжиженном состоянии	4	3	3	4	4	4	4
4.	Твердое топливо	3	3	3	3	4	4	3
5.	Топливные элементы	3	3	2	3	3	3	3
6.	Ядерная установка	2	1	1	2	1	1	1
7.	Магнитолевитационная технология	3	2	3	3	4	3	3
8.	Вакуумно-левитационная технология	3	2	3	3	4	3	3

Так, например, относительно проектов с номерами 1 и 6 может быть принято решение о неучастии организации в их разработке. По проекту с номером 2 может рассматриваться участие в предоставлении грантов на исследование в случае появления новых прорывных идей. По проектам с номерами 4, 5, 7, 8 возможно предоставление субсидий на проведение работ по отдельным составляющим проектов в рамках финансирования с участием других заинтересованных организаций. По проекту с номером 3 возможно активное участие организации в финансировании.

Заметим, что приведенная процедура предварительного отбора проектов может служить исключительно как система поддержки принятия решений с использованием и обработкой мнений экспертов. Окончательное решение о степени участия организации в инвестировании рассматриваемых проектов должно рассматриваться на основе дальнейшего построения финансовой модели и бизнес-плана наиболее перспективных проектов, а также с использованием методик, представленных

в стандартах и распорядительных документах организации, в том числе [14–16].

Отметим, что для выделения наиболее перспективных проектов из некоторого класса можно применить проиллюстрированную выше процедуру классификации для упорядочения проектов по приоритетности внутри этого класса. Для этого по аналогии с методикой, представленной на примере выше, формируется новый перечень исходных показателей, структура и матрицы свертки.

3. Механизмы распределения финансовых ресурсов для сложных проектов

Приведенная выше процедура предварительной оценки проектов позволяет выделить группу приоритетных проектов. Самый высокий приоритет имеют проекты, попавшие в группу с итоговой оценкой 4, далее с оценкой 3 и т.д.

Рассмотрим задачу формирования инвестиционной программы на основе предварительной оценки проектов. Как было отмечено выше, проекты могут находиться на разных стадиях исследования или производства (стадия НИР и потенциальных разработок, стадии опытно-конструкторских работ, стадии серийного производства и т.д.). Очевидно, что нам необходим определенный инновационный потенциал на каждой стадии. Определим объемы финансирования роста потенциала разработок на каждой стадии экспертным путем. Для этого можно применить механизм согласия [5, 11].

Суть механизма в том, что создаются две экспертные комиссии. Первая комиссия дает оценку s_1 относительного финансирования проектов стадии 1 по сравнению с финансированием проектов стадии 3. Вторая комиссия также дает оценку s_2 относительного финансирования проектов стадии 2 по сравнению с проектами стадии 3. На основе этих оценок определяется финансирование различных стадий:

$$x_1 = Rs_1 / (1 + s_1 + s_2),$$

$$x_2 = Rs_2 / (1 + s_1 + s_2),$$

$$x_3 = R / (1 + s_1 + s_2),$$

где R – величина инвестиционного фонда. В теории активных систем при условии достаточной заинтересованности доказано [5], что каждой экспертной группе выгодно предоставлять достоверную оценку, определяющую ее согласованное мнение. Для обеспечения условия достаточной заинтересованности необходимо в каждую экспертную группу включить экспертов, заинтересованных как в росте потенциала серийных образцов, так и в росте потенциала разработок соответствующей стадии.

После определения объемов финансирования каждой стадии решается задача формирования инновационной программы. Задача решается независимо для проектов каждой стадии. Сначала для каждой стадии рассматриваются проекты, имеющие интегральную оценку 4.

Если ресурсов, выделенных для соответствующей стадии, хватает для всех проектов, имеющих оценку 4, то рассматриваются проекты, имеющие оценку 3, и т.д. в соответствии с формами участия проектов, описанных выше.

Рассмотрим алгоритмы решения задач формирования инвестиционной программы для каждой отдельной стадии.

Предположим, что фиксирован набор $N = \{1, 2, \dots, n\}$ мероприятий (проектов) и для каждого из них известны затраты x_i и доход y_i от реализации. Эффективность реализации проекта определяется как отношение дохода к затратам. Предложим механизм нахождения портфеля проектов (подмножества множества N), реализация которых даст максимальный суммарный доход при условии, что суммарные затраты на реализацию проектов портфеля не превысят имеющихся средств R .

В случае неделимых и независимых проектов (как возможность независимой реализации проектов, так и независимость эффективности проектов от итогового списка выбранных проектов) реализация механизма включает в себя решение NP-трудной задачи упаковки рюкзака. Для решения практических задач в этом случае используются эвристические алгоритмы.

Одним из таких алгоритмов является «жадный алгоритм». Вычисление оптимального решения задачи формирования инвестиционной программы при жадном алгоритме заключается в следующем (метод «затраты–эффект» [9]): упорядочить проекты по убыванию эффективности и включить в портфель проекты последовательно, начиная с первого (имеющего максимальную эффективность) до тех пор, пока не закончится весь ресурс. Результатом отбора будет выполнение полностью какого-то количества проектов и, возможно, неполное выполнение ровно одного проекта. Для непрерывной задачи это даст оптимальное решение, а для случая неделимых проектов мы ищем в списке еще неотобранных проектов, отсортированных по эффективности, тот проект, для которого достаточно оставшегося бюджета, выбираем его, уменьшаем соответственно величину оставшегося бюджета и повторяем шаг до тех пор, пока не останется проектов, для которых было бы достаточно оставшегося к тому моменту бюджета.

Описанная выше процедура существенно использует условие независимости реализации проектов и независимость эффективности проектов, однако на практике это может не выполняться: выполнение проекта может быть возможно только при условии предварительного выполнения других проектов и/или же при совместном выполнении проектов эффективность проектов изменится за счет синергии.

Рассмотрим комплексный проект, включающий совокупность проектов, связанных между собой так, что результат выполнения некоторых проектов может зависеть от результатов выполнения других проектов.

Пусть фиксирован набор $I = \{1, 2, \dots, n\}$ мероприятий (проектов) и размер имеющегося фонда ресурсов R . Для каждого проекта $i \in I$ определены

- значение результата u_i ,
- величина затрат x_i на реализацию проекта (получение результата),

Задача заключается в выборе множества проектов M так, чтобы эффект от их выполнения был максимальным при заданном количестве ресурсов на их выполнение R при условии, что

между проектами существуют связи и их можно представить в виде одного или нескольких деревьев таким образом, чтобы для каждого проекта можно было легко выделить зависимые от него проекты, т.е. проекты, которые без него нельзя выполнить.

Идея эвристического алгоритма, решающего задачу, заключается в последовательном решении задач с монотонно уменьшающимся количеством проектов. Для каждой задачи выбирается наиболее эффективный проект или группа проектов и выделяются на них средства, если этот проект или группа проектов оказываются полностью выполнены, то они исключаются из рассмотрения, и затем решается та же задача, но уже для меньшего количества ресурсов и проектов.

Входные данные алгоритма:

- множество проектов N ;
- размер имеющегося фонда ресурсов R ;
- связи между проектами в множестве I .

Выходные данные алгоритма:

- множество отобранных проектов m .

Алгоритм.

1. Обозначаем:
 - а. Номер текущей решаемой задачи t .
 - б. Множество доступных для выбора проектов N^t в задаче t .
 - в. Доступный ресурс R^t в задаче t .
 - г. Множество ранее отобранных проектов J^t в задаче t .
 - д. Процедуру $J(k, M)$, которая для каждой пары «проект k , множество проектов M » выдает множество проектов, для которых выполняются два условия: 1) от них зависит проект k , 2) они принадлежат множеству M .
2. Выполняем инициализацию:
 - а. Первая решаемая задача имеет номер 1 ($t = 1$).
 - б. Множество доступных проектов в первой решаемой задаче совпадает с множеством всех проектов ($N^1 = N$).
 - в. Доступный ресурс в первой решаемой задаче совпадает с размером имеющегося фонда ($R^1 = R$).
 - г. Ранее отобранных проектов в первой решаемой задаче нет (J^1 – пустое множество).

3. Если доступных проектов нет (N^t пустое), то переходим на последний шаг алгоритма (шаг 12) для завершения работы алгоритма.

4. Для каждого проекта j , принадлежащего множеству N^t , вычислим значение его эффективности

$$k_j^t = \frac{\sum_{i \in J_{j, N^t}} y_i}{\sum_{i \in J_{j, N^t}} x_i}.$$

5. Выбираем любой из проектов с максимальной эффективностью, пусть его номер d .

6. Проверяем достаточно ли оставшегося ресурса для полного выполнения всех проектов, от которых зависит проект d . Если оставшегося ресурса достаточно, то проверяем достаточно ли будет его, чтобы дополнительно полностью выполнить проект d . Если нет – выделяем столько, сколько необходимо на выполнение всех проектов, от которых зависит проект d , а на сам проект d выделяем то, что останется.

а. Добавляем в множество ранее отобранных проектов J^1 проект d и те проекты, от которых он зависит и которые еще не были отобраны, и переходим на последний шаг алгоритма (шаг 12) для завершения работы алгоритма.

7. Проверяем достаточно ли оставшегося ресурса для полной реализации проекта d . Если недостаточно и, более того, этого ресурса также недостаточно для полного выполнения всех проектов, от которых зависит проект d тогда,

а. Множество доступных для выбора проектов N^{t+1} в задаче $t + 1$ получаем удалением проекта d из множества доступных для выбора проектов N^t в текущей задаче t .

б. Доступный в задаче $t + 1$ ресурс R^{t+1} оставляем тем же, что и доступный в задаче $t + 1$ ресурс R^t .

в. Множество ранее отобранных проектов J^{t+1} в задаче $t + 1$ оставляем тем же, что и множество ранее отобранных проектов J^t в задаче t .

г. Увеличиваем значение номера текущей задачи на 1 ($t := t + 1$)

*Программы и системы моделирования объектов,
средств и систем управления*

- д. Переходим к шагу 3 для начала решения следующей задачи.
8. Проверяем достаточно ли оставшегося ресурса для полной реализации проекта d . Если для реализации проекта d требуется выполнение еще нереализованных проектов, то необходимо учесть расходы и на их реализацию. Если ресурса достаточно, то формируем входные данные для выполнения следующей задачи. Присваиваем ей номер $t+1$. Множество отобранных проектов J^{t+1} в этой задаче будет состоять из: множества отобранных проектов J^t в задаче t , проекта d , множества всех проектов, от которых проект d зависит. Формируем входные данные для следующей задачи:
- а. Доступный ресурс R^{t+1} в задаче $t + 1$ определяется следующим образом. Из ресурса R^t , доступного в задаче t , вычитается требуемое количество ресурса для реализации проекта d . Если для реализации проекта d требовалось выполнение еще нереализованных проектов, то расходы на эти проекты также вычитаются.
 - б. Множество доступных для выбора проектов N^{t+1} в задаче $t + 1$ получаем из множества доступных для выбора проектов N^t в текущей задаче t , но не включаем элемент с номером d и все проекты, от которых он зависит.
9. Увеличиваем значение номера текущей задачи на 1 ($t := t + 1$).
10. Переходим к шагу 3 для начала решения следующей задачи.
11. Завершаем алгоритм. Списком отобранных проектов является множество J^t ($m = J^t$), при этом некоторые отобранные проекты могут оказаться обеспеченными ресурсом не полностью.

Описанный алгоритм отбора приоритетных проектов и распределения между ними финансирования является развитием метода «затраты–эффект» [9] на случай комплекса связанных между собой проектов.

Так же, как и метод «затраты–эффект» [9], который по сути является аналогом «жадного» алгоритма для приближенного решения задачи о рюкзаке, описанный выше алгоритм для распределения финансовых средств при заданной древовидной структуре связей между проектами, применяемый для совокуп-

ности независимых проектов, дает приближенное решение. Определение условий его оптимальности и оценка отклонений эффективности решений описанного эвристического алгоритма от эффективности оптимального решения требует дальнейших исследований.

Применение описанных выше механизмов выстраивается в следующую цепочку действий:

- формируется множество потенциальных для рассмотрения проектов, которые затем разбиваются на 4 класса;

- между классами проектов осуществляется распределение финансирования на основе механизмов согласия;

- проекты из каждого класса разбиваются на систему подпроектов, имеющих самостоятельную ценность, строится дерево взаимосвязей подпроектов, характеризующих порядок их выполнения (определяются цепочки последовательного выполнения подпроектов и оценка возможностей их параллельного выполнения);

- для каждого из подпроектов внутри каждого класса осуществляется оценка их эффекта, оценка эффекта совокупностей связанных подпроектов и требуемых финансовых ресурсов в соответствии с построенным деревом связей;

- на основе предложенного алгоритма распределения имеющегося бюджета на выполнение проектов в каждом классе определяется инвестиционная программа.

4. Заключение

В статье рассмотрен пример оценивания, классификации, отбора приоритетных проектов на примере задач разработки средств и технологий использования альтернативных видов энергии для тяги поездов. На данном примере проиллюстрирована методика подготовки предварительного отбора и упорядочения проектов по их приоритетности.

Перечень исходных показателей для отбора проектов для реализации сформирован на основе учета основных направлений целевой структуры управления инновационным и научным комплексом организации. Набор этих показателей вместе с

Программы и системы моделирования объектов, средств и систем управления

предложенной процедурой комплексного оценивания может быть принят в качестве системы ключевых показателей эффективности научного комплекса организации.

Предложенная структура оценивания проектов и их классификации может служить одним из инструментов проведения экспертизы и научно-технологического сопровождения (мониторинга) комплексных научно-технических проектов и долгосрочных стратегических научных и инновационных программ.

Описанный механизм распределения ресурсов может быть использован при формировании инвестиционных программ инновационного и научного комплекса организации.

Во второй части статьи будут рассмотрены модели стимулирования реализации энергоэффективных проектов в составе мультипроектной структуры, а также представлены возможности по формированию отдельных элементов структуры управления научно-техническим комплексом организации.

Литература

1. *Атомовоз. Поезд на атомной тяге в СССР и России // МИР АЭС.* – URL: miraes.ru/atomovoz-poezd-na-atomnoy-tyage-sssr-rossia.
2. БУРКОВ В.Н., ГРАЦИАНСКИЙ Е.В., ЕНАЛЕЕВ А.К., УМРИХИНА Е.В. *Организационные механизмы управления научно-техническими программами.* – М.: Изд-во ИПУ РАН, 1993. – 64 с.
3. БУРКОВ В.Н., КОНДРАТЬЕВ В.В., ЦЫГАНОВ В.В., ЧЕРКАШИН А.М. *Теория активных систем.* – М.: Наука, 1984. – 272 с.
4. БУРКОВ В.Н., КОРОБЕЦ Б.Н., МИНАЕВ В.А., ЩЕПКИН А.В. *Модели, методы и механизмы управления научно-техническими программами.* – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 205 с.
5. БУРКОВ В.Н., НОВИКОВ Д.А. *Как управлять организациями.* – М.: Синтег, 2004. – 400 с.

6. ВОЛОДИН А.И., ЗЮБАНОВ В.З., КУЗЬМИЧ В.Д. и др. *Локомотивные энергетические установки*. – Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Под ред. А.И. Володина– М.: ИПК «Желдориздат», 2002. – 718 с.
7. ГАПАНОВИЧ В.А., КИРЖНЕР Д.Л., КОССОВ В.С., БОБКОВ Ю.В., ПРОХОР Д.И., ЧЕРНЫШЕВ М.А., ГРАЧЕВ Н.В., НИКОНОВ В.А. *Создание современных локомотивов на сжиженном газе* // Локомотив. – 2017. – №8. – С. 2–9.
8. ГРИГОРОВИЧ Д.Н. *Использование альтернативных видов топлива и энергоустановок на железнодорожном транспорте* // Промышленный транспорт XXI век. – 2012. – №3. – С. 21–24.
9. ДРАНКО О.И. *Метод «Затраты-эффективность» как инструмент выбора приоритетных проектов предприятий* // Управленческий учет. – 2011. – №4 – С. 15–20.
10. ЛАПИДУС Б.М., МИШАРИН А.С., МАХУТОВ Н.А., ФОМИН В.М., ЗАЙЦЕВ А.А., МАЧЕРЕТ Д.А. *О научной платформе стратегии развития железнодорожного транспорта в России до 2050 года* // Бюллетень Объединенного учёного совета ОАО «РЖД». – 2017. – №2. – С. 1–20.
11. *Механизмы управления* / Под ред. Д.А. Новикова. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 192 с.
12. НАЗАРОВ О.Н. *Использование новых источников энергии в тяговом обеспечении* // Труды научно-практической конференции «Инновационные проекты, новые технологии и изобретения. инновации-2005», Щербинка, 27-28 октября 2005 г. – С. 42–44.
13. САЛАЩЕНКО О. *Альтернативные источники энергии для локомотивов* // Локомотив-информ. –2013. – № 4. – С. 20–23.

*Программы и системы моделирования объектов,
средств и систем управления*

14. *СТО РЖД 08.005-2011. Стандарт ОАО «РЖД». Инновационная деятельность в ОАО «РЖД». Порядок оценки эффективности инновационных проектов* (утвержден и введен в действие распоряжением ОАО «РЖД» от 26.06.2012 №1267р).
15. *СТО РЖД 08.007-2011. Стандарт ОАО «РЖД». Инновационная деятельность в ОАО «РЖД». Управление реализацией научно-технических работ* (утвержден и введен в действие распоряжением ОАО «РЖД» от 26.06.2012 №1267р).
16. *СТО РЖД 08.015-2011. Стандарт ОАО «РЖД». Инновационная деятельность в ОАО «РЖД». Порядок рассмотрения инновационных проектов* (утвержден и введен в действие распоряжением ОАО «РЖД» от 26.06.2012 №1267р).
17. BARRETT S. (ed.) *European Expert Group reports on future transport fuels* // Fuel Cells Bulletin. – February 2011. – Vol. 2011, Iss. 2. – P. 12–16.
18. BAUTISTAC S., NARVAEZ P., CAMARGO M., CHERY O., MOREL L. *Biodiesel-TBL+: A new hierarchical sustainability assessment framework of PC&I for biodiesel production – Part I* // Ecological Indicators. – 2016. – Vol. 60. – P. 84–107.
19. BAUTISTAC S., ENJOLRAS M., NARVAEZ P., CAMARGO M., MOREL L. *Biodiesel-triple bottom line (TBL): A new hierarchical sustainability assessment framework of principles criteria & indicators (PC&I) for biodiesel production. Part II-validation* // Ecological Indicators. – 2016. – Vol. 69. – P. 803–817.
20. BILGIN G., EKEN G., OZYURT B., DIKMEN I., BIRGONUL M.T., OZORHON B. *Handling project dependencies in portfolio management* // Procedia Computer Science. – 2017. – Vol. 121. – P. 356–363.
21. BOYLE G. *Design project management*. – London: Routledge, 2018. – 208 p.
22. CLEDEN D. *Managing project uncertainty*. – London: Routledge, 2017. – 146 p.

23. DUDNIKOV E.E. *Advantages of a new Hyperloop transport technology* // 10th Int. Conference Management of Large-Scale System Development – 2017 (MLSD–2017), 2-4 October, Moscow, Russia. – 2017. – P. 1–4
24. FENG J., CHU W.Q., ZHANG Z., ZHU Z.Q. *Power electronic trans-former-based railway traction systems: Challenges and opportunities.* // IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. – 2017. – Vol. 5(3). – P. 1237–1253.
25. ENGEL D.W., DALTON A.C., ANDERSON K., SIVARAMA-KRISHNAN C., LANSING C. *Development of Technology Readiness Level (TRL) Metrics and Risk Measures* // Pacific Northwest National Laboratory. – 2012. – 17 p.
26. HARRISON F., LOCK D. *Advanced Project Management* // London: Routledge, 2004. – 336 p.
27. HICKS B., LARSSON A., CULLEY S., LARSSON T. *A methodology for evaluating technology readiness during product development.* – Stanford University, California, USA: Design Society, 2009. – P. 157–168.
28. KERZNER H. *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. 11th Edition.* – Wiley, 2017. – 1296 p.
29. KERZNER H. *Project management best practices: Achieving global excellence.* – John Wiley & Sons, 2018. – 544 p.
30. MANKINS J.C. *Technology readiness assessments: A retrospective* // Acta Astronautica. – 2009. – Vol. 65. – P. 1216–1223.
31. SOBIN N., MOLENAAR K., CAHILL E. *Mapping goal alignment of deployment programs for alternative fuel technologies: An analysis of wide-scope grant programs in the United States* // Energy Policy. – 2012. – Vol. 51. – P. 405–416.
32. YAOPING ZHANG Y., OSTER D., KUMADA M., YU J., LI S. *Key vacuum technology issues to be solved in evacuated tube transportation* // Journal of Modern Transportation. – June 2011. – Vol. 19, Iss. 2. – P. 110–113.

**MODELS AND MANAGEMENT STRUCTURE OF
INNOVATIVE TECHNOLOGIES DEVELOPMENT AND
IMPLEMENTATION. PART I: MECHANISMS OF
PRIORITY PROJECTS SELECTION AND RESOURCE
DISTRIBUTION**

Vladimir Burkov, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Doctor of Science, chief researcher (vlab17@bk.ru).

Anver Enaleev, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, PhD, senior researcher (anverena@mail.ru).

Vladimir Strogonov, NIIS, Moscow, Doctor of Science (v.strogonov@vniias.ru).

Denis Fedyanin, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, junior researcher (dfedyanin@inbox.ru).

Abstract: The article consists of two parts. In the first part, we propose approaches for implementation of complex projects development to create innovative tools and technologies that ensure the energy efficiency at rail transport. We consider methods for evaluating and classifying projects according to their degree of feasibility and efficiency. We present the model and algorithm of resource planning for a set of projects.

Keywords: classification, level of development maturity, energy efficiency, allocation of funds, control, management, organization.

*Статья представлена к публикации членом
редакционной коллегии Я.И. Квинто.*

*Поступила в редакцию 18.04.2018.
Опубликована 31.07.2018.*