

МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОРТФЕЛЯМИ, ПРОГРАММАМИ И ПРОЕКТАМИ

Разработка оптимизационной модели для управления программой повышения энергоэффективности

Developing An Optimization Model For Managing Energy Efficiency Programs

DOI: 10.12737/20514

Получено: 16 декабря 2015 г. / Одобрено: 25 января 2016 г. / Опубликовано: 17 июня 2016 г.

Фролкина Е.С.

Аспирант кафедры управления проектами,
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20,
e-mail: ekaterina.frolkina@gmail.com

Царьков И.Н.

Канд. экон. наук, доцент,
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
Россия, 105187, г. Москва, ул. Кирпичная, 33,
e-mail: itsarkov@hse.ru

Frolkina E.S.

Postgraduate Student, Projects Management Department,
National Research University Higher School of Economics,
20, Myasnitskaya St., Moscow, 101000, Russia,
e-mail: ekaterina.frolkina@gmail.com

Tsarkov I.N.

Ph.D. in Economics, Associate Professor,
National Research University Higher School of Economics,
33, Kirpichnaya St., Moscow, 105187, Russia,
e-mail: itsarkov@hse.ru

Аннотация

Сбережение энергетических ресурсов во всех секторах экономики — одна из важнейших стратегических задач XXI в. Программы по повышению энергоэффективности, как правило, осуществляются параллельно основной деятельности компании и тем самым создают дополнительную нагрузку на имеющийся бюджет. Экономическая эффективность от реализации такой программы не всегда бывает очевидна, поэтому решение о ее запуске может тормозиться, а фактическое исполнение может не принести ожидаемого результата. С целью обеспечения экономической эффективности предлагается использовать инструмент математических моделей для оптимизации программы повышения энергоэффективности. В настоящей работе представлены результаты анализа и консолидации существующих исследований по различным подходам к математическому моделированию программы, авторами выделены четыре ключевые цели моделирования. Предложен авторский подход к моделированию, направленный на оптимизацию программы повышения энергоэффективности по одному или нескольким критериям в рамках существующих ограничений для стратегического развития компании.

Ключевые слова: управление программой, оптимизационная модель, среднесрочное планирование, повышение энергоэффективности, фактор неопределенности, реинвестирование.

Abstract

Energy saving in all economic sectors is one of the most important strategic objectives of the 21st century. Energy efficiency programs are usually implemented in parallel with core activities of the company and thereby create an additional burden on limited budget. Cost-effectiveness of such a program is not always obvious so the decision to start can be delayed, and actual result may not be the expected one. In order to ensure economic efficiency the authors offer to use the tool of mathematical modeling to optimize energy efficiency program. The paper also presents the results of existing research analysis on the different approaches towards mathematical modeling of programs, the authors identify four main goals of the simulation. The authors' approach is aimed at optimizing energy efficiency program for one or more criteria within certain restrictions.

Keywords: program management, optimization model, short-term planning, energy efficiency, uncertainty, reinvestment.

Введение

Одной из стратегически важных задач сегодня является сбережение энергетических ресурсов. Энергоэффективная экономика напрямую влияет на развитие страны, повышение ее конкурентоспособности, благосостояния и уровня жизни граждан. Среди основных государственных задач стратегии России до 2030 г. — модернизация и создание новой энергетической инфраструктуры, повышение энергетической и экологической эффективности. В связи с этим неоспорима необходимость осуществления программ по повышению энергоэффективности в компаниях страны.

До принятия Федерального закона № 261-ФЗ решение проблемы энергосбережения в промышленности зависело от двух факторов — особенностей отрасли (энергоёмкость продукции) и собственности компании. Согласно исследованию компании *Asea Brown Boveri Ltd. (ABB)* в 2012 г., среди основных факторов, способствующих принятию решения по инвестициям в энергоэффективные проекты, 59% — результаты финансового анализа (анализ «затраты-выгоды», анализ безубыточности), 58% — возрастающая цена энергии, 27% — требования национального законодательства, 26% — желание улучшить имидж компании. Данная проблема особенно

актуальна для энергоемких отраслей промышленности, таких как металлургия, нефтепереработка, нефтехимия и пр.

Барьеры на пути повышения энергоэффективности имеют самую различную природу — финансовые, социальные, культурные, поведенческие, институциональные, барьеры, связанные со структурой и организацией экономики и рынка, и др. По мнению одного из экспертов в данной области, директора Центра по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ), почти все эти барьеры могут быть устранены с помощью целевых мер политики по повышению энергоэффективности внутри компании. Как правило, такая политика является обязательным элементом для крупных, национальных компаний, но в компаниях среднего и малого бизнеса она отсутствует. Тем не менее политика по повышению энергоэффективности необходима, поскольку без нее решения по запуску тех или иных проектов (программ) принимаются хаотично и несистемно. В вопросах финансирования предпочтение часто отдается наименее затратным и наиболее быстро окупающимся проектам, а по стратегически важным проектам финансирование осуществляется по остаточному принципу. Как результат, компания теряет возможности устойчивого, долгосрочного роста и развития своего бизнеса в пользу краткосрочной эффективности.

Для повышения энергоэффективности компании необходимо решать вопросы управленческого характера.

1. Формирование и управление программой энергосберегающих проектов.

Менеджменту компании необходимо эффективно планировать программу: это касается и разработки блок-плана программы, и последующего отбора проектов в соответствии с ним, и оценки бенефитов. Но недостаточно просто сформировать «правильную» программу, нужно также управлять ею и достигать определенных целей, будь то финансовых либо нефинансовых. Однако даже экономическая эффективность от реализации программы бывает не всегда очевидна, вследствие чего принятие решения о запуске программы может тормозиться.

2. Формирование и развитие новых механизмов финансирования проектов.

Управление текущими финансовыми потоками, реинвестирование средств и поиск новых источников их привлечения — вот основные задачи, которые

приходится решать. Программы повышения энергоэффективности — это не основная деятельность компании и дополнительная нагрузка на имеющийся ограниченный бюджет.

3. Совершенствование системы мониторинга и контроля.

Здесь подразумевается проведение энергетических обследований оборудования и объектов, установление автоматических приборов контроля и учета энергопотребления, выявление потерь и неэффективного использования энергии.

Есть потребность в отборе «правильных» проектов, определении оптимальной последовательности запуска проектов, структурировании взаимозависимостей между ними, распределении имеющихся ограниченных ресурсов для получения максимальной ценности.

Стоит отметить, что сегодня в помощь компаниям активно развивается направление энергосервисных контрактов, с помощью которых предлагается повышать энергоэффективность и оптимизировать использование энергетических ресурсов. При этом специалистами энергосервисных компаний осуществляется весь комплекс услуг — от разработки энергосберегающего проекта до его фактического внедрения. Однако необходимо отметить, что проблему повышения энергоэффективности неправильно было бы рассматривать просто как набор отвлеченных мероприятий, которые можно реализовать через энергосервисные контракты. Повышение энергоэффективности должно восприниматься менеджментом и всеми остальными сотрудниками компании как единая философия, позволяющая повышать эффективность бизнеса как такового.

Авторами был разработан собственный подход к моделированию, направленный на оптимизацию программы повышения энергоэффективности по одному или нескольким критериям в рамках существующих ограничений; отличительные особенности данного подхода заключаются в простоте расчета, возможности использования реинвестирования средств, учете неопределенности денежных потоков и сроков выполнения программы и гибкости относительно включения проектов в программу (обязательное включение отдельно взятых проектов).

Грамотный подход менеджмента компании в вопросе энергосбережения, поэтапная реализация программы повышения энергоэффективности,

а также привлечение компетентных и, что самое важное, заинтересованных в подобной программе специалистов — вот ключевые моменты для стратегического долгосрочного развития компании в области энергосбережения.

Цели и подходы к моделированию программы

Моделирование в управлении программой позволяет не только совершенствовать текущее управление, но и достигать синергии за счет выполнения ряда целей. Авторами были выделены четыре основные цели моделирования программы.

1. Повышение эффективности реализации программы.

Здесь эффективность рассматривается только в финансово-экономическом измерении. Для повышения эффективности можно как максимизировать доходную часть, так и минимизировать расходную (стоимость), при этом в модели просто необходимо задать соответствующую целевую функцию.

2. Достижение организационной гибкости.

Под организационной гибкостью подразумевается способность адаптировать и (или) изменять расписание программы, влиять на ее продолжительность, сокращать отставание проектов и программы при необходимости.

3. Выполнение целей компании.

Имеются в виду нефинансовые цели, например, повышение качества выполненных проектов в программе, получение долгосрочных стратегических выгод, снижение рисков и пр.

4. Управление текущей эффективностью компании.

Управление текущей эффективностью затрагивает проблему распределения ограниченных ресурсов в компании. Чем лучше распределены ресурсы между проектами, программами, портфелями, тем эффективнее работает компания.

Первые две цели моделирования (эффективность реализации программы и ее организационная гибкость) находятся на уровне управления программой. В то время как две другие поднимаются на уровень всей компании. С помощью этих четырех целей осуществляется комплексное управление.

Для повышения эффективности реализации программы могут быть использованы различные виды математических моделей: детерминированные, вероятностные, стохастические, альтернативные. Вероятностные модели представлены в работе [3],

рассматривающей вероятностные и статистические модели для систем сетевого планирования и управления.

Однако в данной работе круг рассматриваемых моделей ограничен только детерминированными моделями, в которых все факторы однозначно определены и значения которых известны на момент принятия решений. Детерминированные модели начали развиваться с 1970-х гг. и вплоть до настоящего времени остаются одними из популярных объектов исследования. Это подтверждается наличием большого количества публикаций на данную тему, часть которых будет рассмотрена в рамках данной статьи. Данный вид моделей является наиболее простым для расчета и понимания, так как здесь не учитывается фактор неопределенности и нет случайных величин, а для достижения вышеупомянутых целей не требуется построения модели сложной многофакторной системы. Стоит отметить, что фактор простоты является немаловажным как раз для руководителей проектов и программ и их команд. Более того, применение вероятностных, альтернативных или стохастических математических моделей для моделирования программы может существенно усложнить задачу. А как уже было отмечено [17], данные модели все равно могут не оказаться в достаточной мере адекватными сложным реалиям моделируемого процесса.

Авторами были изучены исследования различных подходов к моделированию программы за период с 1969 г. по настоящее время. Всего было выявлено 8 различных целевых функций (минимизация стоимости, максимизация *NPV*, минимизация продолжительности, эффективное планирование расписания, минимизация отставания, оптимизация качественных факторов, приоритезация и распределение ресурсов, минимизация перерасхода ресурсов), которые удовлетворяют четырем основным целям моделирования программы.

Наиболее популярным направлением для исследования является повышение эффективности программы (целевые функции: максимизация *NPV*, минимизация стоимости, минимизация продолжительности). За рассмотренный период порядка 15 работ было посвящено данной проблематике [24; 27; 29; 30–32; 38; 41; 43; 44; 47; 48; Mohanty, Siddiq, 1989; Lam, Hu, Cheung, Yuen, Deng, 2001; Wang W., Wang X., Ge, Deng, 2014]. Остальные направления являются менее популярными. Так, например, работ,

Таблица 1

Типология ограничений в существующих моделях управления программой

Тип ограничения	Ограничения в существующих моделях
Временные	Время начала и окончания для работ (проектов) детерминированы/детерминировано
	Длительность работ (проектов; программы)
	Одновременное выполнение определенных работ
	Срок окончания проектов (программы)
Логические	Все работы по проекту должны быть завершены
	Каждая работа (проект) может начаться (быть окончен (а)) только один раз
	Отношения предшествования между работами / (проектами)
Ресурсные	Разбиение работ на подработы (подзадачи)
	Бюджет проектов (программы)
	Взаимозаменяемость ресурсов на выполнение работ
	Объем инвестиций в каждый год
	Объем перерасхода ресурсов
Объем ресурсов и их доступность	
Фиксированная комбинация ресурсов на выполнение работы	

посвященных достижению организационной гибкости (целевые функции — эффективное планирование расписания, минимизация отставания), всего 7 [23; 25; 33; 38; 40; 44; Mohanty, Siddiq, 1989]. Выполнению целей компании (целевая функция — оптимизация качественных факторов) посвящено 2 работы [Lam, Hu, Cheung, Yuen, Deng, 2001; Wang W., Wang X., Ge, Deng, 2014]. Управлению текущей эффективностью компании (целевые функции — приоритезация и распределение ресурсов, минимизация перерасхода ресурсов) посвящено также 2 работы [22; Mohanty, Siddiq, 1989].

В работе была проведена консолидация и систематизация имеющихся подходов к моделированию программы. Согласно выбранным автором критериям — цели, ограничения, допущения и тип ресурсов — были проанализированы выделенные в предыдущем разделе подходы.

Проследим, какие целевые функции рассматривают авторы при создании моделей. Подавляющее большинство авторов (80% рассмотренных работ) описывают в своих работах модель, направленную на решение одной цели, например, максимизации *NPV* программы. Только 2 работы из 18 описывают многоцелевую модель — Прицкера и соавторов, Сперанца и Верселлиса [38; 41]. В работе Прицкера, Воттерса и Вольфа поставлены две целевые функции — минимизация продолжительности и минимизация отставания. Сперанца и Верселлис пишут о максимизации *NPV* и минимизации продолжительности программы.

Также были проанализированы ограничения в моделях, чаще всего ставятся ограничения на ресурсы и объем их доступности, а также вводятся отношения предшествования между работами или проектами. При анализе типов ресурсов было выявлено, что в моделях в равной степени ставят ограничения как на возобновляемые, так и на невозобновляемые ресурсы.

При изучении различных ограничений в моделях были выделены три основных типа ограничений, встречающихся в моделях — временные (время начала и окончания, длительности и др.), логические (отношения предшествования, каждая работа (проект) может начаться или окончиться только один раз и др.) и ресурсные (бюджет проектов (программы), объем трудовых, материальных ресурсов и их доступность, объем перерасхода ресурсов и др.).

В рамках работы была предложена классификация существующих подходов к моделированию программы. Первый критерий — четыре цели моделирования (повышение эффективности реализации программы, достижение организационной гибкости, выполнение целей компании и управление текущей эффективностью компании), второй критерий — выделенные ранее три типа ограничений (временные, логические, ресурсные). Цели моделирования, в свою очередь, можно разделить на два уровня: уровень программы и уровень компании. Согласно проведенному исследованию наиболее изученным сегодня является уровень программы, в то время как уровню компании ученые уделяли меньше внимания.

Разработка подхода к моделированию программы

Целевые показатели

Несмотря на то что продолжительность программы ЭСМ можно выбрать достаточно большую, заданные ограничения могут привести к тому, что часть существующих проектов ЭСМ реализовать не удастся даже за длительный срок. Поэтому целесообразно для каждого проекта дать менеджеру про-

граммы возможность решить, должен ли проект быть включен в программу при любых обстоятельствах или его выполнение можно отложить на неопределенный срок.

Как было отмечено ранее, очень мало работ сегодня посвящено достижению двух и более целей моделирования программы. Поэтому модель, предлагаемая авторами в рамках данной работы, является многоцелевой. При этом первая цель ориентирована на уровень программы (повышение эффективности реализации программы), а вторая цель, соответственно, на уровень компании (выполнение целей компании). Стоит сказать, что работы Прицкера и соавторов, Сперансы и Верселлиса описывали многоцелевые модели, направленные исключительно на уровень программы.

Повышение эффективности реализации программы: финансово-экономические показатели

Основными показателями эффективности отдельных проектов, которые обычно используются для их оценки, являются *NPV* (чистая приведенная стоимость), *PI* (рентабельность инвестиций), *IRR* (внутренняя норма доходности), *PB* (период окупаемости) и *DPB* (дисконтированный период окупаемости). Эти показатели можно распространить и на программу, если рассматривать программу с точки зрения денежных потоков (так как все перечисленные показатели рассчитываются на основе денежных потоков), в которых инвестиционным потоком являются все инвестиционные потоки ее проектов, а операционный — операционных.

Показатель *NPV* удобно использовать для формирования расписания программы как последовательности выполнения ее проектов. Действительно, задержка выполнения одного проекта программы приведет к снижению *NPV* программы, поэтому максимизация *NPV* будет означать выполнение проектов в наиболее ранние сроки с учетом существующих ограничений.

Использование показателя рентабельности инвестиций (*PI*) может приводить к неоптимальным решениям (меньшему значению совокупного *NPV*) из-за неделимости инвестиционных проектов, которая приводит к неполному освоению выделенного бюджета. В связи с этим использование *PI* в качестве целевого показателя нецелесообразно, так как максимизация *PI* представляется частным случаем максимизации *NPV*. Кроме того, использова-

ние рентабельности не позволит модели быть линейной.

Внутренняя норма доходности (*IRR*) программы не является линейной комбинацией *IRR* проектов, поэтому использование *IRR* программы означает невозможность оставаться в рамках линейной модели. Все это означает, что использование *IRR* в оптимизационной модели в качестве целевого показателя нецелесообразно.

Условия, при которых минимизация показателя периода окупаемости (*PB*) имеет смысл, это жесткое ограничение на продолжительность всей программы, наличие значительного количества проектов, которые должны войти в программу при любых обстоятельствах. Порядок проектов за пределами периода окупаемости не важен. Перечисленное выше говорит о том, что оптимизация по периоду окупаемости не будет востребованной функцией, поэтому включать ее в список целевых параметров модели нецелесообразно. Однако стоит предусмотреть возможность использования этого параметра в качестве ограничения. Последнее позволило бы добиться в том числе и минимизации периода окупаемости путем нескольких оптимизаций с разными значениями этого показателя.

В итоге среди финансово-экономических параметров программы в качестве целевых параметров стоит использовать только *NPV*, а в качестве ограничений — период окупаемости программы.

Выполнение целей компании: экологические и технологические показатели

В качестве экологических показателей могут выступать, прежде всего, выбросы разнообразных веществ. Целесообразно рассчитывать величину выбросов, которых удалось избежать за все время реализации программы. В этом случае в каждом проекте, предполагающем сокращение выбросов, устанавливается коэффициент снижения выбросов (в процентах от объема), которые действуют на протяжении некоторого периода (до окончания программы). Тогда размер выбросов будет произведением этого коэффициента на период действия этого коэффициента. Размер выбросов, которых удалось избежать, всей программы будет равен сумме таких выбросов от каждого проекта программы. Именно этот показатель можно использовать в качестве целевого для модели (его необходимо максимизировать).

Даже если реализация программы вызвана внешней необходимостью и все проекты ЭСМ убыточны, то стоит использовать данный целевой показатель совместно с NPV для минимизации убытков. Если проекты имеют положительный экономический эффект, то оптимизация по двум целям (вторая — это NPV) позволит найти необходимый баланс между экологией и прибыльностью программы в случае, когда оптимизация только по NPV отодвигает экологию на второй план. Для нахождения такого баланса необходимо запускать оптимизационную модель несколько раз с разными весами двух критериев.

Под технологическими показателями предполагаем, прежде всего, показатели, характеризующие технологическое совершенство (например, КПД) и уровень инновационности производства. Для имиджа и внешних стейкхолдеров компании такие цели могут выглядеть довольно привлекательно.

Принцип учета таких показателей в качестве целевых может быть таким же, как и экологических показателей. Выражающие их коэффициенты точно так же необходимо умножать на время действия для того, чтобы модель старалась эти изменения провести как можно раньше.

Компромиссная цель

Как отмечено выше, технологические и экологические цели следует использовать совместно с экономическими целями, оптимизируя программу сразу по нескольким целям. Этого можно достичь с помощью так называемой свертки показателей, которая оставит целевую функцию линейной.

Компромиссная цель — это линейная комбинация перечисленных выше целей. Приведем показатели к единым единицам измерения — процентам. Для этого рассчитаем:

- NPV -программы;
- экологические показатели программы;
- технологические показатели программы,

в предположении, что все проекты ЭСМ начинаются в первый период, что обеспечит их максимально возможное значение для данных проектов без учета ограничений. Обозначим их с индексом 0: NPV_0 ; ECO_0 ; TEC_0 .

Целевая функция модели

Универсальной целевой функцией (значение которой нужно максимизировать) является следующее выражение:

$$SYN = (1 - w_{eco} - w_{tec}) \cdot \frac{NPV}{NPV_0} + w_{eco} \cdot \frac{ECO}{ECO_0} + w_{tec} \cdot \frac{TEC}{TEC_0}, \quad (1)$$

в котором w_{eco} и w_{tec} представляют собой веса в интервале $[0; 1)$, задающиеся пользователем. Ноль означает исключение соответствующего слагаемого из целевой функции. NPV_0 , ECO_0 , TEC_0 — константы, рассчитанные при условии выполнения всех ЭСМ проектов без задержек.

На наш взгляд, не стоит предоставлять пользователю возможность отказаться от оптимизации по NPV , максимум, что можно предложить — понизить вес этого критерия в синтетической целевой функции. Это связано с тем, что при равных или близких значениях по улучшению технического или экологического показателя у разных проектов, следует пользоваться критерием NPV для определения проекта, выполнение которого следует задержать.

Выразим NPV через переменные модели:

$$NPV = NPV_i \cdot \sum_t DF_t \cdot x_{it} = \sum_t DF_t \cdot FCFP_t, \quad (2)$$

где $DF_t = \frac{1}{(1+r)^t}$ — коэффициенты дисконтирования со ставкой r .

Стоит отметить, что в случае использования рискованной модели ставка дисконтирования должна быть безрисковой и единой для всех проектов программы.

Выразим теперь показатели ECO и TEC . В обоих случаях, как уже было отмечено выше, эти показатели определяются для каждого проекта вместе с периодом действия.

$$ECO = \sum_i ECO_i = \sum_i (T - S_i) ECO'_i / T = \sum_i \left(T - \sum_t t \cdot x_{it} \right) ECO'_i / T, \quad (3)$$

где ECO'_i — коэффициент сокращения выбросов (ежепериодных), которое дает i -проект; ECO_i — коэффициент снижения выбросов за весь период реализации программы.

Переменные модели и расчетные параметры

Переменные модели:

$$x_{it} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-проект на } t\text{-период} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Индекс i пробегает (здесь и далее) все ЭСМ проекты. Индекс t пробегает (здесь и далее) все периоды реализации программы (от 1 до T).

Важно отметить, что в случае, когда пользователь задает ограничение на период окупаемости программы, то модель усложняется: в нее добавляется еще T булевых переменных y_t . Если такое ограничение не задано, то эти переменные следует убрать, так как это позволит сократить время нахождения решения и повысить его качество.

Через эти переменные можно выразить (линейным образом) следующие важные параметры:

$S_i = \sum_t t \cdot x_{it}$ — номер периода, в котором начинается i -проект ЭСМ.

$F_i = \sum_t t \cdot x_{it} + d_i$ — номер периода, в котором начинается 2-я фаза проекта (поступление доходов).

$$FCFP_{it} = \sum_{k=0}^{t-1} FCFaR(p)_{ik} \cdot x_{i;t-k} \text{ — вклад } i\text{-проекта}$$

в свободный денежный поток программы в t -периоде. Денежные потоки рассчитываются с доверительной вероятностью p .

$$OCFP_{it} = \sum_{k=0}^{t-1} OCFAr(p)_{ik} \cdot x_{i;t-k} \text{ — вклад } i\text{-проекта}$$

в чистые притоки от операционной деятельности программы в t -периоде.

$$ICFP_{it} = \sum_{k=0}^{t-1} ICFAr(p)_{ik} \cdot x_{i;t-k} \text{ — вклад } i\text{-проекта в}$$

чистые инвестиции программы в t -периоде.

$$FCFP_t = \sum_i FCFP_{it} \text{ — значение свободного денежного}$$

потока в t -периоде программы ЭСМ.

$$CFCFP_T = \sum_{t=1}^T FCFP_t \text{ — накопленный на момент } t$$

свободный денежный поток программы.

$$RFCFP_T = \sum_{t=1}^T \sum_i (R \cdot OCFP_{it} - ICFP_{it}) \text{ — располагае-$$

мый с учетом коэффициента реинвестирования программы накопленный на момент t свободный денежный поток. Коэффициент реинвестирования является важным элементом предлагаемого авторами подхода, поскольку позволяет определять объем средств, которые можно реинвестировать

в программу при поступлении притока денежных средств от ее реализации. Таким образом, даже при нехватке первоначального бюджета программы на запуск ряда проектов они смогут быть реализованы с помощью механизма самофинансирования. Следует отметить, что подобный коэффициент не упоминался среди рассмотренных работ по существующим подходам к моделированию.

Допущения и ограничения модели

Ограничения, накладываемые на выполнение программы, наряду с целями оптимизации, определяют основные параметры программы ЭСМ.

Одним из главных ограничений является период реализации программы, который влияет на количество проектов, включенных в программу. Если бы мы предполагали неограниченное время реализации программы, то тогда рано или поздно все проекты были бы выполнены. Как уже отмечалось выше, период реализации программы состоит из двух частей: начальная и последующая стадия. Начальная стадия характеризуется тем, что известны все проекты ЭСМ, которые будут реализованы в соответствующий период, а в последующей стадии возможно появление новых проектов. Продолжительность каждой стадии зависит от особенностей бизнеса и проектов ЭСМ. Возможный ориентир: 3–5 лет для начальной и 7 и более для последующей.

Логические:

(1) $\sum_t x_{it} \leq 1$ для каждого i -проекта (одно лишь равенство будет означать, что проект при любых обстоятельствах должен войти в программу). Стоит иметь в виду, что проекты с отрицательным NPV , скорее всего, будут исключены из программы, поэтому для их включения необходимо использовать равенство.

(2) $\sum_i \sum_t x_{it} \geq N$ — минимальное количество проектов, которое должно войти в программу (имеет смысл, только когда в ограничениях (1) есть неравенства)

(3) Предшествование проектов: $\sum_t t \cdot x_{it} + d_i \leq \sum_t t \cdot x_{jt}$, если $i \rightarrow j$.

(4) Взаимоисключающие проекты: $\sum_t x_{it} + \sum_t x_{jt} = 1$, если i и j — взаимоисключающие проекты ЭСМ.

(5) Неодновременность выполнения проектов:

$$\sum_{k=t-d_j}^{t+d_i-1} (x_{it} + x_{jk}) = 1 \text{ для каждого } t\text{-периода.}$$

(6) Ограничения, связанные с экологией и техническим совершенством программы. Допустим, g_i отражает вклад i -проекта в подобный параметр программы. Тогда ограничение будет выглядеть так:

$$\sum_{i,t} x_{it} g_i \geq G. \text{ Ограничения такого типа будут иметь}$$

значение только в том случае, когда в ограничениях (1) есть неравенства (т.е. когда не все проекты должны быть реализованы).

Ресурсные:

(7) Ограничение на размер инвестиций:

$$FCFP_t = \sum_i \sum_{k=0}^{t-1} FCFaR(p)_{ik} \cdot x_{i;t-k} \geq -I_t \text{ для каждого } t\text{-}$$

периода, где I_t задается пользователем (максимально допустимый размер инвестиций в t -периоде, положительное число).

(8) Бюджетное ограничение на величину чистых инвестиций: $RFCFP_t \geq -C_t$ для каждого t -периода, где C_t — бюджетное ограничение (положительное число) в t -периоде (например, предельный размер кредиторской задолженности), которое задается пользователем.

Временные:

(9) Ограничение на время года выполнения проекта ЭСМ. Если в период t_0 нельзя начинать проект i , то ограничение будет выглядеть так: $x_{it_0} = 0$.

(10) *PPB* (Период период окупаемости программы). Если установлено данное ограничение, то введем дополнительные переменные в модель $y_t = \{0;1\}$ для каждого t -периода. Добавим в ограничения: для каждого $t: y_t \geq y_{t+1}$. Тогда: $PPB = \sum_t y_t \leq PPB_0$ — тре-

буемое ограничение. Также нужно ввести дополнительные ограничения: $CFCFP_t \geq C_t \cdot y_t$ для каждого t -периода.

(11) Ограничение на ранний старт проекта:

$$S_i = \sum_t t \cdot x_{it} \geq S_i^{min}.$$

(12) Ограничение на позднее окончание проек-

$$F_i = \sum_t t \cdot x_{it} + d_i \leq F_i^{max}.$$

Пример расчета модели

Для расчета модели была выбрана компания металлургической отрасли, в рамках программы

повышения энергоэффективности были выделены типовые проекты. Согласно статистическим данным по основным показателям деятельности компаний в России, затраты на энергоресурсы в процентах от общей себестоимости продукции в металлургическом производстве за последние 10 лет значительно увеличились (электроэнергия — почти в 2,5 раза, газ — в 1,8 раз). Металлургические компании являются одними из самых энергоемких в российской экономике, и сегодня в отрасли стоит вопрос об энергосбережении.

В табл. 3 приведены 10 типовых проектов, осуществляемых в металлургических компаниях и направленных на энергосбережение. Также изложены цели проектов и краткое описание их сути. Все проекты в основном преследуют несколько целей (помимо снижения затрат энергоресурсов) — это и повышение производительности оборудования, и повышение качества продукции, и улучшение экологии.

Данные проекты все могут быть включены в программу повышения энергоэффективности компании. Но поскольку бюджет программы ограничен, необходимо понимать, какие проекты целесообразно реализовывать с экономической точки зрения и в какой очередности. Возможно, реализацию некоторых проектов необходимо будет отложить на несколько лет для получения долгосрочной выгоды от других проектов.

В табл. 4 приведены элементы денежного потока для данных 10 проектов. В периоде 0 должны осуществляться инвестиции (ICF), а в последующих периодах — поступать притоки от операционной деятельности компании (OCF).

Для примера в рамках данной работы рассмотрим модель с оптимизацией только по NPV . Отметим, что экологические и технологические показатели могут отличаться от компании к компании, тем самым учитывать особенности бизнеса.

Входные данные для модели следующие:

- целевая функция: максимизация NPV программы;
- ограничения:
 - период реализации программы (годы): 12,
 - бюджет программы: 2 900 млн руб.,
 - объем инвестиций в периоде (не более): 900 млн руб.;
- допущения:
 - коэффициент реинвестирования: 50%,
 - ставка дисконтирования: 7%.

В результате оптимизационная модель представляет собой задачу целочисленного линейного про-

граммирования с булевыми переменными, которую можно решить с помощью пакета *Microsoft Solver Foundation 3.1*, который доступен бесплатно и может встраиваться, как в языки программирования, так и в *MS Excel*. На рис. 1 изображено окно оптимизации программы. В верхней его части определяются входные данные для модели: подгружается пул проектов с данными по денежным потокам, задаются параметры оптимизации и ограничения. В нижней части выводятся результаты оптимизации с расчетными данными.

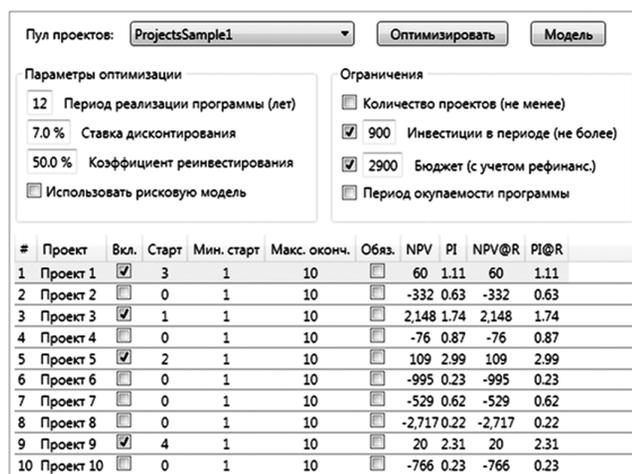


Рис. 1. Окно оптимизации программы с заданными параметрами оптимизации (пример)

При заданных условиях были отобраны 4 проекта с положительными значениями *NPV* для осуществления в рамках программы повышения энергоэффективности: проект 1 (реконструкция печи в электросталеплавильном цехе № 1), проект 3 (локальное освещение рабочих зон в двух цехах), про-

ект 5 (внедрение дополнительной агломерационной машины на аглофабрике) и проект 9 (внедрение автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ)).

Согласно расчетам были определены последовательность запуска проектов, значения *NPV* и рентабельность инвестиций (*PI*) (табл. 2).

Таблица 2
Расчетные значения старта, *NPV* и *PI* для отобранных 4 проектов

№ проекта	Старт (период)	NPV	PI
Проект 1	3	60	1,11
Проект 3	1	2 148	1,74
Проект 5	2	109	2,99
Проект 9	4	20	2,31

Таким образом, первым должен быть запущен проект 3 по локальному освещению рабочих зон в двух цехах предприятия. Это один из самых высокозатратных проектов, но за счет быстрой окупаемости и высокого значения *NPV* может «профинансировать» прочие проекты. Коэффициент реинвестирования на уровне 50% дает возможность половину притоков от операционной деятельности отправлять на финансирование других проектов. Так, к примеру, первоначальный бюджет программы будет израсходован на проект по локальному освещению, но за счет притоков от реализации данного проекта будут затем запущены проекты по установке дополнительной агломерационной машины, реконструкции печи и, наконец, внедрению АСКУЭ.

На рис. 2 отражены денежные потоки по программе повышения энергоэффективности, включающей в себя отобранные 4 проекта. Инвестиции будут осуществляться на протяжении 4 периодов, по ходу запуска каждого из проектов.

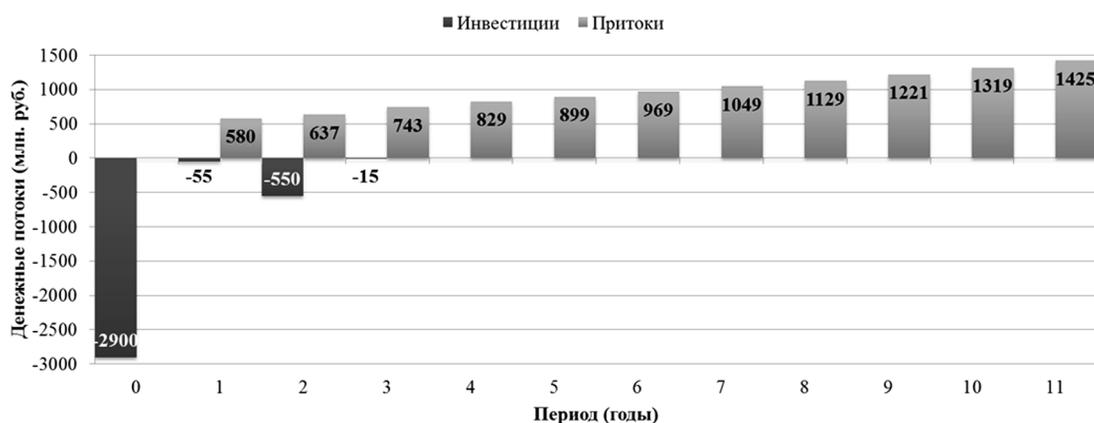


Рис. 2. Элементы денежного потока программы повышения энергоэффективности (пример)

Вместо заключения: итоги исследования и адаптация математической модели под конкретную программу

Как уже отмечалось, для реализации программ по повышению энергоэффективности компании необходимо решать ряд управленческих задач — формировать и управлять программой энергосберегающих проектов, развивать новые механизмы финансирования проектов, совершенствовать систему мониторинга и контроля. Однако подобные задачи характерны не только для сферы энергосбережения.

Для решения данных задач авторы предлагают использовать инструмент математического моделирования. Спектр изучаемых работ других авторов был сужен до детерминированных моделей, так как данный вид моделей является простым в расчетах и для понимания руководителем и командой программы. Все работы рассматривались сквозь призму четырех целей.

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- 1) большинство работ посвящено моделям, направленным на решение одной цели, например, максимизации *NPV* программы;
- 2) существует 8 различных видов целевых функций, которые упоминаются в работах (минимизация стоимости, максимизация *NPV*, минимизация продолжительности, эффективное планирование расписания, минимизация отставания, оптимизация качественных факторов, приоритезация и распределение ресурсов, минимизация перерасхода ресурсов);
- 3) можно выделить три основных типа ограничений, упоминающихся в моделях — временные, логические и ресурсные. Наиболее часто встречаются ограничения на ресурсы и объем их доступности, а также вводятся отношения предшествования между работами или проектами;

Таблица 3

Краткое описание 10 типовых проектов для включения в программу повышения энергоэффективности

№ проекта	Наименование проекта	Срок окупаемости (количество лет)	Цель проекта	Краткое описание проекта
1	Реконструкция печи в электро-стале-плавильном цехе № 1	7	1. Улучшение качества производимой стали 2. Увеличение производительности печи 3. Снижение затрат энергетических ресурсов	Реконструкция печи ДСП-100И7 с установкой эркерного выпуска стали
2	Реконструкция доменной печи	10	1. Увеличение производительности печи 2. Снижение затрат энергетических ресурсов	Увеличение рабочего объема печи с 1300 до 1500 куб. м
3	Локальное освещение рабочих зон (два цеха)	5	1. Сокращение эксплуатационных затрат на освещение 2. Снижение затрат на электроэнергию	Замена ламп ДРЛ-1000 на лампы ДСП/ДПП15-50 на скобе подвесные в двух цехах общей площадью 3000 кв. м
4	Реконструкция дуговой сталеплавильной печи в электро-стале-плавильном цехе № 2	8	1. Улучшение качества производимой стали 2. Сокращение длительности плавки 3. Снижение затрат энергетических ресурсов	Реконструкция дуговой сталеплавильной печи ДСП-80А
5	Внедрение дополнительной агломерационной машины на аглофабрике	4	1. Увеличение производительности аглофабрики 2. Улучшение качества производимого агломерата 3. Снижение затрат энергетических ресурсов 4. Улучшение условий работы персонала аглофабрики 5. Снижение вредных выбросов в атмосферу	Установка агломерационной машины АКМ-75, площадью спекания 75 кв. м
6	Внедрение машины непрерывного литья заготовок	18	1. Увеличение производительности конвертерного цеха 2. Снижение затрат на электроэнергию 3. Автоматизация процесса разлива стали	Установка машины непрерывного литья заготовок для совершенствования имеющихся технологий разлива стали (разливка сверху в изложницы)
7	Замена коксовой батареи	10	1. Повышение энерготехнологической эффективности батареи 2. Улучшение качества производимого кокса 3. Снижение затрат энергетических ресурсов	Замена действующей коксовой батареи на более совершенную с трехмерным числовым моделированием тепловых процессов
8	Внедрение блока разделения воздуха	24	1. Удовлетворение потребности предприятия в кислороде, азоте и аргоне 2. Снижение затрат энергетических ресурсов	Установка нового блока разделения воздуха КААр-32 в кислородно-компрессорном цехе
9	Внедрение автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ)	6	1. Контроль и снижение затрат энергетических ресурсов	Внедрение АСКУЭ для контроля и управления энергоресурсами на предприятии
10	Внедрение агрегата комплексной обработки стали («ковш-печь»)	18	1. Увеличение производительности кислородно-конвертерного цеха 2. Снижение затрат энергетических ресурсов	Установка агрегата «ковш-печь»

- 4) наиболее изученным на сегодня является уровень программы (эффективность реализации программы и ее организационная гибкость), в то время как уровню компании ученые уделяют меньше внимания;
- 5) нельзя каким-либо образом систематизировать информацию о допущениях в моделях, поскольку в каждом конкретном случае они свои.

В рамках данной работы авторами была предложена собственная математическая модель, направленная на оптимизацию программы повышения энергоэффективности.

Основные характеристики предлагаемой модели следующие:

- простота расчета и понимания;
- возможность реинвестирования средств;
- учет неопределенности;
- гибкое включение проектов в программу;

- возможность адаптировать под любую программу и компанию.

Компромиссная цель модели, предложенная в рамках данной работы состояла из трех целей: оптимизация *NPV* программы, экологических и технологических показателей программы. Как уже было замечено ранее, показатель *NPV* является наиболее предпочтительным для использования в модели, среди прочих финансово-экономических показателей. Однако, максимизация *NPV* — это не единственная целевая функция, позволяющая повышать эффективность реализации программы.

Для того чтобы отразить особенности компании либо отрасли в модели, можно изменять качественные показатели по выполнению целей компании. Для компании металлургической отрасли, к примеру, есть смысл вводить показатели, отражающие изменения в экологии и технологические особенности производства.

Таблица 4

Элементы денежного потока по 10 типовым проектам

№ проекта	Период (годы)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Проект 1	-550	70	75	82	88	95	102	110	120	130	140	152
Проект 2	-900	65	70	76	82	89	95	104	112	120	130	140
Проект 3	-2900	580	620	670	730	790	850	920	990	1070	1155	1248
Проект 4	-600	60	65	70	76	82	88	95	103	110	118	128
Проект 5	-55	17	18	20	23	26	29	32	35	38	40	45
Проект 6	-1300	35	38	40	44	48	51	55	60	65	70	75
Проект 7	-1400	100	108	116	125	136	146	158	171	185	200	215
Проект 8	-3500	90	97	104	113	122	132	142	154	166	179	193
Проект 9	-15	4	4,3	4,6	5	5,4	5,8	6,3	6,8	7,4	8,0	8,5
Проект 10	-1000	27	29	31	34	36	39	42	46	50	54	58

Литература

1. Баркалов С.А. Математические основы управления проектами / Под ред. В.Н. Буркова [Текст] / С.А. Баркалов [и др.] . — М.: Высшая школа, 2005. — 423 с.
2. Бирюк С. Метод Монте-Карло. Моделирование по методу Монте-Карло. Анализ рисков с использованием метода Монте-Карло. [Электронный ресурс]. — URL: <http://spiderproject.com.ua/company/news/7262/>
3. Бухвалов А.В. Реальны ли реальные опционы [Текст] / А.В. Бухвалов // Российский журнал менеджмента. — 2006. — № 4. — С. 77–84.
4. Бухвалов А.В. Реальные опционы в менеджменте: введение в проблему [Текст] / А.В. Бухвалов // Российский журнал менеджмента. — 2004. — № 1. — С. 3–32.
5. Бухвалов А.В. Реальные опционы в менеджменте: классификация и приложения [Текст] / А.В. Бухвалов // Российский журнал менеджмента. — 2004. — № 2. — С. 27–56.
6. Волков И., Грачева М. Вероятностные методы анализа рисков [Электронный ресурс]. — URL: http://www.cfin.ru/finanalysis/monte_carlo2.shtml/
7. Воропаев В.И. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами (часть 1) [Текст] / В.И. Воропаев, Я.Д. Гельруд // Управление проектами и программами. — 2008. — № 1. — С. 2–13.
8. Воропаев В.И. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами (часть 2) [Текст] / В.И. Воропаев, Я.Д. Гельруд // Управление проектами и программами. — 2008. — № 2. — С. 92–104.

9. *Воропаев В.И.* Принятие решений в управляемых циклических альтернативных сетевых моделях для проектов с детерминированными ветвлениями [Текст] / В.И. Воропаев, Я.Д. Гельруд, Д.И. Голенко-Гинзбург, А. Бен-Яр // Управление проектами и программами. — 2010. — № 1. — С. 4–14.
10. *Воропаев В.И.* Функциональные модели управления проектной деятельностью для разных заинтересованных сторон [Текст] / В.И. Воропаев, Я.Д. Гельруд, О. Клименко // Управление проектами и программами. — 2014. — № 4. — С. 266–278.
11. *Голенко Д.И.* Статистические методы сетевого планирования и управления [Текст] / Д.И. Голенко. — М.: Наука, 1969. — 400 с.
12. *Косухина М.А.* Методика оценки эффективности управления корпоративными финансами в условиях неопределенности [Текст] / М.А. Косухина, И.А. Брусакова, С.Е. Барыкин // Аудит и финансовый анализ. — 2012. — № 4. — С. 68–77.
13. *Крюков С.В.* Байесовы сети как инструмент моделирования неопределенности при принятии инвестиционных решений [Текст] / С.В. Крюков // Экономический вестник Ростовского государственного университета. — 2007. — № 5. — С. 106–111.
14. *Крюков С.В.* Выбор методов и моделей оценки эффективности инвестиционных проектов в условиях неопределенности [Текст] / С.В. Крюков // Экономический вестник Ростовского государственного университета. — 2008. — № 6. — С. 107–113.
15. *Лукашов А.В.* Метод Монте-Карло для финансовых аналитиков: краткий путеводитель [Текст] / А.В. Лукашов // Управление корпоративными финансами. — 2007. — № 1. — С. 22–39.
16. *Наливкин Д.В.* Использование последовательных методов Монте-Карло для оценивания рисков на финансовых рынках // Управление большими системами: сборник трудов. — 2008. — № 21. — [Электронный ресурс]. — URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-posledovatelnyh-metodov-monte-karlo-dlya-otsenivaniya-riskov-na-finansovyh-rynkah/>
17. *Привалов А.И.* Математические модели управления проектами в решении системных проблем экономики [Текст] / А.И. Привалов // Экономические науки. — 2009. — № 1. — С. 337–340.
18. *Саати Т.Л.* Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т.Л. Саати. — М.: Радио и связь, 1989. — 316 с.
19. *Титаренко Б.П.* Управление рисками в рамках системной модели проектно ориентированного управления проектами [Текст] / Б.П. Титаренко // Управление проектами и программами. — 2006. — № 1. — С. 76–89.
20. *Фелькер Р.* Использование теории игр в практике управления [Текст] / Р. Фелькер // Проблемы теории и практики управления. — 1999. — № 5. — С. 86–93.
21. *Харшаньи Дж.* Общая теория выбора равновесия в играх [Текст] / Дж. Харшаньи, Р. Зельтен. — СПб.: Экономическая школа, 2001. — 424 с.
22. *Angling M.* Resource planning and control in a multiproject environment // International Journal of Project Management. 1988. Vol. 6. P. 197–201.
23. *Beşikci U., Bilge Ü, Ulusoy G.* Multi-mode resource constrained multi-project scheduling and resource portfolio problem // European Journal of Operational Research. 2015. Vol. 240. P. 22–31.
24. *Brauer D.C., Naadimuthu G., Lee E.S.* Effective program planning for multiple projects under limited resources // Mathematical Modelling. 1987. Vol. 9. P. 547–552.
25. *Chen V.* A 0-1 goal programming model for scheduling multiple maintenance projects at copper mine // European Journal of Operational Research. 1994. Vol. 1. P. 176–191.
26. *Coyne K.P., Subramaniam S.* Bringing discipline to strategy // The McKinsey Quarterly. 1996. Vol. 4. P. 14–25.
27. *Gonçalves J.F., Mendes J.J.M., Resende M.G.C.* A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem // European Journal of Operational Research. 2008. Vol. 3. P. 1171–1190.
28. *Kannan A., Shanbhag U., Kim H.* Strategic behavior in power markets under uncertainty // Energy Systems. 2011. Vol. 2. P. 115–141.
29. *Kim K., Yun Y., Yoon J., Gen M., Yamazaki G.* Hybrid genetic algorithm with adaptive abilities for resource-constrained multiple project scheduling // Computers in Industry. 2005. Vol. 2. P. 143–160.
30. *Krüger D., Scholl A.* A heuristic solution framework for the resource constrained (multi-) project scheduling problem with sequence-dependent transfer times // European Journal of Operational Research. 2009. Vol. 197. P. 492–508.
31. *Liu M., Shan M., Wu J.* Multiple R&D Projects Scheduling Optimization with Improved Particle Swarm Algorithm // The Scientific World Journal. 2014. P. 1–7.
32. *Liu S., Wang C.-J.* Profit Optimization for Multiproject Scheduling Problems Considering Cash Flow // Journal of Construction Engineering and Management. 2010. Vol. 12. P. 1268–1278.
33. *Lova A., Maroto C., Tormos P.* A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling // European Journal of Operational Research. 2000. Vol. 2. P. 408–424.
34. *Marreco J., Carpio L.* Flexibility valuation in the Brazilian power system: A real options approach // Energy Policy. 2006. Vol. 34. P. 3749–3756.
35. *Maylor H., Brady T., Cooke-Davies T., Hodgson D.* From projectification to programification // International Journal of Project Management. 2006. Vol. 24. P. 663–674.
36. *Mills E., Kromer S., Weiss G., Mathew P.* From volatility to value: analysing and managing financial and performance risk in energy savings projects // Energy Policy. 2006. Vol. 34. P. 188–199.
37. *Mueller J.* Estimating Arizona residents' willingness to pay to invest in research and development in solar energy // Energy Policy. 2013. Vol. 53. P. 462–476.
38. *Pritsker A., Watters L., Wolfe P.* Multiproject scheduling with limited resources: a zero-one programming approach // Management Science. 1969. Vol. 1. P. 93–108.
39. *Siddiquia A., Marnay C., Wiser R.* Real options valuation of US federal renewable energy research, development, demonstration, and deployment // Energy Policy. 2007. Vol. 35. P. 265–279.
40. *Singh A.* Resource Constrained Multi-Project Scheduling with Priority Rules and Analytic Hierarchy Process // Procedia Engineering. 2014. Vol. 69. P. 725–734.
41. *Speranza M.G., Vercellis C.* Hierarchical models for multiproject planning and scheduling // European Journal of Operational Research. 1993. Vol. 64. P. 312–325.
42. *Spinney P.J., Watkins G.C.* Monte Carlo simulation techniques and electric utility resource decisions // Energy Policy. 1996. Vol. 2. P. 155–163.

43. Tavares L.V. Optimal resource profiles for program scheduling // *European Journal of Operational Research*. 1987. Vol. 1. P. 83–90.
 44. Trypia M. Cost minimization of m simultaneous projects that require the same scarce resource // *European Journal of Operational Research*. 1980. Vol. 4. P. 235–238.
 45. Vásconez V., Giraud G., McIsaac F., Pham N.-S. The effects of oil price shocks in a new-Keynesian framework with capital accumulation // *Energy Policy*. 2015. Vol. 86. P. 844–854.
 46. Vithayasrichareon P., MacGill I. A Monte Carlo based decision-support tool for assessing generation portfolios in future carbon constrained electricity industries // *Energy Policy*. 2012. Vol. 41. P. 374–392.
 47. Wiley V., Deckro R., Jackson J. Optimization analysis for design and planning of multi-project programs // *European Journal of Operational Research*. 1998. Vol. 107. P. 492–506.
 48. Zapata J., Hodge B., Reklaitis G. The multimode resource constrained multiproject scheduling problem: Alternative formulations // *AIChE Journal*. 2008. Vol. 8. P. 2101–2119.
- References**
1. Barkalov S.A., Voropaev V.I., Sekletova G.I. *Matematicheskie osnovy upravleniya proektami* [Mathematical Foundations of Project Management]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2005. 423 p.
 2. Biryuk S. Metod Monte-Karlo. *Modelirovanie po metodu Monte-Karlo. Analiz riskov s ispol'zovaniem metoda Monte-Karlo* [Monte Carlo method. Simulation Monte Carlo. The risk analysis using Monte Carlo method]. Available at: <http://spiderproject.com.ua/company/news/7262/>
 3. Bukhvalov A.V. Real'ny li real'nye opsiyny [Is it possible to real options]. *Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta* [Russian Management Journal]. 2006, I. 4(3), pp. 77–84.
 4. Bukhvalov A.V. Real'nye opsiyny v menedzhmente: vvedenie v problemu [Real Options in Management: introduction to the problem]. *Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta* [Russian Management Journal]. 2004, I. 1, pp. 3–32.
 5. Bukhvalov A.V. Real'nye opsiyny v menedzhmente: klasifikatsiya i prilozheniya [Real Options in Management: Classification and Applications]. *Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta* [Russian Management Journal]. 2004, I. 2, pp. 27–56.
 6. Volkov I., Gracheva M. *Veroyatnostnye metody analiza riskov* [Probabilistic methods of risk analysis]. Available at: http://www.cfin.ru/finanalysis/monte_carlo2.shtml
 7. Voropaev V.I., Gel'rud Ya.D. Obobshchennyye stokhasticheskie setevyye modeli dlya upravleniya kompleksnymi proektami (chast' 1) [Generalized stochastic network models for complex project management (part 1)]. *Upravlenie proektami i programmami* [Project and Program Management.]. 2008, I. 1, pp. 2–13.
 8. Voropaev V.I., Gel'rud Ya.D. Obobshchennyye stokhasticheskie setevyye modeli dlya upravleniya kompleksnymi proektami (chast' 2) [Generalized stochastic network models for complex project management (Part 2)]. *Upravlenie proektami i programmami* [Project and Program Management.]. 2008, I. 2, pp. 92–104.
 9. Voropaev V.I., Gel'rud Ya.D., Golenko-Ginzburg D.I., Ben-Yar A. Prinyatie resheniy v upravlyaemykh tsiklicheskikh al'ternativnykh setevykh modelyakh dlya proektov s determinirovannymi vetvleniyami [Decision-making under controlled cyclic alternative network models for projects with deterministic branching]. *Upravlenie proektami i programmami* [Project and Program Management]. 2010, I. 1, pp. 4–14.
 10. Voropaev V., Gel'rud Ya., Klimenko O. Funktsional'nyye modeli upravleniya proektnoy deyatel'nost'yu dlya raznykh zainteresovannykh storon [Functional project management model for different stakeholders]. *Upravlenie proektami i programmami* [Project and Program Management]. 2014, I. 4, pp. 266–278.
 11. Golenko D.I. *Statisticheskie metody setevogo planirovaniya i upravleniya* [Statistical methods for network planning and management]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 400 p.
 12. Kosukhina M.A., Brusakova I.A., Barykin S.E. Metodika otsenki effektivnosti upravleniya korporativnymi finansami v usloviyakh neopredelennosti [Methods of assessing the effectiveness of corporate finance in the conditions of uncertainty]. *Audit i finansovyy analiz* [Audit and financial analysis]. 2012, I. 4, pp. 68–77.
 13. Kryukov S.V. Bayesovy seti kak instrument modelirovaniya neopredelennosti pri prinyatii investitsionnykh resheniy [Bayesian networks as a tool for modeling uncertainty in investment decisions]. *Ekonomicheskyy vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Economic Gazette Rostov State University]. 2007, I. 5(1), pp. 106–111.
 14. Kryukov S.V. Vybore metodov i modeley otsenki effektivnosti investitsionnykh proektov v usloviyakh neopredelennosti [Selection of methods and models for assessing the effectiveness of investment projects under conditions of uncertainty]. *Ekonomicheskyy vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Economic Gazette Rostov State University]. 2008, I. 6(3), pp. 107–113.
 15. Lukashov A.V. Metod Monte-Karlo dlya finansovykh analitikov: kratkiy putevoditel' [Monte Carlo method for financial analysts: a brief guide]. *Upravlenie korporativnymi finansami* [Management of corporate finances]. 2007, I. 01(19), pp. 22–39.
 16. Nalivkin D.V. Ispol'zovanie posledovatel'nykh metodov Monte-Karlo dlya otsenivaniya riskov na finansovykh ryunkakh [Using sequential Monte Carlo methods for the evaluation of risks in the financial markets]. *Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov* [Managing large systems: Proceedings]. 2008, I. 21. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-posledovatelnykh-metodov-monte-karlo-dlya-otsenivaniya-riskov-na-finansovykh-ryunkakh>
 17. Privalov A.I. Matematicheskie modeli upravleniya proektami v reshenii sistemnykh problem ekonomiki [Mathematical model of project management in addressing systemic problems of economy]. *Ekonomicheskyye nauki* [Economic sciences]. 2009, I. 1(50), pp. 337–340.
 18. Saati T.L. *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy* [Making decisions. Analytic Hierarchy Process]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1989. 316 p.
 19. Titarenko B.P. Upravlenie riskami v ramkakh sistemnoy modeli proektno-orientirovannogo upravleniya proektami [Risk management within the framework of a systemic model of project-oriented project management]. *Upravlenie proektami i programmami* [Project and Program Management]. 2006, I. 1, pp. 76–89.
 20. Fel'ker R. Ispol'zovanie teorii igr v praktike upravleniya [Using game theory to practice management]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya* [Problems of the theory and practice of management]. 1999, I. 5, pp. 86–93.
 21. Kharshan'i Dzh., Zel'ten R. *Obshchaya teoriya vybora ravnovesiya v igrakh* [The general theory of equilibrium selection in games]. St. Petersburg, Ekonomicheskaya shkola Publ., 2001. 424 S.

22. Angling M. (1988). Resource planning and control in a multiproject environment. *International Journal of Project Management*, Vol. 6(4), pp. 197–201.
23. Beşikci U., Bilge Ü, Ulusoy G. (2015). Multi-mode resource constrained multi-project scheduling and resource portfolio problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 240, pp. 22–31.
24. Brauer D.C., Naadimuthu G., Lee E.S. (1987). Effective program planning for multiple projects under limited resources. *Mathematical Modelling*, Vol. 9(7), pp. 547–552.
25. Chen V. (1994). A 0-1 goal programming model for scheduling multiple maintenance projects at copper mine. *European Journal of Operational Research*, Vol. 76(1), pp. 176–191.
26. Coyne K.P., Subramaniam S. (1996) Bringing discipline to strategy. *The McKinsey Quarterly*. Vol 4, pp. 14–25
27. Gonçalves J.F., Mendes J.J.M., Resende M.G.C. (2008). A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 189(3), pp. 1171–1190.
28. Kannan A., Shanbhag U., Kim H. (2011). Strategic behavior in power markets under uncertainty. *Energy Systems*, Vol. 2, pp. 115–141.
29. Kim K., Yun Y., Yoon J., Gen M., Yamazaki G. (2005). Hybrid genetic algorithm with adaptive abilities for resource-constrained multiple project scheduling. *Computers in Industry*, Vol. 56(2), pp. 143–160.
30. Krüger D., Scholl A. (2009). A heuristic solution framework for the resource constrained (multi-) project scheduling problem with sequence-dependent transfer times. *European Journal of Operational Research*, Vol. 197, pp. 492–508.
31. Liu M., Shan M., Wu J. (2014). Multiple R&D Projects Scheduling Optimization with Improved Particle Swarm Algorithm. *The Scientific World Journal*, pp. 1–7.
32. Liu S., Wang C.-J. (2010). Profit Optimization for Multiproject Scheduling Problems Considering Cash Flow. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 136(12), pp. 1268–1278.
33. Lova A., Maroto C., Tormos P. (2000). A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling. *European Journal of Operational Research*, Vol. 127(2), pp. 408–424.
34. Marreco J., Carpio L. (2006). Flexibility valuation in the Brazilian power system: A real options approach. *Energy Policy*, Vol. 34, pp. 3749–3756.
35. Maylor H., Brady T., Cooke-Davies T., Hodgson D. (2006). From projectification to programmification. *International Journal of Project Management*, Vol. 24, pp. 663–674.
36. Mills E., Kromer S., Weiss G., Mathew P. (2006). From volatility to value: analysing and managing financial and performance risk in energy savings projects. *Energy Policy*, Vol. 34, pp. 188–199.
37. Mueller J. (2013). Estimating Arizona residents' willingness to pay to invest in research and development in solar energy. *Energy Policy*, Vol. 53, pp. 462–476.
38. Pritsker A., Watters L., Wolfe P. (1969). Multiproject scheduling with limited resources: a zero-one programming approach. *Management Science*, Vol. 16 (1), pp. 93–108.
39. Siddiquia A., Marnay C., Wiser R. (2007). Real options valuation of US federal renewable energy research, development, demonstration, and deployment. *Energy Policy*, Vol. 35, pp. 265–279.
40. Singh A. (2014). Resource Constrained Multi-Project Scheduling with Priority Rules and Analytic Hierarchy Process. *Procedia Engineering*, Vol. 69, pp. 725–734.
41. Speranza M.G., Vercellis S. (1993). Hierarchical models for multi-project planning and scheduling. *European Journal of Operational Research*, Vol. 64, pp. 312–325.
42. Spinney P.J., Watkins G.C. (1996). Monte Carlo simulation techniques and electric utility resource decisions. *Energy Policy*, Vol. 24(2), pp. 155–163.
43. Tavares L.V. (1987). Optimal resource profiles for program scheduling. *European Journal of Operational Research*, Vol. 29(1), pp. 83–90.
44. Trypia M. (1980). Cost minimization of m simultaneous projects that require the same scarce resource. *European Journal of Operational Research*, Vol. 5(4), pp. 235–238.
45. Vásconez V., Giraud G., Mclsaac F., Pham N.-S. (2015). The effects of oil price shocks in a new-Keynesian framework with capital accumulation. *Energy Policy*, Vol. 86, pp. 844–854.
46. Vithayasrichareon P., MacGill. (2012). A Monte Carlo based decision-support tool for assessing generation portfolios in future carbon constrained electricity industries. *Energy Policy*, Vol. 41, pp. 374–392.
47. Wiley V., Deckro R., Jackson J. (1998). Optimization analysis for design and planning of multi-project programs. *European Journal of Operational Research*, Vol. 107, pp. 492–506.
48. Zapata J., Hodge B., Reklaitis G. (2008). The multimode resource constrained multiproject scheduling problem: Alternative formulations. *AIChE Journal*, Vol. 54 (8), pp. 2101–2119.