



О.В. Булыгина, М.И. Дли, А.А. Емельянов, Ю.В. Селявский

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
И ИНСТРУМЕНТЫ АНАЛИЗА РЕАЛИЗУЕМОСТИ
ПРОЕКТОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Под редакцией доктора экономических наук,
профессора А.А. Емельянова

Рекомендовано

Учебно-методическим советом по направлению подготовки
«Прикладная информатика» Федерального учебно-методического
объединения в области информатики и вычислительной техники для
студентов направления «Прикладная информатика» с профилем
«Экономика и управление»

Работа выполнена при поддержке Гранта
Президента Российской Федерации МК-1534.2020.9
«Методы моделирования сложных систем с использованием
нечетко-сетевых алгоритмов и роевого интеллекта».

УНИВЕРСУМ

Смоленск – 2020

УДК 338.054.23
ББК 65.012.1:65.29
Б90

Рецензенты:

Кафедра информационных систем в экономике экономического факультета Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ), рецензию подготовил В.Г. Халин, д-р экон. наук, проф.;

Г.В. Росс, д-р техн. наук, д-р экон. наук, проф., Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Москва).

Булыгина О. В.

- Б90** Математические методы и инструменты анализа реализуемости проектов в промышленности: учебное пособие / О.В. Булыгина, М.И. Дли, А.А. Емельянов, Ю.В. Селявский; под ред. д-ра экон. наук, проф. А.А. Емельянова. – Смоленск: Универсум, 2020. – 248 с. – (Высшее образование – Бакалавриат).

ISBN 978-5-91412-344-1

Инновационные проекты создания перспективной продукции обычно реализуются на планово-конкурсной основе, часто в рамках планов развития региона или территории. В последние пять лет появилась экстренная необходимость выпуска наукоемкого оборудования промышленностью и на неплановой основе – в связи с проблемами импортозамещения продукции, ранее приобретаемой за рубежом для предприятий энергетики и энергомашиностроения, электро- и дизель-железнодорожного транспорта, судостроения, авиа- и космической промышленности, атомной и других отраслей.

Рассмотрены особенности современных методов управления проектами создания продукции в области «высоких технологий» (high-tech). Анализируются возможности управления проектными рисками с применением современных методологий. Инновации и импортозамещение рассматриваются как подобные, но разные категории, поскольку основными источниками риска проектов импортозамещения являются темпоральный и страновой факторы.

Приводятся современные методы и модели анализа реализуемости проектов в промышленности. Рекомендуются гибридные модели с применением НЕ-факторов, нечеткой и темпоральной логик, растущих пирамидальных сетей и компьютерной имитации процессов, позволяющие снизить фактор неопределенности исходных данных при анализе рисков выполнения проектов.

Для студентов вузов, обучающихся в области информатики и вычислительной техники по направлению «Прикладная информатика», профиль «Экономика и управление».

ISBN 978-5-91412-344-1

© О.В. Булыгина, М.И. Дли, А.А. Емельянов, Ю.В. Селявский

© Универсум

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
ВВЕДЕНИЕ	7
Глава 1. УПРАВЛЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ	11
§ 1.1. Основные понятия, термины и определения. Классификация проектов	11
§ 1.2. Проект в наукоемкой отрасли промышленности	18
§ 1.3. Гибкая разработка проектов в IT: Agile Manifesto. Применение Agile в ядерной отрасли	25
§ 1.4. Перспективы реального применения «Свода знаний по управлению проектами PMBoK»	36
§ 1.5. Анализ реализуемости наукоемких проектов в промышленности: алгоритмы и инструменты	43
Вопросы для самоконтроля	62
Глава 2. ТЕОРИЯ РИСКА И ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА	63
§ 2.1. Исторический экскурс: от классической теории риска до стандарта ИСО 31000	63
§ 2.2. Риск-менеджмент. Обзор сводных сведений о стандартах ИСО 31000 – ИСО 31010	66
§ 2.3. Инфраструктура риск-менеджмента	69
§ 2.4. Процесс риск-менеджмента	74
§ 2.5. Качественные и количественные методы оценки риска	83
§ 2.6. Управление рисками проекта в PMBoK	100
§ 2.7. Управление рисками в проектах Agile/Scrum	116
Вопросы для самоконтроля	120
Глава 3. НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ	121
§ 3.1. Введение в Fuzzy Logic	121
§ 3.2. Нечеткие множества. Основные понятия	122
§ 3.3. Функции принадлежности. Методы построения	125
§ 3.4. Понятие лингвистической переменной	127
§ 3.5. Основные нечеткие логические операции	130
§ 3.6. Процесс нечеткого условного вывода	133

§ 3.7. Базовая архитектура систем нечеткого вывода	135
§ 3.8. Основные понятия, «механизм» и алгоритмы нечетко-логического вывода	141
§ 3.9. Использование систем нечетко-логического вывода в задачах управления	147
Вопросы для самоконтроля	154
 Глава 4. НЕ-ФАКТОРЫ И ТЕМПОРАЛЬНАЯ ЛОГИКА	
В УПРАВЛЕНИИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕМ	155
§ 4.1. Задача реализации проекта импортозамещения	155
§ 4.2. Применение теории НЕ-факторов в анализе ситуаций принятия решений	162
§ 4.3. Теория акторных сетей в имитационном моделировании	165
§ 4.4. Темпоральная логика в принятии решений о реализации проектов	170
§ 4.5. Информационное обеспечение моделей в управлении рисками импортозамещения	189
Вопросы для самоконтроля	204
 Глава 5. СЛОЖНЫЕ МУЛЬТИПРОЕКТЫ В МЕТАЛЛО-	
ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	205
§ 5.1. Исходные предпосылки и перспективы реализации мультипроектов в промышленности	205
§ 5.2. Модель процесса реализации этапов мультипроекта в технологической цепи с несколькими участниками	207
§ 5.3. Экономико-математические средства анализа перспектив крупных мультипроектов в металлообработке	214
§ 5.4. Акторная имитационная модель производственного процесса в металлообрабатывающем комплексе	222
§ 5.5. Информационная СППР в управлении инновационным мультипроектом в металлургии и металлообработке	234
Вопросы для самоконтроля	240
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	241
ЛИТЕРАТУРА	243
Условные обозначения и сокращения	247
Выходные данные	248

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние 30 лет в разных странах получил распространение такой вид деятельности, как *инжиниринг* (*engineering*) [10]. Такой вид деятельности был известен давно, но термин заимствован из английского языка в 90-е годы XX в., и тогда он имел следующее значение: предоставление услуг по доведению новых идей, научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок до стадии производства и реализации. Причем есть нечто общее между этим словом и квалификацией «инженер». Существуют и другие определения этого термина.

Во-первых, в обыденном общении *инжиниринг* означает область человеческой интеллектуальной деятельности, дисциплину или профессию, задачей которой является применение достижений науки, техники, использование законов природы и ресурсов для решения конкретных проблем, целей и задач человечества. Но такое определение является слишком общим: под него подпадает как проведение экономических расчетов, так и составление научно обоснованного конкретного кулинарного рецепта.

Во-вторых, существуют и слишком детальные технико-экономические определения, не прижившиеся у практиков.

В-третьих, некоторые авторы связывают *инжиниринг* исключительно с предпринимательской и консалтинговой деятельностью.

Исходя из этого, ниже используется следующее определение.

Инжиниринг – область интеллектуальной деятельности и процесс, задачей которого является технико-экономический анализ, проектирование, создание, сооружение, использование, поддержка, переработка или уничтожение концепции, модели, продукта, процесса, системы или технологии для конкретных приложений.

Главное в такой деятельности – это проект со всеми этапами его жизненного цикла, от идеи до реализации, сопровождения и *реинжиниринга* или утилизации объекта проектирования.

Проектная деятельность – как правило, это регламентируемая конкретная работа какого-то «творческого» коллектива, которая включает в себя:

- а) замысел того, что «нужно спроектировать» (или проблему);
- б) средства реализации этого замысла (или решения проблемы);
- в) получаемые в процессе реализации результаты.

Такая деятельность стоит существенных временных затрат, а ошибки, которые могут быть допущены этим творческим коллективом, стоят не меньших существенных финансовых затрат для их исправления.

Одновременно с проектированием для реализации проекта разрабатывается бизнес-план с учетом интересов заказчиков, возможностей источников инвестирования и реализуемости всех временных этапов.

Данная книга включает в себя вопросы формального методологического регламентирования процессов проектирования с целью сокращения сроков проектирования, обеспечения защиты от рискованных решений и, главное, для экономико-математической оценки реализуемости проектов. Такая оценка особенно важна для реализации проектов в промышленности, причем под особым вниманием находятся наукоемкие проекты.

Реальный пример: Государственная корпорация «Росатом» приняла решение по оптимизации комплекса работ и использовать для своих предприятий «гибкие методологии» проектирования. Когда-то данный подход хорошо себя зарекомендовал в IT-сфере. Теперь впервые в атомной отрасли России для решения сложных инженерных задач были применены Agile-методологии (Scrum, Kanban) для управления проектами, что позволило в рекордные сроки, благодаря разработанным техническим решениям, оптимизировать компоновку ядерного острова АЭС «Ханхикиви» (Финляндия), сократив весь объем зданий в 1,3 раза. В результате точно в срок была достигнута основная цель проекта АЭС «Ханхикиви-1» – объем основных зданий был снижен на 26%. По мнению экспертов «Росатома» применение Agile в проектировании АЭС сделало процессы общего инжиниринга «эффективнее, дешевле, безопаснее» [42].

Книгу к изданию подготовил авторский коллектив в составе:

О. В. Булыгина, канд. экон. наук, доцент, филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске (гл. 1, 3, 5);

М. И. Дли, докт. техн. наук, профессор, филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске (гл. 1, 3, 4);

А. А. Емельянов, докт. экон. наук, профессор, филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске (редактор книги, гл. 2, 4, 5);

Ю. В. Селявский, канд. экон. наук, преподаватель-исследователь, Смоленский филиал РЭУ им. Г. В. Плеханова (гл. 1, 3, 5).

Поддержку авторам в подготовке книги к изданию своими советами и пожеланиями оказали:

Ю. Ф. Тельнов, докт. экон. наук, профессор (Москва);

Г. В. Росс, докт. техн. наук, докт. экон. наук, профессор (Москва);

В. Г. Халин, докт. экон. наук, профессор (Санкт-Петербург).

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Промышленность (от русск. *промышлять, промысел*) – совокупность предприятий (рудников, шахт, электростанций, заводов, комбинатов, фабрик), занятых:

- а) добычей сырья и топлива;
- б) производством энергии и орудий труда (как для других отраслей народного хозяйства, так и для самой промышленности);
- в) обработкой материалов и продуктов, произведённых в промышленности или в сельском хозяйстве;
- г) изготовлением потребительских товаров.

Промышленность Российской Федерации – одна из основных отраслей экономики страны, примерная структура анализа которой приведена ниже (по некоторым данным из Интернет¹):

- | | |
|------|--|
| 1 | ИСТОРИЯ (анализ развития отрасли в первое 20-летие XXI в.) |
| 2 | ДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ |
| 2.1 | Топливо-энергетические полезные ископаемые |
| 2.2 | Металлические руды |
| 3 | МЕТАЛЛУРГИЯ |
| 3.1 | Чёрная металлургия |
| 3.2 | Цветная металлургия |
| 4 | МАШИНОСТРОЕНИЕ |
| 4.1 | Оборонно-промышленный комплекс |
| 4.2 | Судостроение |
| 4.3 | Автомобильная промышленность |
| 4.4 | Авиакосмическая промышленность |
| 4.5 | Сельскохозяйственное машиностроение |
| 4.6 | Железнодорожное машиностроение |
| 4.7 | Двигателестроение |
| 4.8 | Электротехника |
| 4.9 | Оптико-механическая промышленность |
| 4.10 | Атомная промышленность |
| 5 | НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ |
| 6 | ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ |
| 7 | ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ |
| 8 | ЛЁГКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ |
| 8.1 | Текстильная промышленность |
| 8.2 | Фарфоро-фаянсовая промышленность |
| 9 | ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ |
| 10 | МЕБЕЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ |
| 11 | МИКРОЭЛЕКТРОНИКА И НАНОТЕХНОЛОГИИ |
| 11.1 | Электронная промышленность. Микроэлектроника |
| 11.2 | Нанотехнологии |
| 12 | ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ |
| 13 | ПРОМЫШЛЕННОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ |
| 14 | ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА |
| 14.1 | Теплоэнергетика |
| 14.2 | Гидроэнергетика |
| 14.3 | Атомная энергетика |
| 14.4 | Ветроэнергетика |
| 14.5 | Геотермальная энергетика |

¹ Википедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленность_России.

Промышленность развивается за счет производства новых промышленных изделий, расширения рынков сбыта произведенной продукции, а также структурных преобразований. Если маркетинговые службы промышленной подотрасли определяют необходимость производства нового перспективного товара (изделия), а предприятия в состоянии перестроиться для нового производства, то возникает необходимость разработки проекта производства нового товара (изделия) и, соответственно, бизнес-проекта (или бизнес-плана) производства этого товара (изделия).

Особенно важными для развития как всей экономики страны, так и обороноспособности, и экономической безопасности государства, являются наукоемкие отрасли экономики, особенно – промышленность. Термин *наукоемкое производство* впервые стал использоваться в Японии во 2-й половине XX в.

Наукоемкие производства – это группа производств с высокими абсолютными и относительными (по отношению к общим издержкам производства) затратами на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы: производство электротехнической и радиоэлектронной аппаратуры, авиационные, ракетные, космические отрасли промышленности, приборостроение, микробиологическая промышленность, индустрия информатики и др. По данным Росстата, если в наукоемком производстве основная часть затрат приходится на разработку оптимальной конструкции изделий, создание новых материалов, разработку новых технологий и оборудования, обеспечение требуемой надёжности, экологической чистоты и безопасности обслуживания, то иногда затраты на НИР и ОКР могут достигать 60 % всех затрат², связанных с подготовкой и выпуском продукции.

Подготовке специалистов для соответствующих предприятий наукоемкого производства, исследованиям вопросов организации и реализации проектов наукоемкой продукции особое внимание уделяют не только ведущие университеты страны, но и региональные вузы, территориально расположенные рядом с соответствующими ведущими отраслевыми предприятиями, например, в г. Набережные Челны² (Республика Татарстан), в г. Королёв³ (Московская область).

² А. С. Пуряев. Организация наукоемкого производства. – Набережные Челны: Набережночелнинский институт (филиал) КФУ, 2020. – URL: [https://aidarp.ru/документы/УМК/Наукоемкое%20производство%20\(материал\).pdf](https://aidarp.ru/документы/УМК/Наукоемкое%20производство%20(материал).pdf).

³ М. С. Абрашкин. Организация и развитие предприятий наукоемкого машиностроения. – Королёв: Технологический университет им. А. А. Леонова, 2019. – URL: <https://ies.unitechmo.ru/files/upload/publications/15317/15317/8f595bfa-38f4c20e517df7e0e36520d9.pdf>.

Реализуемость проекта в промышленности – в лучшем случае это возможности выполнения соответствующего инновационного проекта в срок, без дополнительного «ресурсного вливания» в бюджет проекта, не смотря на возможные инновационные риски. Особенно велики риски в проектах с *импортозамещением*.

Замечание: в особо значимых проектах промышленники, стейкхолдеры и страховые компании планируют своеобразный «парашют» для спасения важного для отрасли или страны проекта в виде особого резерва рефинансирования, т. е. собственно «ресурсное вливание».

Особую значимость в любом проекте имеет раздел «Управление проектным риском» (или раздел риск-менеджмента). Дело в том, что от того, как реализован риск-менеджмент на предприятии, в холдинге или в группе предприятий (консорциуме) по выпуску новой продукции, в значительной мере зависит реализуемость проекта.

Анализ и оценка реализуемости бизнес-проекта выпуска новой продукции выполняется в первую очередь с применением *математических и инструментальных методов экономики*⁴.

Сформулированные в паспорте научной специальности 08.00.13 – «Математические и инструментальные методы экономики» области исследований содержат разные методы, которые позволяют получать результаты с оценкой их достоверности, с анализом уровня значимости. Такие результаты называются *метрологическими* или *чёткими* (англ. *crisp*). К этим областям (*кроме одной*) относятся почти все экономико-математические методы и инструменты специальности 08.00.13, включая все компьютерные расчетные методы моделирования и методы имитационного моделирования.

Известный ученый Лофти Заде [28] отметил, что излишнее стремление к точности стало оказывать действие, сводящее «на нет» теорию управления, – так оно приводит к тому, что исследования сосредотачиваются на тех и только тех проблемах, которые поддаются решению с оценкой точности результатов. Многие классы важных проблем, в которых данные, цели и ограничения являются нечётко определенными (англ. *fuzzy*), остаются недоступными для такого метрологического анализа.

Поэтому оценка параметров проектного риска, а также определение необходимой, но недостающей информации для принятия решений получается с применением *к в а л и м е т р и ч е с к и х* методов.

⁴ О. В. Голосов, И. Н. Дрогобыцкий, Б. И. Герасимов, В. Н. Дякин. Тематический обзор по областям исследований научной специальности ВАК России 08.00.13 – «Математические и инструментальные методы экономики». – URL: <http://window.edu.ru/resource/595/21595>.

Эти методы присутствуют в таких специальностях и областях:

- 08.00.13 – «Математические и инструментальные методы экономики», п. 2.8. Развитие методов и средств аккумуляции знаний о развитии экономической системы и использование искусственного интеллекта при выработке управленческих решений;
- 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации», п. 6. Методы идентификации систем управления на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации;
- 05.13.17 – «Теоретические основы информатики», в научной области п. 8. Исследование и когнитивное моделирование интеллекта, включая моделирование поведения, моделирование рассуждений различных типов, моделирование образного мышления; а также в некоторых других.

Получаемые квалиметрические решения вполне подходят для принятия решений типа «да-нет», «лучше-хуже», однако они должны быть в модельном смысле синхронизированы во времени, в котором происходят, развиваются и трансформируются моделируемые явления и процессы. А время *не может быть нечётким* (т. е. *fuzzy*), т. к. всегда связано с временным масштабом, и даже в модели – в рамках уровня значимости – время *должно быть чётким* (т. е. *crisp*).

Один из возможных и естественных выходов из такой непростой ситуации – это создание гибридной методики моделирования, в которой за всю координацию сложной системы процессов отвечает имитационная модель, т. к. именно такие модели работают «на ты» с любыми масштабами времени, и всегда в чётком режиме, несмотря на зачастую случайный характер событий в моделируемых процессах.

Необходимые для анализа методы нечёткой и/или темпоральной логики, НЕ-факторов, биоинспирированных решений, способов «вылавливания» недостающей информации о рисках с помощью синергетических и лингвистических эффектов, а также другие инструменты *искусственного интеллекта*, целесообразно реализовать в виде модельных функций-агентов, связанных с координирующей их имитационной моделью. Одно из основных назначений такой имитационной модели – *диспетчерское*: активация интеллектуальных агентов в виртуальном времени происходящих реальных событий.

Книга содержит достаточно много примеров, некоторые из них:

- реальные события 50-летней давности в связи с проектом NASA «Аполлон» и экспедициями космонавтов на Луну;
- применение ГК «Росатом» методологий Agile в Финляндии;
- импортозамещение двигателей на кораблях береговой охраны;
- и некоторые другие.

Авторы надеются, что материал книги будет полезен читателю.