

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования

Санкт-Петербургский государственный университет  
Институт «Высшая школа менеджмента»

**МЕТОД РЕАЛЬНЫХ ОПЦИОНОВ  
В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ  
О МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ**

Выпускная квалификационная работа  
студентки 4 курса бакалаврской программы,  
профиль – Финансовый менеджмент

**ТКАЧ Марины Валерьевны**

---

*(подпись)*

Научный руководитель  
к.ф.-м.н., доцент кафедры финансов и учета  
ОКУЛОВ Виталий Леонидович

---

*(подпись)*

Санкт-Петербург  
2017

## **ЗАЯВЛЕНИЕ О САМОСТОЯТЕЛЬНОМ ВЫПОЛНЕНИИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

Я, Ткач Карина Валерьевна, студентка 4 курса направления 080200 «Менеджмент» (профиль подготовки – Финансовый менеджмент), заявляю, что в моей выпускной квалификационной работе на тему «Метод реальных опционов в принятии решений о расширении и модернизации производства», представленной в службу обеспечения программ бакалавриата для последующей передачи в государственную аттестационную комиссию для публичной защиты, не содержится элементов плагиата. Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищённых ранее курсовых и выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Мне известно содержание п. 9.7.1 Правил обучения по основным образовательным программам высшего и среднего профессионального образования в СПбГУ о том, что «ВКР выполняется индивидуально каждым студентом под руководством назначенного ему научного руководителя», и п. 51 Устава федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет» о том, что «студент подлежит отчислению из Санкт-Петербургского университета за представление курсовой или выпускной квалификационной работы, выполненной другим лицом (лицами)».

\_\_\_\_\_ (Подпись студента)

\_\_\_\_\_ (Дата)

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Глава 1. РЕШЕНИЯ О МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ. ....	7
1.1 Модернизация оборудования как инвестиционный проект .....	7
1.2 Основные подходы к модернизации оборудования .....	9
Выводы по главе 1. ....	18
Глава 2. РЕАЛЬНЫЕ ОПЦИОНЫ В ОЦЕНКЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ. ....	19
2.1 Реальные опционы в управленческих решениях .....	19
2.2 Типы реальных опционов и их применение на практике .....	21
2.3 Преимущества и недостатки реальных опционов .....	27
2.4 Методология оценки реальных опционов .....	29
2.4.1 Реальные опционы и финансовые опционы .....	29
2.4.2 Дерево решений и модельное представление будущего в методе динамического программирования. ....	32
2.4.3 Использование метода динамического программирования и принцип Беллмана в оценке реальных опционов .....	36
Выводы по главе 2. ....	37
Глава 3. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ О ЗАМЕНЕ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА РЕАЛЬНЫХ ОПЦИОНОВ. ....	39
3.1 Оценка опциона на расширение применительно к задаче о замене оборудования ...	39
3.2 Применение метода реальных опционов к типовым условным проектам: долгосрочный и краткосрочный проекты .....	40
3.3 Влияние ликвидационной стоимости на решение о замене оборудования в долгосрочном проекте .....	49
Выводы по главе 3. ....	52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	54
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	57

## **ВВЕДЕНИЕ**

Одни из широко распространенных решений в капитальном бюджетировании – это решения о модернизации производства, а именно замене оборудования, ведь они пронизывают экономическую жизнь предприятия и их последствия существенно влияют на успешность функционирования предприятия. Распространенность данных решений создает необходимость для компаний постоянно искать новые и совершенствовать существующие методы оптимизации процесса их принятия. Помимо этого, современные рыночные условия в виде жесткой конкуренции во многих отраслях, технологического прогресса, а также постоянной необходимости снижать издержки для сохранения конкурентоспособности влияют на стремление компании принимать решения с максимальной точностью и эффективностью.

Компании в двадцать первом веке действуют в условиях высокой неопределенности – особенно когда речь идет о нефтегазовой, фармацевтической, аэрокосмической и других инновационных и высокотехнологичных отраслях. При этом они продолжают использовать традиционные методы принятия инвестиционных решений, в том числе и решений о замене оборудования. Эти методы не всегда могут учесть некоторые из перечисленных выше факторов – технологический прогресс, непредсказуемость или высокие колебания денежных потоков по проектам. Один из методов, который появился в научной литературе в семидесятых годах двадцатого века – метод реальных опционов – позволяет менеджерам учитывать возможности принятия управленческих решений, которые создает неопределенность, на протяжении всего проекта. Он может применяться для принятия решения о замене оборудования, однако, сложность финансовых вычислений, связанная с методом, и проблемы с пониманием самой сути реальных опционов останавливает его от получения широкого распространения среди финансовых менеджеров, несмотря на его концептуальные преимущества.

Широко распространенные на практике на данный момент методы принятия решений о замене оборудования (такие как метод чистой приведенной стоимости или метод определения срока экономической жизни оборудования) не отражают растущую сложность среды и не учитывают высокий уровень неопределенности, в которой ведут свою деятельность компании. Некоторые компании вообще не проводят финансовый анализ для принятия решения о замене, производя ее в конце обозначаемого производителем срока эксплуатации оборудования или же в момент, определенный финансовым менеджером на основании его прошлого опыта работы с подобным оборудованием. Но при использовании

только таких критериев для принятия решения фирмы могут упускать существенные возможности, которые создает оптимизация процесса модернизации оборудования. **Управленческая проблема**, которая стоит перед менеджерами компаний – определить момент, в который замена оборудования приносила бы наибольшую выгоду компании.

**Цель** данной работы – на основе метода реальных опционов вычислить пороговые значения для принятия решения о замене оборудования в условиях неопределенности, а также предложить общие рекомендации по оптимальному моменту замены оборудования. При этом стоит отметить, что предоставленные практические рекомендации – это не обязательно точное указание принимать решение о замене в определенный момент, а скорее индикатор того, что менеджеру стоит рассмотреть необходимость замены оборудования, что это решение может принести компании наибольшие выгоды именно в этот определенный момент. Стоит и проанализировать необходимость и экономическую целесообразность модернизации традиционными методами, и принимать окончательное решение исходя из результатов оценки по нескольким методам.

Для достижения цели был поставлен ряд **задач**:

- провести анализ теоретических методов и практических рекомендаций по принятию решений о замене оборудования в существующей литературе;
- проанализировать возможность использования реальных опционов в качестве инструмента управления решениями в условиях неопределенности;
- адаптировать метод динамического программирования, используемый при оценке ценности реальных опционов, непосредственно к задаче о замене оборудования;
- провести расчеты для определения пороговых значений выручки, при которых выгодно было бы производить замену оборудования, для ряда условных проектов с использованием динамического программирования;
- проанализировать результаты расчетов, полученные для условных проектов, и разработать общие рекомендации для принятия решения о замене оборудования в условиях неопределенности.

Данная работа структурирована следующим образом: в первой главе будут рассмотрены существующие критерии для принятия решения о замене оборудования, их преимущества и недостатки. Во второй главе будет представлено более подробное описание одного из методов – метода реальных опционов, оцениваемых с использованием динамического программирования. В третьей главе будут представлены практические выводы, полученные в результате анализа нескольких условных проектов по замене

оборудования в условиях неопределенности. В ней также будет проанализировано влияние на решение о замене различных характеристик реального опциона – прогнозируемой ценности денежных платежей по проекту, их волатильности, периода до исчерпания управленческой возможности («времени исполнения опциона»).

**Ожидаемым результатом** работы является адаптированный инструментарий для принятия решений о замене оборудования (модернизации оборудования) на основе метода реальных опционов с использованием динамического программирования.

Данное исследование позволит расширить применимость концепции реальных опционов к реальным бизнес-задачам за счет представления упрощенного критерия принятия решения о замене оборудования компаниям, действующим в условиях высокой неопределенности и риска. В свою очередь для компаний оптимизация момента замены оборудования с использованием данного критерия может потенциально увеличить ценность проектов, в которых рассматриваемый реальный опцион применим.

## ГЛАВА 1. РЕШЕНИЯ О МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ.

В любой компании большую роль играет инвестиционная деятельность: если она целесообразна и разумна, то компания имеет возможность за счет нее добиться более хороших финансовых результатов. Однако, если она не целенаправленна и плохо планируема, то эта деятельность может отрицательно влиять как на финансовое состояние компании, так и на ее репутацию и основную деятельность.

Почему же в первом параграфе речь идет об инвестиционных решениях? Ведь на первый взгляд процесс модернизации оборудования не кажется «большим инвестиционным проектом», для которого стоит традиционно рассчитать NPV и на основе этого критерия принять или отклонить проект. Однако, любое решение о модернизации влечет за собой денежные вложения в новое оборудование, которые возможно стоит, а возможно и не стоит делать с финансовой точки зрения. Любое вложение денежных средств в реализацию какого-либо проекта несет в себе определенные цели, которые могут быть самыми различными, но одной из них как раз таки является модернизация производства. Также подразумевается, что новое оборудование будет приносить в дальнейшем денежные потоки.

На российском как и на других рынках реализация инвестиционных проектов играет огромную роль как в краткосрочном, так и долгосрочном успехе бизнеса. Определим инвестиционный проект как «процесс осуществления комплекса взаимосвязанных действий, направленных на достижение определенных финансовых, экономических, социальных, инфраструктурных и в некоторых случаях политических результатов»<sup>1</sup>.

### 1.1 Модернизация оборудования как инвестиционный проект

В моей работе речь пойдет о конкретном типе инвестиционных проектов – тех, которые связаны с модернизацией оборудования. Подробнее определим процесс модернизации.

В общем смысле «модернизация» – это «изменение, усовершенствование, отвечающее современным требованиям, вкусам»<sup>2</sup>. В экономическом словаре «модернизация оборудования» определяется как «усовершенствование, обновление

---

<sup>1</sup> Высоцкая Т. Р. Метод реальных опционов в оценке стоимости инвестиционных проектов [Электронный ресурс] / Т. Р. Высоцкая // Финансовый менеджмент. — 2006. — № 2. — Режим доступа: <http://www.finman.ru/articles/2006/2/4247.html>

<sup>2</sup> Большой энциклопедический словарь [Электронный ресурс] / Под ред. А. М. Прохорова. — М.: Справочно-информационный интернет-портал Академик, 2000. — Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc3p/200718/>

оборудования, машин, технологических процессов в целях повышения производительности труда и улучшения их экономических показателей»<sup>3</sup>. То есть данное определение несет в себе смысл улучшения, изменений, влекущих положительный результат и делающее нечто более современным.

Все приведенные выше модернизации могут иметь внутри бизнеса более широкую или узкую трактовку. В частности, задача модернизации производства часто сводится к более узкой задаче, которая широко исследуется зарубежными авторами – задаче о замене оборудования. Задача о замене оборудования заключается в том, чтобы решить, стоит ли заменять оборудование на момент постановки задачи, и если нет, выбрать оптимальный момент для замены оборудования.

Как верно отмечают Брейли и Майерс [Brealey, Myers, 2011] редко бывает так, что срок службы оборудования фиксирован. В реальной жизни вопрос замены оборудования решается под влиянием экономических условий, а не фактического полного физического износа. То есть решение о замене оборудования в определенный момент принимается не заранее, в начале проекта, а по ходу функционирования проекта.

Есть множество причин по которым стоит производить замену оборудования на производстве:

Во-первых, на рынке могут существовать машины, могут выполнять работу с более высокой производительностью по сравнению с машинами, которые эксплуатируются сейчас, и, соответственно, могут приносить более высокие денежные потоки.

Во-вторых, сама машина может быть уже изношенной до такой степени, что затраты на ее содержание превышают ту прибыль, которую она генерирует. Затраты могут включать как те, что непосредственно связаны с производством продукта, так и затраты на ремонт и поддержание машины в рабочем состоянии.

В-третьих, сама потребность организации в оборудовании и тип потребности могут изменяться в зависимости от деятельности компании.

Все вышеуказанные причины могут создавать необходимость в производстве замены оборудования на производстве, но, зачастую, бывает сложно сходу определить нужна ли замена оборудования и когда ее следует производить, чтобы извлечь максимальную выгоду из данного инвестиционного проекта. Еще раз отмечу, что «замена оборудования» – это инвестиционный проект, и потому стоит исследовать его необходимость и эффективность с помощью методов, специфических для оценки

---

<sup>3</sup> Зайцев Н. Л. Краткий словарь экономиста [Электронный ресурс] / Н. Л. Зайцев. — М.: Справочно-информационный интернет-портал Академик, 2007. — Режим доступа: <http://economist.academic.ru/442>

инвестиционных проектов. В следующем параграфе мной будут подробно разобраны методы, которые используются для решения задачи о замене оборудования.

## **1.2 Основные подходы к модернизации оборудования**

Проблема модернизации (замены) оборудования и нахождения оптимального момента модернизации – одна из важнейших проблем в инженерной экономике. Она встречается практически во всех отраслях производственной бизнес-деятельности – в транспорте, сельском хозяйстве, исследованиях и разработках. Суть проблемы заключается в том, что в каждом случае нужно суметь определить в какой конкретно момент времени замена оборудования – покупка нового – становится выгоднее, чем продолжение эксплуатации старого.

До определенного момента времени фундаментальным решением данной проблемы служило определение срока экономической жизни оборудования, который можно рассчитать с помощью метода дисконтированных денежных потоков. Однако, критики подхода замечали, что данный метод никак не учитывает факторы неопределенности, которые могут существенно влиять на решение о замене оборудования. Например, в задаче о замене оборудования большую роль играет технологический прогресс – появление новых, более совершенных машин или же дополнительных функций у старых. Технологический прогресс несет себе неопределенность, которую срок экономической жизни оборудования не учитывает. В связи с этим ограничением подхода, основанного на сроке экономической жизни оборудования, стали возникать и другие, более сложные методы, которые учитывали бы фактор неопределенности и риска при принятии решения.

Переходя к конкретным подходам, я рассмотрю несколько самых основных из них, отмечая логику, преимущества и недостатки каждого из них, а также существующие ограничения при выборе одного из подходов.

### **1) Критерий, основанный на сроке экономической жизни оборудования.**

Данный метод рассматривается в работах по оптимизации замены оборудования Вейссмана [Weissmann et al, 2003], Гиллеспи и Хайда [Gillespie, Hyde, 2004], а также Хартмана [Hartman, 2005] и других авторов. При использовании данного подхода основным предположением является то, что на бесконечном горизонте не будет происходить никаких технологических изменений, соответственно, по сути оборудование может использоваться бесконечно долго. Конечно, в двадцать первом веке трудно представить, чтобы это предположение выполнялось, ведь в большинстве индустрий появляются новое, модернизированное оборудование для ведения бизнеса. В связи с вышеуказанным предположением о неизменности технологий некоторые исследователи вводят

дополнительное предположение о том, что в результате затраты на приобретение нового, аналогичного оборудования для замены старого будут равны затратам, которые компания осуществила в прошлом, при покупке того оборудования, которое сейчас планирует заменить.

Если ответственный за принятие решения о модернизации принимает предположения о стационарности технологий и затрат на приобретение нового оборудования, то в таких условиях решением проблемы нахождения оптимального момента модернизации является определение срока экономической жизни оборудования. Под сроком экономической жизни подразумевается такой срок, который минимизирует эквивалентные годовые затраты – ежегодную стоимость владения и использования актива на протяжении всей его жизни.<sup>4</sup> По истечении срока экономической жизни оборудование заменяется на новое. При выборе данного критерия перед менеджером стоит именно задача минимизации, поскольку анализ основан не на денежных поступлениях во время срока службы оборудования, а на затратах. Однако стоит отметить, что в течение срока службы оборудования автоматически подразумевается, что владение объектом способно приносить прибыль, и все затраты на улучшение объекта, если таковые имеются, покрываются доходами.

Подробнее рассмотрим технику расчета и состав эквивалентных годовых затрат на основе книги Гранта «Принципы инженерной экономики» [Grant et al, 1990]. Первая их компонента – это затраты на приобретение оборудования или инвестиции. Вторая – операционные затраты, включающие поддержание его работы и ремонт, если он необходим. Третья часть, которая вычитается из суммы первых двух – ликвидационная стоимость оборудования. При этом разница между затратами на приобретение оборудования и ликвидационной стоимостью оборудования является капитальными затратами. Чтобы рассчитать эквивалентные годовые расходы при использовании объекта в течение  $n$  периодов, издержки за все периоды должны быть сконвертированы в  $n$  эквивалентных годовых платежей, используя выбранную ставку дисконтирования  $r$ . Для этого используется формула (1).

$$EAC = \frac{NPV}{A_{t,r}} \quad (1)$$

В формуле (1):

- EAC – эквивалентные годовые издержки
- NPV – чистая приведенная стоимость проекта

---

<sup>4</sup> Grant, E.L. Principles of Engineering Economy / E. L. Grant, W. G. Ireson and R. S. Leavenworth. — John Wiley and Sons, 1990. – P. 103

- $A_{t,r}$  рассчитывается по формуле (2)
- $r$  – ставка дисконтирования
- $t$  – период

$$A_{t,r} = \frac{1 - \frac{1}{(1+r)^t}}{r} \quad (2)$$

Далее ведется расчет эквивалентных годовых затрат, меняя срок службы оборудования, и эти значения записываются. Из всех значений выбирается минимальное, и срок службы, соответствующий данному минимальному значению эквивалентных годовых затрат, является сроком экономической жизни оборудования. Таким образом, оборудование должно заменяться каждый раз по истечении этого срока, однако, еще раз стоит подчеркнуть, что при этом предполагается стационарность технологий и затрат на приобретение нового оборудования (такого же как предыдущее), и неопределенность денежных потоков не учитывается.

Анализируя элементы структуры эквивалентных годовых расходов, стоит отметить, что со временем операционные затраты (на поддержание работы и ремонт оборудования) растут, а ликвидационная стоимость оборудования снижается. Поэтому область оптимальной замены оборудования лежит не в начале или в конце периода предполагаемого использования оборудования  $T$ , а где-то посередине (рис. 1). Оптимальное решение по сути – это «компромисс», трейд-офф между достаточно высокой стоимостью замены оборудования и растущими со временем операционными издержками на оборудование.

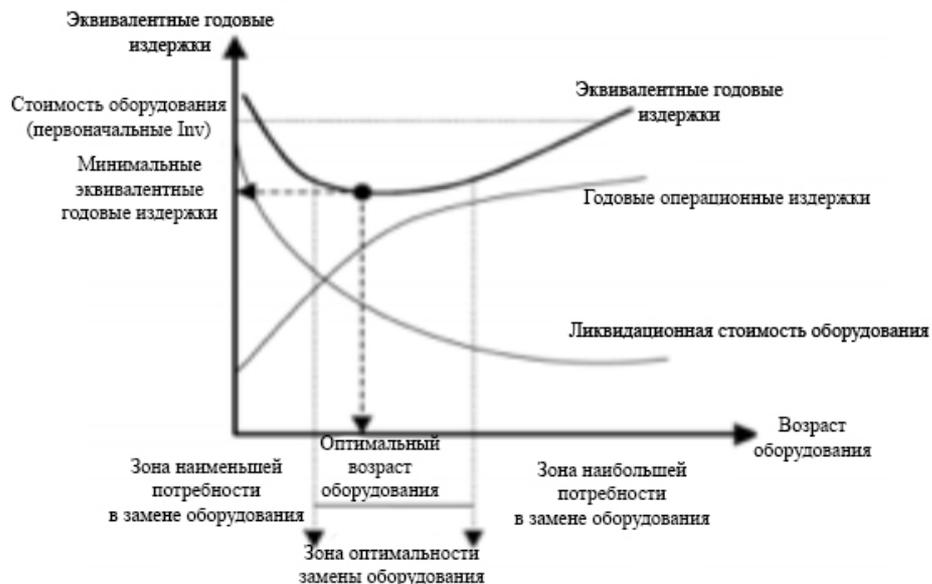


Рис.1 Зависимость эквивалентных годовых издержек и их составляющих от времени

Источник: Grant, E.L. Principles of Engineering Economy / E. L. Grant, W. G. Ireson and R. S. Leavenworth. — John Wiley and Sons, 1990.

## **2) Критерий, основанный на экспертной оценке (в том числе опыте менеджера, принимающего решение).**

Данный способ не предполагает каких-либо сложных расчетов для определения момента, когда нужно заменить старое оборудование на новое. Менеджером могут устанавливаться пороговые значения, когда оборудование необходимо проверить (чаще всего пороговые значения служат индикатором возможной необходимости замены, а не окончательным определенным моментом для замены) – например, когда по бухгалтерским стандартам оборудование будет полностью амортизировано и его остаточная стоимость станет равна 0. Другие критерии, которые могут приниматься во внимание – это затраты на ремонт (превышают ли они стоимость оборудования или все еще находятся ниже данного значения), а также износ оборудования (здесь в качестве показателей может быть, например, количество продуктов, произведенных на конвейере, или количество километров, пройденных автомобилем).

Таким образом, компании создают внутреннее правило, на основании которого принимается решение о необходимости замены, или же опираются на опыт того, кто принимает это решение. Данный подход может работать очень хорошо, в особенности для небольших компаний, где менеджер, ответственный за оборудование, имеет возможность постоянно следить за всем оборудованием, а также для компаний, у которых нет свободных средств для проведения анализа необходимости замены. Однако, в этом случае решение и его эффективность напрямую зависят от опыта и правильности суждений менеджера, и их эффективность зачастую остается непроанализированной (не задается вопрос «а можно ли было сделать лучше»).

## **3) Критерий, основанный на детерминированном динамическом программировании.**

Первые два подхода, о которых было написано, имеют свои ограничения. Так критерий, основанный на определении экономической жизни оборудования, упускает из внимания возможное технологическое развитие в отрасли – появление новых, более современных машин (оборудования). Также и стоимость оборудования в будущем не меняется. По сути в первом подходе неопределенность устраняется «вручную». Помимо этого нигде не учитывается неопределенность денежных платежей, кроме как в ставке дисконтирования.

Однако, не всегда компании могут сказать, что на бесконечном горизонте им будет требоваться именно та машина, которую они используют. На практике сама компания может заранее знать на какой период ей пригодится тип машины, которую она использует, например, на 10 лет. И тогда задача о замене оборудования несколько изменится – нужно

будет принять решение о том в какой момент в течение этих 10 лет нужно заменить машину, если ее вообще нужно менять (возможно, замена оборудования будет являться излишней и иметь отрицательный финансовый результат). Помимо этого, знание временного горизонта, на котором планируется эксплуатировать машину, может влиять на ликвидационную стоимость оборудования, а также затраты на его эксплуатацию и ремонт. В таких случаях более подходящим подходом к решению задачи о замене оборудования является динамическое программирование.

Динамическое программирование подразумевает, что оборудование используется в течение нескольких периодов – «шагов» – и на каждом шаге можно принять решение о том, стоит ли заменить оборудование или же продолжить его эксплуатировать. И решение о замене, и решение об эксплуатации несут в себе определенные затраты и доходы: в случае замены это затраты на покупку нового оборудования и доходы от ликвидации старого, а в случае продолжения эксплуатации – затраты на эксплуатацию (или же возможный ремонт) оборудования. При этом также положительный денежный поток генерируется от эксплуатации либо старого, либо нового оборудования, вне зависимости от решения.

В данном пункте мной будет рассмотрено детерминированное динамическое программирование и его использование для решения задачи о замене оборудования. Данный подход широко исследовался и исследуется зарубежными авторами в последние несколько десятилетий, поскольку позволяет построить более гибкий подход к анализу процесса замены оборудования. Динамическое программирование и его применение к задаче о замене оборудования было центром исследования таких авторов как Вагнер [Wagner, 1975], Вадделл [Waddell, 1983], Беллман [Bellman, 1995], Хартман [Hartman, 2005]. В своих работах Беллман и Хартман разработали два типовых метода динамического программирования, с помощью которых может быть решена в том числе задача о замене оборудования.

Метод динамического программирования, предложенный Беллманом [Bellman, 1995], заключался в следующем: возраст актива являлся «состоянием» в модели, а период (обычно хозяйственный год) – «шагом», этапом в модели, и на каждом шаге, то есть по окончании года использования оборудования, принималось решение о том заменить оборудование или продолжать его использовать. Проиллюстрировать метод Беллмана можно с помощью изображения сети. На рисунке 2 ниже  $t$  – это период (шаг), в каждом узле указывается возраст актива (состояние) в период  $t$  в зависимости от решения, принятого в конце предыдущего периода ( $t-1$ ) – заменить (R) или сохранить (K) машину. Например в период 1 возраст актива (состояние) будет 2 (года), если в конце 0 периода принято решение сохранить актив, и 1 год, если в конце 0 периода было принято решение

заменить актив (поскольку по сути в начале периода 1 покупается новая машина, и к концу периода 1 возраст этой машины – 1 год).

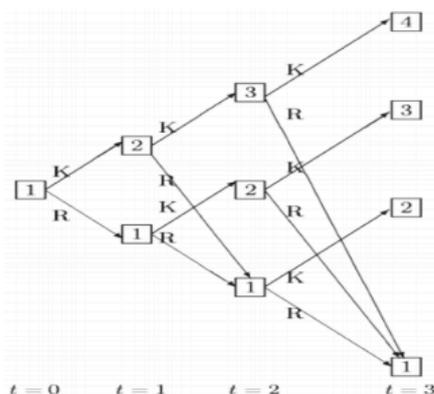


Рис.2 Графическое представление подхода Беллмана к задаче о замене оборудования

Источник: Bellman, R. E. Equipment Replacement Policy / R. E. Bellman // Journal of the Society for the Industrial Applications of Mathematics. — 1995. — Vol. 3. — P. 133–136.

В работах Вагнера [Wagner, 1975] рассматривается альтернативный подход к динамическому программированию. Управление в модели Вагнера заключается не в принятии решения «заменить или сохранить», а в принятии решения о том, на протяжении сколько периодов стоит сохранять и не заменять актив. Состоянием в системе Вагнера является не возраст актива, а период  $t$ ; решением при этом является число периодов, в течение которых стоит сохранять актив, если рассматривается ситуация в периоде  $t$ . Максимальное число периодов, в течение которых можно сохранять актив, определяется максимально возможным сроком работы оборудования (он может быть установлен либо производителем, либо менеджером или другим экспертом).

Иллюстрация в виде сети подхода к динамическому программированию Вагнера представлена на рисунке 3. В данном случае в сети может быть только одно состояние в один период времени, и для каждого состояния существует  $N$  решений, если  $N$  – это максимальное число периодов, в течение которых можно сохранять актив. Решение  $K_n$  обозначает, что оборудование сохраняется в течение  $n$  периодов и после этого производится замена.

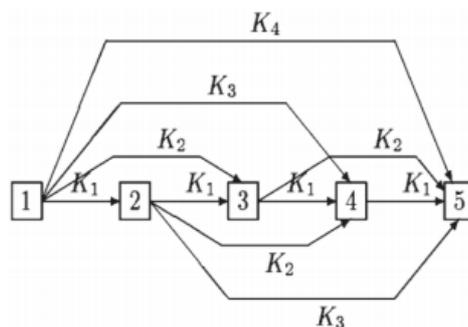


Рис.3 Графическое представление подхода Беллмана к задаче о замене оборудования

Источник: Wagner, H. M. Principles of Operations Research / H. M. Wagner — 1st ed. — Prentice-Hall, 1975.

Хартман и Мерфи [Hartman, 2005; Hartman and Murphy, 2006] в своих исследованиях отмечали, что подходы к динамическому программированию Беллмана и Вагнера по сути эквивалентны в том плане, что могут быть трансформированы друг в друга. Например, если в подходе Вагнера в периоде 1 принимается решение сохранять актив на протяжении трех следующих периодов, после чего последует замена оборудования, то в подходе Беллмана это было бы эквивалентно четырем последовательным решениям: сохранить в периоде 1, сохранить в периоде 2, сохранить в периоде 3, и заменить после этого.

В целом данный метод среди исследователей отмечается как более совершенный с точки зрения учета большего числа факторов по сравнению со стандартным дисконтированием денежных потоков или же методом эквивалентных годовых затрат.

Пример использования и эффекта применения данного критерия на практике в реальной жизни приводит в своей статье Вадделл [Waddell, 1983] – так в восьмидесятых годах компания Филлипс Петролеум использовала метод динамического программирования в политике по модернизации своего парка тракторов и грузовиков. Для масштаба в 5300 машин (тракторов и грузовиков) использование данного метода позволяло сокращать затраты на 90000 долларов ежегодно.

#### **4) Критерий, основанный на стохастическом (вероятностном) динамическом программировании.**

Метод стохастического динамического программирования не получил столь же большого распространения, особенно на практике, что и метод детерминированного динамического программирования. В частности исследователи, которые писали о данном методе отмечали то, что этот метод является более специфическим – применимым к конкретным, а не более широким проблемам.

Одним из первых, кто написал о методе стохастического программирования был Мейер [Meuer, 1971, p. 750–758]. Главное его отличие от детерминированного динамического программирования заключается в том, что он позволяет решать более сложные задачи о замене оборудования путем добавления в модель дополнительных переменных, в большей степени отражающих неопределенность.

Много работ стохастическому динамическому программированию посвятил Хартман. Он выделял несколько основных сложностей, дополнений, которые могут возникнуть в простой, стандартной задаче о замене оборудования.

- Налоги [Hartman, 2001]
- Неуверенность в том, как часто будет использовано оборудование и будет ли оно использовано вообще, так как зачастую использование оборудования и денежные потоки генерируемые этим зависят от экономической обстановки и условий операционной деятельности [Hartman, 2001]
- Неопределенность технологического прогресса – появится ли новое, более совершенное оборудование на анализируемом временном промежутке [Horr and Nair, 1991; Bean et al, 1994]
- Прочие осложнения, связанные с неопределенностью периода использования оборудования, срока его службы и др.

##### **5) Критерий, основанный на методе чистой приведенной стоимости (NPV).**

Метод чистой приведенной стоимости или NPV (от англ. Net Present Value) – это, пожалуй, самый распространенный способ, используемый при бюджетировании капиталовложений (в том числе капиталовложений в замену оборудования) для анализа эффективности этих капиталовложений и принятия решения о их финансовой целесообразности. Данный метод подразумевает, что прогнозируется денежные потоки по проекту, а затем они дисконтируются к дате анализа с помощью выбранной ставки дисконтирования, отражающей минимальную требуемую ставку доходности по проекту.

С помощью формулы это может быть отражено следующим образом:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{A_t}{(1+i)^t} - C_0 \quad (3)$$

В данной формуле:

- NPV – чистая приведенная стоимость денежных потоков по проекту
- $A_t$  – прогнозируемый денежный поток, который генерирует проект в год  $t$
- $i$  – выбранная ставка дисконтирования для проекта
- $n$  – число лет, в течение которых проект будет генерировать денежные потоки

- $C_0$  – инвестиции, осуществляемые в начале проекта

Если предполагаются какие-либо дополнительные инвестиции в течение срока осуществления проекта, то формула модифицируется в следующую:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{A_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (4)$$

Здесь  $C_t$  – это инвестиции, осуществляемые в проект в год  $t$ .

Критерий принятия решения предельно прост: если  $NPV > 0$ , то проект принимают, так как это значит, что он генерирует большую доходность, нежели минимальная требуемая (отражается установленной ставкой  $i$ ). Если  $NPV < 0$ , то проект отклоняется.

Простота применения метода и понятность принимаемых на его основе решений сделала метод NPV одним из основных критериев принятия решений об инвестировании. Однако, недостатки метода в последнее время стали все больше отмечаться в научной литературе, и тем не менее практики не стремятся отходить от метода NPV к более совершенным, но более сложным методам оценки. Недостатки согласно статье Harvard Business Review<sup>5</sup>, основанной на исследованиях по тематике реальных опционов, заключаются в следующем: во-первых, метод чистой приведенной стоимости предполагает, что инвестиционное решение принимается по принципу “сейчас или никогда” – то есть если компания отклоняет проект, то позже она уже не может его принять. Однако, в реальной жизни это не совсем так, ведь ситуация на рынке может сделать тот же проект выгодным уже через месяц или год. По сути метод NPV сравнивает решение инвестировать сейчас или не инвестировать никогда, хотя логичнее было бы сравнивать решения инвестировать сейчас, через год или другой период или не инвестировать. Метод NPV игнорирует реальные опционы, присущие проекту [Brealey, Myers, Allen, 2011].

Помимо этого, выбор ставки дисконтирования играет существенную роль в получаемой ценности проекта. Неоправданный выбор слишком высокой ставки может сделать действительно выгодный проект нерентабельным согласно методу NPV, а выбор слишком низкой ставки – завязать финансовую отдачу от проекта. Трудно также абсолютно точно оценить денежные потоки, которые проект будет генерировать в течение нескольких будущих лет, ведь компании действуют в условиях неопределенности, а оценка денежных потоков согласно методу NPV эту неопределенность не учитывает.

---

<sup>5</sup> Dixit, A. K. The Options Approach to Capital Investment [Электронный ресурс] / A. K. Dixit and R. S. Pindyck // Harvard Business Review. — 1995. — Режим доступа: <https://hbr.org/1995/05/the-options-approach-to-capital-investment/>

Конечно, частично волатильность денежных потоков учитывается в выбираемой ставке дисконтирования, но проблема выбора ставки дисконтирования, описанная выше никуда не исчезает.

Именно поэтому теоретики, начиная с восьмидесятых годов двадцатого века стали уделять больше внимания анализу более концептуально совершенных методов – таких как метод реальных опционов, о котором подробно речь пойдет в следующей главе.

### **Выводы по главе 1.**

В первой главе мной была определена и рассмотрена задача о замене оборудования как основная типовая задача в проектах по модернизации производства, а также освещены различные критерии принятия решений о замене оборудования. В классической литературе по бюджетированию капиталовложений данная задача рассматривается как инвестиционный проект, и, соответственно, к ней могут применяться методы оценки, традиционно применяющиеся к инвестиционным проектам. В числе них метод чистой приведенной стоимости (NPV), метод минимизации эквивалентных годовых затрат, а также и метод экспертной оценки. Данные методы используются на практике большинством компаний ввиду понятности данных методов. Однако для компаний, принимающих решения в условиях неопределенности, эти методы не всегда позволяют в полной мере оценить выгоды от замены оборудования и могут создавать упущенные возможности для них. В частности сложность прогнозирования денежных потоков в высокоинновационных индустриях ограничивает возможности применения метода NPV. В связи с тем, что все больше компаний оперируют в условиях растущей неопределенности среды, с конца прошлого века теоретики начали разрабатывать другие инструменты для принятия инвестиционных решений, в том числе решений о замене оборудования.

Сравнительно более новый и сложный метод, применяющийся для анализа решений о замене оборудования – это метод реальных опционов с использованием динамического программирования. Этот метод позволяет учитывать дополнительные выгоды от замены оборудования, поскольку он отражает управленческую гибкость в принятии решений о замене – возможность заменить оборудование в любой момент на протяжении действия проекта, если это экономически обосновано. Однако, сложность вычислений создает ограничения для его применения на практике, но его преимущества для проектов с высоким уровнем неопределенности нельзя игнорировать. В следующей главе метод реальных опционов с использованием динамического программирования будет рассмотрен более подробно, с детальным разбором его преимуществ и недостатков, а также методологии оценки.

## **ГЛАВА 2. РЕАЛЬНЫЕ ОПЦИОНЫ В ОЦЕНКЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ.**

Как уже говорилось в первой главе, принятие решения о замене оборудования осложняется высоким уровнем неопределенности среды, в которой принимается решение. Так сложности прогнозирования будущих денежных потоков и их волатильность делают менее привлекательными такие методы оценки подобных проектов как чистая приведенная стоимость в условиях высокой неопределенности среды. Анализируя выгодность и необходимость замены оборудования методом чистой приведенной стоимости менеджер по сути исходит из предпосылки, что в будущем денежные потоки от использования нового оборудования не будут сильно отличаться от прогнозных значений.

Однако, нам хорошо известно, что зачастую прогнозы в силу экономических и других факторов не сбываются, и реальные денежные потоки от замены оборудования могут быть выше или ниже оценок на момент принятия решения. Например, значительное улучшение экономической ситуации может повысить денежные потоки до такой степени (по сравнению с прогнозом), что проект, который мы отвергли ранее по критерию NPV, станет выгодным. Брейли и Майерс в учебнике «Принципы корпоративных финансов» подчеркивают, что финансовый менеджер в реальной жизни имеет возможность реагировать на изменение событий и менять решение в зависимости от ситуации. Например, если финансовый менеджер видит, что компания показывает результаты выше ожидаемых и денежные потоки растут, то он имеет возможность принять решение о замене оборудования с целью повышения его производительности и снижения эксплуатационных издержек. А если дела у компании идут плохо, то использование даже устаревшего оборудования можно продолжить, так как его замена экономически не может быть оправдана. Подобная гибкость в принятии решений на определенном временном горизонте, когда менеджер может принимать решение в зависимости от поступившей информации, создает для компании специфические управленческие возможности, которые получили название реальных опционов. Далее мной будет более подробно рассмотрена суть реальных опционов, их применение на практике, преимущества и недостатки, а также методология их оценки.

### **2.1 Реальные опционы в управленческих решениях**

Когда речь идет о реальных опционах, обычно под данным термином подразумевается гибкость в принятии решений в условиях неопределенности. Гибкость в данном определении – это возможность изменить, адаптировать изначально принятое управленческое решение в свете появления новой информации, которая была недоступна

ранее. Данная трактовка реальных опционов встречается в работах Тригеоргиса, Ригопоулуса и других авторов [Trigeorgis, 2005; Rigopoulos, 2014]. А.В. Бухвалов представил следующее определение термина «реальный опцион» – возможность менеджера использовать гибкость, встроенную в инвестиционный проект (в более общем смысле – в любые решения компании) [Бухвалов, 2004]. Хотя разные трактовки и встречаются в работах разных авторов, одно качество реальных опционов отмечают все исследователи – это гибкость.

Впервые концепция реальных опционов была представлена Стюартом Майерсом в 1977 году и она была определена в отношении возможности покупки реальных активов. Тогда Майерс впервые сравнил реальные опционы с финансовыми: он высказал идею, согласно которой инвестиционные возможности должны были рассматриваться как колл-опционы на реальные активы [Myers, 1977].

Финансовый опцион сам по себе – это ценная бумага, стоимость которой изменяется вместе с изменением стоимости базового актива, и у обладателя опциона есть право, но не обязательство купить или продать базовый актив по заранее установленной цене в заранее определенное время [Brealey, Myers, Allen, 2011]. Базовым активом могут быть акции, валюты, облигации, а также товары. Реальный опцион схож с финансовым тем, что здесь также есть базовый актив – им здесь служат денежные потоки на определенный проект, и ценность реального опциона зависит от времени/рассматриваемого периода, волатильности денежных потоков, затрат, а также доходов. У обладателя реального опциона также есть право, но не обязательство предпринять какое-то действие по отношению к проекту, который генерирует денежный поток (например, начать или приостановить проект, расширить его и прочее). Право исполнить реальный опцион также ограничено определенным сроком (как и финансовый опцион ограничен сроком контракта), а цена исполнения реального опциона заранее определена (необходимыми вложениями для принятия решения).

Майерс писал, что компании, которые задумываются об осуществлении инвестиционных проектов с высоким уровнем неопределенности должны понимать, что оценка только на основании чистой приведенной стоимости – классического метода оценки – может значительно занижать выгоды от проекта. Менеджеру, принимающему решение, стоит добавлять ценность реального опциона к оцененной чистой приведенной стоимости (NPV) проекта, и уже на основе этой цифры принимать решение о принятии или отклонении проекта.

После Майерса, концепция реальных опционов исследовалась и развивалась в работах по принятию инвестиционных решений в условиях неопределенности многими

авторами. Классическими стали работы Диксита и Пиндайка [Dixit and Pindyck, 1994], Тригеоргиса [Trigeorgis, 1996], и данные из их исследований стали опорой для написания мною теоретической части данной работы.

Постепенно реальные опционы стали использоваться большими корпорациями как один из методов оценки инвестиционных проектов, что мотивировало теоретиков продолжать исследования в этой области. Теоретики подчеркивали преимущества метода реальных опционов по сравнению с методом дисконтированных денежных потоков, а именно большую гибкость и учет неопределенности по сравнению с другими методами. Некоторые даже предполагали, что метод реальных опционов заменит традиционный анализ чистой приведенной стоимости, однако, в то время как теоретические исследования продолжали набирать обороты, применение на практике в дальнейшем распространялось гораздо менее быстрыми темпами в связи со сложностью расчетов и не всем понятной интерпретации реальных опционов.

## **2.2 Типы реальных опционов и их применение на практике**

Согласно работам Тригеоргиса и Диксита и Пиндайка, выделяют шесть типов реальных опционов, однако, назвать этот список исчерпывающим нельзя, поскольку каждый тип можно рассмотреть с нескольких точек зрения и, при достаточном объеме исследований, выделить новый тип. В конце параграфа будет представлена таблица, демонстрирующая, что другие авторы исследований в этой области выделяют немного другие опционы, а некоторые из реальных опционов из категоризации Тригеоргиса объединяют в один тип. Однако, в целом, все авторы говорят об одних и тех же видах управленческих возможностей.

### **1) Реальный опцион на отсрочку проекта (на ожидание).**

Данный опцион подразумевает право, возможность менеджмента ждать и не начинать определенный проект до того момента, когда рыночные условия (например, спрос) станут более ясны или появится другая дополнительная информация. Другими словами, компания может, отложив начало проекта, через некоторое время инвестировать почти ту же сумму, как и подразумевалось изначально.

В реальной жизни компания может столкнуться с тем, что конкуренты могут опередить ее и, например, выйти на рынок первыми, пока компания выбирает ждать. В данном случае вряд ли можно говорить о том, что компания имеет опцион на ожидание, поскольку в высоко конкурентной среде отсрочка проектов может привести к разрушению ценности компании из-за действий конкурентов.

## **2) Реальный опцион на поэтапное развитие проекта.**

Данный опцион имеет сходство с первым с той точки зрения, что у менеджера есть возможность запускать не весь проект сразу, а разделить его на несколько этапов (стадий), на каждой из которой менеджер может проанализировать текущую ситуацию на рынке. Соответственно, получив информацию, он может принять решение либо продолжить развитие проекта дальше – перейти на новый этап, либо прекратить на том этапе, на котором находится проект.

Классическим примером может послужить запуск инновационного девайса: на первой стадии создается прототип, затем – базовый продукт, который попадает на рынок в ограниченном объеме. Третьим этапом осуществляется полномасштабный запуск конечного продукта на рынок. На любом из этих этапов у менеджеров компании есть право прекратить проект, если поступившая новая информация дает для этого финансовые основания.

## **3) Опцион на изменение операционного масштаба (опцион на расширение/сокращение).**

Опцион на изменение масштаба подразумевает возможность изменить как размер, так и длительность проекта в зависимости от рыночных условий и других факторов на момент принятия решения. Таким образом, менеджер может принять решение, например, выйти на новые географические рынки, если проект показывает высокую рентабельность или превосходит ожидания на его счет. Или же наоборот компания может уйти с каких-либо рынков, если прогнозы по показателям на данных рынках оказались выше реальных показателей.

С другой точки зрения опцион на изменение операционного масштаба – это право осуществления дополнительных инвестиций или сокращения их текущего уровня.

В учебнике Брейли, Майерса и Аллена [Brealey, Myers, Allen, 2011] приводится пример опциона на расширение для компании FedEx – одной из крупнейших логистических компаний мира, основными услугами которой являются почтовые и курьерские услуги. В 2009 году FedEx заключила контракт с компанией Boeing на поставку пятнадцати грузовых самолетов на временном промежутке с 2009 по 2011. При этом, понимая, что если бизнес продолжит расти, компании FedEx потребуются дополнительные самолеты, FedEx приобрел право, опцион, приобрести еще пятнадцать самолетов по установленной цене. Это не был твердый заказ, а именно возможность приобрести эти грузовые самолеты, что создавало для FedEx управленческие возможности.

Другими, более абстрактными примерами того, когда инвестиционные проекты содержат в себе опционы на изменение операционного масштаба могут быть следующие:

- Приобретение фабрики с достаточным пространством, чтобы поместить несколько производственных линий, даже если изначально в проекте планируется только одна линия.
- Запуск пилотной программы, которая подразумевает возможность расширить проект, если реакция на рынке будет положительная.

#### 4) **Опцион на остановку (на прекращение проекта).**

В этом случае у менеджера есть возможность полностью остановить проект, если условия работы на рынке значительно ухудшились или же компания не оправдывает ожиданий и долгосрочных перспектив у проекта нет.

Остановка проекта – это такое же управленческое решение как начало проекта в определенный момент или же расширение масштабов. Проект не всегда продолжает жить до того, как активы полностью устареют, или же закончится ранее установленный срок действия проекта. Как только предприятие перестает быть прибыльным, у менеджера есть возможность прекратить проект, другими словами, существует опцион на остановку проекта.

#### 5) **Опцион на переключение (опцион на гибкость).**

Опцион на переключение подразумевает право выбора среди нескольких альтернатив на определенном временном промежутке и возможность изменения выбора (переключения) при поступлении новой информации. При этом под альтернативами можно понимать различные переменные, например, тип производимого продукта, место производства и другие переменные, которые могут быть оптимизированы.

#### 6) **Опцион на рост (сложный опцион).**

Опцион на рост в трактовке Тригеоргиса часто путают с опционом на поэтапное развитие проекта. В то время как опцион на поэтапное развитие проекта связан с возможностями по одному конкретному проекту, поделенному на фазы, опцион на рост связан с несколькими связанными между собой проектами. У компании есть возможность посмотреть какую отдачу она получает от первого проекта, и на основании этого принять решение о втором, связанном с первым проектом (начинать его, ждать, или вообще не стоит начинать).

Например, компания выпускает первую модель фотоаппарата, и у нее есть возможность в будущем выпустить вторую, более совершенную модель. При этом если первая модель не будет успешна на рынке, компания может принять решение не выпускать вторую (не запускать второй проект).

Ниже в таблице представлено, какие типы реальных опционов выделяют другие авторы исследований на тему реальных опционов в оценке инвестиционных проектов. По

сути все они так или иначе могут быть сведены к типологии, выделенной Тригеоргисом и представленной мной выше.

Таблица 1

**Типы реальных опционов, выделяемые разными авторами в сравнении с типологией Тригеоргиса**

<b>Тригеоргис [Trigeorgis, 1996]</b>	<b>1. Опцион на отсрочку проекта</b>	<b>2. Опцион на поэтапное развитие проекта</b>	<b>3. Опцион на изменение операционного масштаба</b>
<b>Брейли, Майерс [Brealey, Myers, 1984]</b>	Опцион на обучение, на ожидание	Опцион на расширение	Два разных опциона: опцион на расширение и опцион на прекращение проекта
<b>Де Нофвиль [de Neufville, 2003]</b>	Опцион на ожидание инвестирования	Комбинация опционов	Четыре разных опциона: опцион на расширение, на сокращение производства, на временное закрытие производства, на возобновление операций
<b>Коупленд [Copeland et al., 2005]</b>	Опцион на отсрочку	Сложный опцион	Опцион на расширение и на сокращение производства
<b>Эмрам, Кулатилака [Amram, Kulatilaka, 1999]</b>	Опцион на ожидание инвестирования	Опцион на обучение	Опцион на обучение
<b>Тригеоргис [Trigeorgis, 1996]</b>	<b>4. Опцион на остановку</b>	<b>5. Опцион на переключение</b>	<b>6. Опцион на рост</b>
<b>Брейли, Майерс [Brealey, Myers, 1984]</b>	Опцион на прекращение проекта	Опцион на гибкость	Опцион на расширение
<b>Де Нофвиль [de Neufville, 2003]</b>	Опцион на прекращение проекта	Опцион на выбор между типами производства	Комбинация опционов – составной опцион (не выделяется как отдельный)
<b>Коупленд [Copeland et al., 2005]</b>	Опцион на остановку	Не упоминается в работе автора	Опцион на расширение
<b>Эмрам, Кулатилака [Amram, Kulatilaka, 1999]</b>	Опцион на выход из проекта	Опцион на гибкость	Опцион на рост, на обучение

Таблица 1 демонстрирует, что среди авторов пока не существует единого терминологического аппарата, однако, они все выделяют ряд схожих управленческих возможностей, которые ассоциируются с соответствующим типом реального опциона.

Таблица 2

**Соотношение типа реального опциона с типом финансового опциона**

Название опциона	Тип опциона
Опцион на отсрочку проекта	Колл
Опцион на поэтапное развитие проекта	Колл
Опцион на изменение операционного масштаба	Колл (расширение) / Пут (сокращение масштаба)
Опцион на остановку	Пут
Опцион на переключение	Колл / пут
Опцион на рост	Колл

Несмотря на разнообразие типов реальных опционов, не всем компаниям целесообразно применять данный метод для оценки инвестиционных проектов, ведь затраты на сложные расчеты и построение моделей будущего могут быть несоизмеримы с выгодами, которые компания может получить. Например, если в отрасли все денежные потоки достаточно стабильны, и в отношении них не существуют значительной неопределенности, возможно, стоит придерживаться традиционного критерия принятия решений – NPV. В статье «Оценка инвестиционных проектов методом реальных опционов» Брусланова Н. [Брусланова, 2007] выделяет ряд условий, которые делают использование реальных опционов целесообразным для компании:

- результат проекта подвержен высокой степени неопределенности;
- менеджмент компании способен принимать гибкие управленческие решения при появлении новых данных по проекту;
- финансовый результат проекта во многом зависит от принимаемых менеджерами решений. При оценке проекта по методу дисконтированных денежных потоков значение NPV отрицательно или чуть больше нуля.

На практике реальные опционы получили наибольшее распространение среди компаний, которые ведут свою деятельность в отраслях с высоким уровнем неопределенности. В той же статье Бруслановой приводится ряд отраслей, в которых инвестиционная оценка проектов методом реальных опционов наиболее востребована: это наукоемкие, высокотехнологичные (здесь важны опционы на ожидание, на поэтапное развитие проекта), ресурсодобывающие отрасли (здесь важен опцион на расширение, на

выход из проекта), а также в отрасли с высокими расходами на маркетинг и продвижение новых продуктов (здесь важны опционы на поэтапное развитие проекта, на обучение, на выход из проекта).

В книге П. Боера «Реальные опционы: оценка в высокорискованном мире» [Boer, 2002] выделяются три конкретных отрасли и приводятся примеры компаний, использовавших реальные опционы на практике. Отрасли соотносятся с теми, что были выделены Бруслановой.

- 1) Фармацевтические компании: они используют реальные опционы для оценки проектов отдела исследований и разработок (R&D). Пионером в этом деле стала компания Merck (1994) – ее кейс был рассмотрен в качестве примера в ряде научных исследований, одно из которых принадлежит Э. Боуману [Bowman, 2001]. Компания приобрела лицензию на использование на тот момент не до конца разработанной технологии Гамма – по сути колл-опцион на дальнейшую коммерциализацию технологии через создание продукта, если появится спрос на продукт и дела пойдут успешно. При этом если бы эта идея провалилась, то компания не обязана была строить завод и производить продукт на основе приобретенной технологии. Другие фармацевтические компании, использовавшие реальные опционы – это Amgen, Genentech, Genzyme и другие.
- 2) В нефтегазовой отрасли примеры компаний включают Mobil, Техасо, Сопосо, Chevron, Petrobas и другие. Реальные опционы часто возникают на этапе освоения месторождения, когда компании еще точно не знают какой объем нефти сможет быть добыт с конкретного месторождения. Компания British Petroleum в начале девяностых годов использовала метод реальных опционов при разработке стратегии и принятия решения об освоении месторождений в Северном море, экономическая эффективность которых на тот момент была сомнительна<sup>6</sup>.
- 3) В аэрокосмической индустрии метод реальных опционов использовали компании Airbus и авиакомпаниями.

Несмотря на достаточное число примеров, доля компаний, использующих реальные опционы в оценке инвестиционных проектов, их относительная доля среди всех компаний остается низкой.

---

<sup>6</sup> Калинин, Д. Новые методы оценки стоимости компаний и принятия инвестиционных решений [Электронный ресурс] / Д. Калинин // Рынок ценных бумаг. — 2000. — № 8. — Режим доступа: <http://old.rcb.ru/archive/articles.asp?id=1153>

Брейли, Майерс и Аллен отмечают, что, несмотря на то, что реальные опционы никак не отражаются в балансе компании, менеджеры и инвесторы учитывают их наличие в своих оценках. Так, выявление наличия реального опциона в определенном проекте может служить причиной роста цены акций на рынке, поскольку инвесторы оценили ценность данного опциона.

### **2.3 Преимущества и недостатки реальных опционов**

Преимущества метода реальных опционов по сравнению с традиционными методами принятия инвестиционных решений, в том числе решения о замене оборудования и модернизации производства, были исследованы многими авторами. Уже были упомянуты в моем исследовании работы Тригеоргиса, Брейли и Майерса. Дополнительно можно выделить труды Мэйсона и Мертона [Mason, Merton, 1985], Кулатилаки и Маркуса [Kulatilaka, Marcus, 1988]. Анализируя работы, все авторы выделяют следующие преимущества метода реальных опционов:

- учет управленческой гибкости при оценке ценности решениях компаний, ведущих операции на рынках, характеризующихся высокой волатильностью. Для них часто выбирается слишком высокая требуемая ставка доходности, а также возникают большие сложности в прогнозировании будущих денежных потоков, и в результате NPV проекта получается отрицательным, что не позволяет компании полностью использовать все существующие на рынке возможности. Включение же ценности реального опциона в оценку проекта может превратить проект из проекта с отрицательным NPV в проект с положительным NPV;
- меньший уровень необходимости уделять чрезмерное внимание максимальной точности прогнозов как это требуется при использовании метода NPV, а также минимизация влияния субъективно оцененных ставок дисконтирования на ценность проекта;
- учет будущих возможностей по проекту и возникающих наряду с ними будущих конкурентных преимуществ.

Несмотря на все перечисленные преимущества, эмпирические исследования доказывают, что уровень применения реальных опционов на практике в компаниях остается низким. Большинство выделяемых недостатков реальных опционов связаны не с концептуальными замечаниями к методу, а со сложностью и практичностью в отношении применения их на практике. Сложности в расчетах, проведение которых необходимо для

оценки реальных опционов, могут смущать финансовых менеджеров, которые либо не хотят тратить значительную долю времени на такую оценку, либо просто не могут производить математические расчеты на столь высоком уровне, который необходим. Более конкретно проблемы озвучивают Брейли и Майерс [Brealey, Meyers, 2011] в «Принципах корпоративных финансов»:

1) Необходимость инвестирования времени и аналитических сил менеджера.

Конечно, здесь все зависит от бизнес-суждений самого менеджера или его начальника. Метод реальных опционов включает в себя огромное количество вычислений и анализ результатов, интерпретация которых не всегда очевидна. Иногда затраты на совершение анализа не соответствуют выгоде от его проведения, однако, реальные опционы могут открывать глаза на огромные возможности для компании.

2) Отсутствие структуры и «фреймворка».

Чтобы оценить реальный опцион, необходимо определить множество входных данных: будущую ценность и движения базового актива, инвестиции, временной промежуток, на котором существуют управленческие возможности и связанные с ними реальные опционы. Не всем менеджерам также понятно как правильно оценить реальный опцион, уже зная входные данные, что также подчеркивают в своих работах Хи [He, 2007] и Тич [Teach, 2003]. Авторы соглашаются друг с другом в том, что для не-академиков сложная процедура математического моделирования совершенно непрозрачна и слишком сложна.

При этом широкое распространение получили финансовые опционы, несмотря на присущую и им сложность вычислений и трудности в понимании. Помимо этого, продолжают появляться новые, так называемые «экзотические» опционы, которые требуют еще более сложных методов оценки. Поэтому сложность математических вычислений – это не единственная причина, по которой реальные опционы пока не пользуются большой популярностью у компаний.

3) Наличие реальных опционов у конкурентов

Одно дело – когда компания действует на инновационном рынке, и создает продукт, недоступный ни одному из конкурентов в силу, например, патентов или просто отсутствия необходимых знаний. Другое дело – когда рынок высококонкурентен и у всех конкурентов имеется ряд реальных опционов, например, на ожидание. И действия компании, и действия конкурентов в таком случае будут зависеть от шагов друг друга, соответственно, и ценность реальных опционов будет, скорее всего, понижаться. Для примера возьмем опцион на поэтапное развитие проекта: конечно, большинство компаний выбрало бы сначала запускать проект в маленьком масштабе, оценивая обстановку на рынке, и далее принимая

решение расширять проект, если он идет успешно. Однако, конкурент в таком случае может опередить компанию, забирая у нее часть ценности, которую она могла создать, расширив проект.

Вышеупомянутые три причины рассматриваются как основные Брейли и Майерсом, но, помимо них другие авторы выделяют ряд других возможных причин в первую очередь связанных с фундаментальными различиями между финансовыми и реальными опционами. Продолжая список:

#### 4) Проблема оценки волатильности

Для оценки реального опциона менеджеру необходимо определить сигму – оценку волатильности, которая влияет на оценку денежных потоков по проекту, и, следовательно, на ценность реального опциона. Оценка сигмы существенна для определения ценности реального опциона, и потому должна быть определена с высоким уровнем точности, ведь иначе завышение ценности реального опциона может привести к принятию невыгодного для компании инвестиционного проекта.

Когда мы говорим о финансовых опционах, волатильность отражает неопределенность в отношении цен на базовый актив, по которому доступна информация об исторических ценах, поскольку мы говорим о торгуемом базовом активе. На основе данной информации с определенной, достаточно высокой точностью можно определить среднеквадратическое отклонение, которое и используется для оценки финансового опциона с помощью модели Блэка-Шоулза [Kelly, 1998; Smit, 1997]. Однако, в реальных опционах «базовым активом» служат будущие денежные потоки от проекта – актив, который не является торгуемым, в связи с чем аналогичным методом мы не можем оценить волатильность. В результате в большинстве случаев приходится делать экспертную оценку волатильности, что может приводить к существенным ошибкам при оценке ценности реальных опционов [Copeland and Antikarov, 2001].

## **2.4 Методология оценки реальных опционов**

### **2.4.1 Реальные опционы и финансовые опционы**

Для дальнейшего рассмотрения методологии оценки реальных опционов важно четко понимать разницу между реальными и торгуемыми опционами. В первом параграфе второй главы была кратко представлена общая информация о сходствах и различиях реальных и торгуемых опционов. В данном пункте эта информация будет представлена чуть более подробно и с точки зрения оценки этих инструментов. Данная

последовательность позволит более успешно понять логику и содержание оценки реальных опционов.

Итак, согласно работе Дамодарана «Обещания и опасности реальных опционов» финансовый (торгуемый) опцион – это контракт, дающий право, но не обязательство купить (колл-опцион) или продать (пут-опцион) определенное контрактом количество базового актива по установленной в контракте цене – цене страйк, в день окончания контракта, либо во время срока действия контракта (до истечения контракта). Если у владельца опциона есть право купить или продать актив только в день истечения контракта, то такой опцион называется европейским. Если контракт может быть исполнен в любой день во время срока действия контракта (или в определенный промежуток времени до истечения контракта), то такой опцион называется американским.

Итак, у опционного контракта есть следующие детерминанты ценности:

- $S_0$  – текущая ценность базового актива
- $\sigma$  – волатильность стоимости базового актива
- $K$  – цена исполнения опциона или цена-страйк
- $T$  – срок до истечения контракта
- $r$  – безрисковая процентная ставка

В таблице 3 будет представлены соответствующие детерминанты для реальных опционов.

Таблица 3

### Сравнение детерминант ценности реальных и финансовых опционов

Обозначение детерминанты для финансовых опционов	Детерминанта ценности финансового опциона	Детерминанта ценности реального опциона	Обозначение детерминанты для реальных опционов
$S_0$	Текущая ценность базового актива	Чистая приведенная стоимость прогнозируемых денежных потоков	$V_0$
$\sigma$	Волатильность стоимости базового актива	Волатильность денежных потоков по проекту	$\sigma$
$K$	Цена-страйк	Стоимость инвестиций	$I$

<b>Обозначение детерминанты для финансовых опционов</b>	<b>Детерминанта ценности финансового опциона</b>	<b>Детерминанта ценности реального опциона</b>	<b>Обозначение детерминанты для реальных опционов</b>
T	Срок до истечения контракта	Время до того, как инвестиционная возможность исчезнет	T
r	Безрисковая процентная ставка	Безрисковая процентная ставка	r

В таблице 4 будут представлены фундаментальные различия между торгуемыми и реальными опционами:

Таблица 4

#### Различия характеристик финансовых и реальных опционов

<b>Характеристика</b>	<b>Финансовый опцион</b>	<b>Реальный опцион</b>
Дата истечения контракта (время в течение которого существует управленческая возможность)	Обычно короткая, месяцы	Длинная, годы (многие реальные опционы являются фактически бессрочными)
Базовый актив	Торгуемый	Неторгуемый (денежные потоки по проекту)
Волатильность стоимости базового актива	Может быть оценена на основе исторических данных, доступных на рынке, так как базовый актив торгуется на рынке	Базовый актив неторгуемый, следовательно, исторические данные по его стоимости недоступны и определение волатильности таким же методом как для финансовых опционов невозможно <sup>7</sup>
Цена исполнения (цена-страйк)	Точно известна в момент заключения контракта	Может быть известна только приблизительно и зависит от момента исполнения реального опциона <sup>8</sup>

<sup>7</sup> Окулов, В. Л. Риск менеджмент: основы теории и практика применения / В. Л. Окулов — 2016. — с. 125

<sup>8</sup> Окулов, В. Л. Риск менеджмент: основы теории и практика применения / В. Л. Окулов — 2016. — с. 124

Характеристика	Финансовый опцион	Реальный опцион
Конкуренция	Не влияет на ценность финансового опциона	Влияет на ценность реального опциона (наличие реальных опционов у конкурентов снижает ценность реального опциона для компании)
Управленческие эффекты	Не влияет на ценность финансового опциона	Влияет на ценность реального опциона

#### 2.4.2 Дерево решений и модельное представление будущего в методе динамического программирования.

Основной метод, рассматриваемый в проанализированной мной литературе по оценке реальных опционов – это динамическое программирование. В данном методе ключевым моментом является выбор момента исполнения реального опциона, в котором максимизируется приведенная стоимость денежных потоков, генерируемых проектом на протяжении определенного в начале проекта временного промежутка  $T$ . Увеличение ценности проекта обеспечивается тем, что наличие опциона и его исполнение в оптимальный момент меняет первоначальное решение, если ситуация в бизнесе изменяется.

Обычно предположениями данного подхода является наличие рациональных ожиданий у инвестора (менеджера, принимающего решение по проекту), а также риск-нейтральность мира, в котором осуществляется проект и инвестор (в нашем случае менеджер) принимает решение об исполнении опциона.<sup>9</sup> В следующем пункте будет подробно описан процесс использования метода динамического программирования. В этой же части будет рассмотрено построение дерева решений для динамического программирования.

Чтобы сделать процесс принятия решения по проекту более наглядным, проект обычно представляют графически в виде диаграммы, которая получила название дерево решений. Поскольку в работе речь идет о задаче о замене оборудования, я приведу пример дерева решений, составленного для этой задачи.

<sup>9</sup> Pelet, M. Real Options in Petroleum: Geometric Brownian Motion and Mean-Reversion with Jumps : dissertation MSc in Computing sciences / M. Pelet. — Oxford, 2003. — p. 10

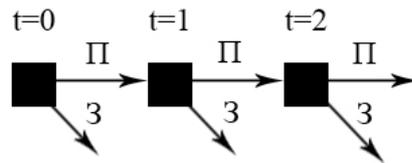


Рис.4 Графическое изображение дерева решений

На рисунке 4 черными квадратами изображены моменты принятия решения о замене, П означает продолжать проект, используя старое оборудование, З – заменить оборудование в соответствующий момент  $t$ . Это базовое представление дерева решений для простейшего проекта о замене оборудования. Из диаграммы видно, что у менеджера этого условного проекта есть возможность принять решение о замене в течение трех периодов, в каждый из моментов  $t=0$ ,  $t=1$ ,  $t=2$ . Решением данной задачи является сравнение NPV проекта без замены и проекта с заменой оборудования. Если NPV проекта с заменой превышает NPV проекта без замены (продисконтированные к одному моменту во времени), то необходимо произвести замену оборудования.

Обычно каждый из моментов принятия решения связан с поступлением новой информации по проекту, на основе которой пересматривается первоначальное решение.

Однако, формулируя правило принятия решения по дереву решений только на основе NPV, опять же не учитывается неопределенность будущего, поскольку денежные потоки «определены». В реальной жизни менеджер не может точно спрогнозировать денежные потоки на будущие периоды, поэтому правило принятия решения и вид дерева меняются, чтобы отразить эту самую неопределенность.

Для того, чтобы оценить любой инвестиционный проект, в том числе проект по замене оборудования, необходимо построить модель для будущих поступлений по проекту. Необходимо сформировать рациональные допущения для модели, выбрать переменные, которые будут включены в модель, а также определить их численные значения и оценить основные параметры этих переменных. Соответственно и решения, принимаемые на основе построенной модели, будут существенно зависеть от точности оценок и соответствия предположений модели здравому смыслу, действительности.

Описывая возможные денежные платежи в модели, обычно выбирается один из способов модельного представления будущего. Одним из наиболее часто применяемых способов является представление в виде биномиального дерева. Согласно данной модели, в финансовом опционе ценность актива в любой момент времени может сдвинуться в одно из двух состояний – увеличиться или уменьшиться в определенное число раз. Общее графическое представление биномиального дерева изображено на рисунке ниже.

Здесь  $S$  – текущая цена базового актива, в следующем периоде она может либо увеличиться до состояния  $S_u$  с вероятностью  $q$ , либо уменьшиться до состояния (цены)  $S_d$  с вероятностью  $1-q$ . Далее соответственно из состояний  $S_u$  и  $S_d$  она также может двигаться вверх или вниз с теми же вероятностями и с таким же трендом.

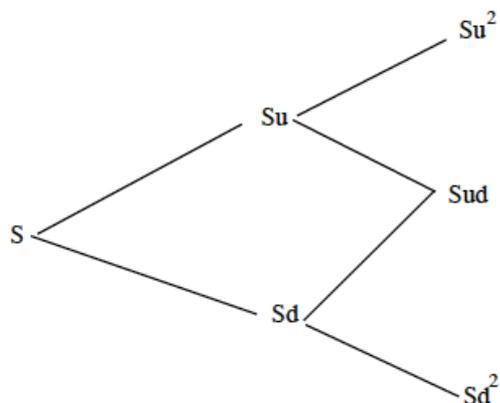


Рис.5 Биномиальное представление будущего

По сути такое представление обозначает, что динамика цены актива задается процессом геометрического броуновского движения.

При оценке реальных опционов часто предполагается, что и динамика денежных платежей по проекту описывается данным случайным процессом. Это означает, что каждый период (например, каждый год) платеж по проекту меняется (увеличивается или падает) в определенное количество раз.

Случайный процесс геометрического броуновского движения математически представляется следующим образом:

$$d(\widetilde{CF}) = \alpha * CF_t * dt + \sigma * CF_t * \tilde{\varepsilon}_t * \sqrt{dt} \quad (5)$$

Где:

- $\tilde{\varepsilon}_t$  – случайная величина, распределенная по стандартному нормальному распределению (с математическим ожиданием равным нулю и дисперсией равной единице)
- $\alpha$  – коэффициент, задающий постоянный тренд (во сколько раз увеличивается или уменьшается денежный платеж в каждом периоде)
- $\sigma$  – коэффициент, отражающий волатильность будущих денежных потоков
- $CF_t$  – денежный поток в момент  $t$

Данный процесс является непрерывным, и, действительно он используется для моделирования цены акции, что является непрерывной случайной величиной, поскольку

цена акции на бирже Нью-Йорка изменяется практически каждую секунду. Однако, говоря о денежных потоках по проекту, которые являются «базовым активом», когда речь идет о реальном опционе, нельзя говорить о том, что у компании есть возможность ежесекундно наблюдать изменения в денежных потоках. Скорее она может видеть только изменения за какой-то период времени, информация не поступает к ней ежесекундно. Именно поэтому при модельном представлении будущих потоков по проекту переходят от непрерывного случайного процесса к дискретному.

На основе анализа того, по каким причинам может происходить изменение платежей в проекте и на сколько выбирается параметр  $\alpha$ . Изменение платежей может быть связано с ожидаемым увеличением или снижением объема продаж, или волатильностью цен на основной ресурс, который компания использует при производстве. Также на основе вышеупомянутого анализа выбирается параметр  $\sigma$ . Вместе с этим также определяется параметр  $\Delta t$  – он задает шаг дискретизации, то есть через какие моменты поступает новая информация и платеж увеличивается или уменьшается в определенное количество раз –  $k_{CF}$ .

Для определения  $k_{CF}$  существует следующая формула:

$$k_{CF} = e^{\sigma_{CF} \cdot \sqrt{\Delta t}} \quad (6)$$

Это и есть шаг изменения денежных платежей. Чтобы найти вероятность  $q$  с которой платеж увеличивается в это количество раз необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$q = \frac{e^{\alpha_{CF} \cdot \Delta t} - e^{-\sigma_{CF} \cdot \sqrt{\Delta t}}}{e^{\sigma_{CF} \cdot \sqrt{\Delta t}} - e^{-\sigma_{CF} \cdot \sqrt{\Delta t}}} \quad (7)$$

Вероятность того, что платеж уменьшится в  $k_{CF}$  раз равна  $1-q$ .

Использование в модельном описании будущего процесса геометрического броуновского движения подразумевает, что платеж никогда не сможет стать отрицательным или нулевым. Выручка действительно не может быть отрицательной по проекту, однако, может опускаться до 0. Прибыль может быть и отрицательной, поскольку часто в проектах операционные издержки могут превышать выручку компании. Поэтому иногда переходят к процессу арифметического броуновского движения (броуновского движения с трендом) для описания денежных поступлений – в нем платежи изменяются не «в» определенное количество раз, а «на» определенную величину.

Однако, если использовать процесс геометрического броуновского движения для модельного описания поступлений выручки по проекту и задавать уровень переменных

издержек как функцию от выручки, а также уровень постоянных издержек, не зависящий от выручки, то прибыль по проекту все равно может уходить в минус. При подобном представлении структуры издержек использование случайного процесса геометрического броуновского движения в модельном представлении будущих платежей по проекту оправдано.

### **2.4.3 Использование метода динамического программирования и принцип Беллмана в оценке реальных опционов**

Динамическое программирование по сути – это метод поиска полного решения оптимизационной динамической задачи посредством последовательного рекуррентного решения частных оптимизационных задач. Для этого сначала анализируются конечные состояния объекта в момент времени  $t=T$ , затем, решая задачу по сути от последнего периода к первому, принимаются последовательно решения в моменты времени  $t=T-1$ ,  $t=T-2$  и т.д. В каждый из этих моментов принимаются такие решения, которые максимизируют ценность проекта на момент принятия решения.

Важным здесь является то, что управление производится по принципу оптимальности Беллмана (также известному как принцип динамического программирования). Он звучит следующим образом: «Оптимальное управление обладает тем свойством, что независимо от начального состояния и решения, все последующие решения должны следовать принципу оптимальности относительно состояния, достигнутого в результате предыдущих решений» [Bellman, 1957]. Принцип Беллмана разбивает большую задачу в несколько более простых и мелких задач (этапов), на каждом из которых принимается решение. При этом на каждом этапе принимается решение без анализа того, какие решения были приняты в прошлом: все понесенные затраты рассматриваются как невозвратные издержки, все платежи также не принимаются во внимание. Если вдруг сегодня в период  $t$ , анализируя решение, принятое в период  $t-1$ , оказывается, что оно не было оптимальным с учетом информации, полученной в период  $t$ , но недоступной в период  $t-1$ , нельзя считать решение менеджера неправильным. Он принимал решение в свете доступной на тот момент информации, оптимальное решение на момент  $t-1$ . Таким образом, решение, которое было оптимальным в прошлом не обязательно будет считаться оптимальным в будущем, но в этом и суть динамического программирования и принципа Беллмана – поэтапное решение управленческих задач и максимизация выгоды от проекта на момент, в который принимается решение, с учетом всей доступной на тот момент информации.

Для задачи о модернизации производства управление проектом сводится к принятию следующего решения: заменить оборудование или продолжать использовать его.

Переходя к математическим формулам, введем следующее понятие:

- Текущая ценность проекта  $CV_t$  – это величина, отражающая выгоду по проекту в данный момент и включающая будущую выгоду.

$$CV_t = (CF_t - I_t) + \frac{E[CV_{t+1}]}{1 + R} \quad (8)$$

Здесь  $CF_t$  – это денежный поток по проекту в период  $t$ ,  $I_t$  – инвестиции в проект в период  $t$ ,  $R$  – ставка дисконтирования,  $E[CV_{t+1}]$  – ожидаемая величина будущей ценности по проекту (в период  $t+1$ ).

Задача менеджера согласно принципу оптимальности Беллмана – принимать такое решение  $D$ , которое максимизирует текущую ценность проекта  $CV_t$ :

$$D: CV_t = \max_D \left\{ (CF_t - I_t) + \frac{E[CV_{t+1}]}{1 + R} \right\} \quad (9)$$

## **Выводы по главе 2.**

Во второй главе основной задачей было подробно рассмотреть метод реальных опционов как инструмент, используемый для принятия различных управленческих решений. Анализ широкого круга исследований по теме позволил выделить ряд значительных преимуществ метода для принятия решений в условиях неопределенности. Основным из них является учет управленческой гибкости в принятии решений на протяжении всего срока проекта – возможность приостановить проект, расширить масштаб, а также и заменить оборудование раньше установленного срока. Все эти возможности могут делать проект более привлекательным для инвесторов, поскольку они несут в себе дополнительную ценность, которая может быть вычислена в результате оценки реальных опционов для проекта.

Однако, сложность вычислений, связанная с динамическим программированием – основным методом, используемым для оценки реальных опционов, влияет на решение большинства компаний отказаться от использования метода. При этом преимущества метода, особенно для компаний, действующих в среде с высоким уровнем неопределенности, нельзя игнорировать.

Целью данной работы является на основе метода реальных опционов создать упрощенные общие рекомендации по оптимальному времени замены оборудования для

типовых проектов. Вычисленные пороговые значения выручки, при которых замена потенциально выгодна, могли бы служить отправной точкой для дальнейшего анализа решения с помощью традиционных методов. В следующей главе мной будет рассмотрено применение метода динамического программирования для анализа реального опциона для ряда условных проектов. На основе этого будет проанализирована необходимость принятия решения о замене в зависимости от изменения различных параметров проекта. Изменение параметров проекта позволит сформулировать критерий оптимальности замены в общем виде. Задача следующей главы – упростить использование метода реальных опционов для компаний, решающих задачу о замене оборудования в своей деятельности.

## ГЛАВА 3. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ О ЗАМЕНЕ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА РЕАЛЬНЫХ ОПЦИОНОВ.

### 3.1 Оценка опциона на расширение применительно к задаче о замене оборудования

В последнем параграфе второй главы было сказано, что оптимальное решение согласно принципу Беллмана – это решение, максимизирующее текущую ценность проекта, и в частности в ситуации с заменой оборудования решение также должно максимизировать текущую ценность. Однако применительно к задаче о замене оборудования решением будет приниматься на основе выбора максимального из двух значений – текущей ценности при сохранении старого оборудования или текущей ценности при замене оборудования на новое. Если текущая ценность проекта без замены больше, чем при осуществлении замены, то ее осуществлять не стоит, и наоборот. В виде формулы это выглядит следующим образом:

$$D: CV_t = \max_D \{ CV_{t, old}; CV_{t, new} \} \quad (10)$$

При этом:

$$CV_{t, old} = CF_{t, old} + \frac{E[CV_{t, old}]}{1 + R} \quad (11)$$

Где  $CV_{t, old}$  – текущая ценность проекта в момент  $t$  при сохранении старого оборудования,  $CF_{t, old}$  – платеж, который получит компания в момент  $t$  при использовании старого оборудования (под платежом здесь и далее понимается выручка, которую компания получает в момент  $t$ ),  $R$  – ставка дисконтирования,  $E[CV_{t, old}]$  – ожидаемая величина будущей ценности по проекту при решении сохранять старое оборудование (не производить замену).

$$CV_{t, new} = -I_0 - CF_{t, old} + CF_{t, new} + \frac{E[CV_{t, new}]}{1 + R} \quad (12)$$

Где  $CV_{t, new}$  – текущая ценность проекта в момент  $t$  при замене оборудования,  $I_0$  – инвестиции в замену (затраты на покупку нового оборудования),  $CF_{t, old}$  – платеж, который бы получила компания в момент  $t$  при использовании старого оборудования,  $CF_{t, new}$  – платеж, который получит компания в момент  $t$  при использовании нового оборудования,  $R$

– ставка дисконтирования,  $E[CV_{t;new}]$  – ожидаемая величина будущей ценности по проекту при замене оборудования.

Причина по которой реальный опцион на расширение применим к задаче о модернизации производства, в частности к задаче о замене оборудования достаточно логически обоснована и понятна. Традиционно решение о расширении подразумевает начало нового проекта, являющегося продолжением старого, однако, модернизация производства – это по сути интенсификация старого, уже начатого проекта. Замена оборудования по причине развития благоприятной ситуации на рынке может вести с одной стороны к снижению операционных издержек, с другой – к возможному увеличению выручки (производительность оборудования может снижаться с годами, поэтому новое, даже точно такое же оборудование может увеличивать производительность и приносить большую выручку компании). Эти факторы позволяют рассматривать возможность произведения замены в течение срока исполнения проекта как реальный опцион на расширение.

### **3.2 Применение метода реальных опционов к типовым условным проектам: долгосрочный и краткосрочный проекты**

Поскольку целью данной работы является разработка упрощенного инструмента использования метода реальных опционов применительно к решению задачи о замене оборудования в условиях неопределенности, для анализа были выбраны типовые условные проекты. Типовой проект – это такой проект, параметры которого задаются вручную, являются условными, однако разумно соотносятся с действительностью. Выбирается один параметр, который меняется вручную, в то время как все другие параметры фиксируются, и анализируется влияние изменения этого параметра на принятие решения о замене. В качестве изменяемого параметра в анализируемых проектах была выбрана волатильность.

Было проанализировано два проекта: длинный – длительностью 10 лет и короткий – длительностью 5 лет. В таблице 5 представлены параметры, заданные для долгосрочного проекта.

### Параметры долгосрочного условного проекта

Параметр	Значение
Тренд изменения выручки $\alpha$ , % в год	-5%
$\Delta t$ , в годах	1
Длительность проекта $T$ , в годах	10 лет
Безрисковая ставка $R_f$ , в %	8%
Ставка дисконтирования $R$ , в %	12%
Первоначальный платеж $CF_0$ – выручка в нулевом периоде, в тыс. руб.	100
Постоянные издержки, в тыс. руб.	45
Переменные издержки, в % от выручки	25%
Инвестиции в оборудование, в тыс. руб.	114

Для анализа был выбран условный проект, NPV которого равен нулю при использовании для анализа традиционного метода чистой приведенной стоимости. В теоретической части работы отмечалось, что для проектов с нулевым NPV, особенно в отраслях с высоким уровнем неопределенности, зачастую прибегают к дополнительным методам оценки. Метод реальных опционов позволяет в модели учесть неопределенность и управленческие возможности, возникающие в связи с ней, в частности, возможность замены оборудования, если будущие прогнозируемые значения выручки достигнут определенных пороговых значений (эти пороговые значения могут быть различны для каждого периода). Определение пороговых значений выручки, при которых замена оборудования добавляла бы ценность проекту, осуществляется как раз с помощью метода реальных опционов.

При этом как уже отмечалось, параметр  $\sigma$ , отражающий волатильность выручки менялся с целью проанализировать влияние волатильности на оптимальность решения о замене оборудования. Рассматривались следующие значения  $\sigma$ : 10%, 15%, 20%, 30%, 40%.

Помимо этого относительно условных проектов был составлен ряд других предположений:

- В данной части работы ликвидационная стоимость оборудования не учитывается, то есть принимается равной нулю (она может быть нулевой в связи с высокой специфичностью активов в основных отраслях, где метод реальных опционов целесообразно использовать – в нефтегазовой, фармацевтической, аэрокосмической)

- Корреляция риска проекта с рынком равна 0
- Стоимость покупки нового оборудования эквивалентна стоимости изначальных инвестиций в проект (то есть стоимость нового оборудования равна той, по которой было приобретено старое оборудование)
- Выручка подчиняется законам геометрического броуновского движения с параметрами  $\alpha$  и  $\sigma$  (параметр  $\alpha$  отражает во сколько раз изменяется выручка в год, например, если он равен 5%, то выручка за год увеличивается в 1,05 раз; параметр  $\sigma$  отражает волатильность выручки – насколько сильно реальное значение выручки может отличаться от прогнозируемого).

Процесс оценки решения о замене проводился с помощью метода динамического программирования и с использованием формул (10), (11), (12), представленных в первом параграфе данной главы.

Первым шагом расчетов было построение биномиального дерева для выручки (техника построения подробно описана в пункте 2.4.2). Каждый узел дерева (клетка со значением выручки) отражает какие значения может принять выручка в период  $t$ , и эти значения зависят от параметров проекта, поэтому биномиальное дерево строилось отдельно для каждого из задаваемых уровней волатильности, отдельно для долгосрочного и краткосрочного проектов.

Затем рассчитывалась текущая ценность проекта в каждом узле по формуле (11). После этого по формуле (12) в каждом узле биномиального дерева рассчитывалась «новая» текущая ценность проекта – если бы оборудование было заменено. NPV замены рассчитывался в каждом узле путем сравнения текущей ценности проекта с заменой и без замены оборудования, разница между ними ( $CV_{t;new} - CV_{t;old}$ ) и принималась за NPV замены. Если NPV замены, рассчитанный при использовании метода динамического программирования, был больше нуля, то использование реального опциона на замену оборудования являлось целесообразным и выгодным для компании. Если NPV замены был меньше нуля, то компании производить замену оборудования было не выгодным. Подобное сравнение текущих ценностей – без замены и с заменой – проводилось в каждом узле биномиального дерева, соответственно, для каждого узла решение заменить или не заменять оборудование было различным. На основе этого у менеджера условного проекта появлялась наглядная карта решений о замене, которая показывала стоит или не стоит заменять оборудование, если выручка достигнет определенного значения в период  $t$ .

Для примера интерпретации результатов по условному проекту рассмотрим дерево решений по десятилетнему проекту с волатильностью выручки  $\sigma=10\%$  (рис.6).

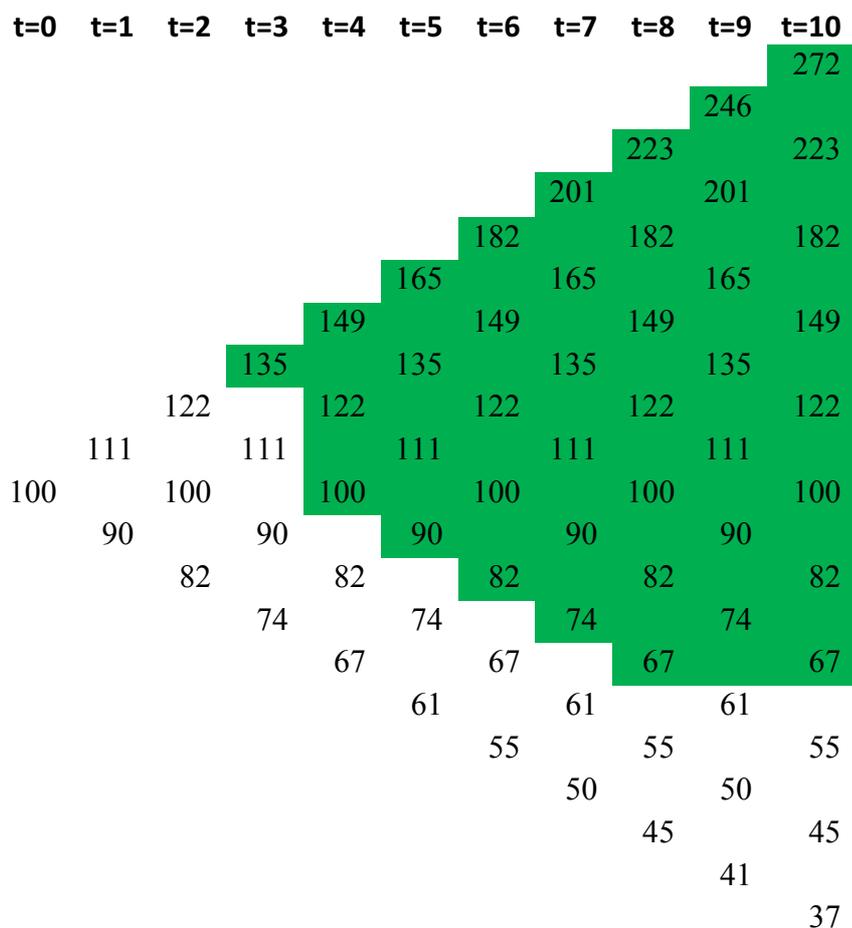


Рис.6 Биномиальное дерево для распределения выручки при  $\sigma=10\%$

На рисунке 6 зеленым цветом выделены узлы, в которых NPV замены, вычисленный с помощью метода динамического программирования, был определен как положительный. В этих узлах текущая ценность проекта увеличивается, если компания принимает решение заменить оборудование на новое, и прибавка в ценности достигается как раз за счет наличия у компании реального опциона – заменить оборудование еще до окончания проекта или формального срока функционирования оборудования, а также и его использование в каком-либо из узлов, выделенных зеленым цветом на дереве.

Для рассмотренного проекта замену оборудования не выгодно проводить в первые два года, даже если в каждый из них платеж будет увеличиваться в  $k_{CF}$  раз, что равно при данном уровне волатильности 1,11 раз. Однако если в третий год, третий год подряд дела идут хорошо и выручка компании растет и достигает 135 тысяч рублей, несмотря на то, что изначально прогнозируемый тренд выручки, заданный параметром  $\alpha$  был отрицательным, то компании следует в третий год заменить оборудование, и таким образом она максимизирует выгоду от проекта.

В целом стоит отметить, что ближе к концу проекта решение о замене оборудования стоит принимать, даже если выручка снижается, но если она не падает ниже 67 тысяч

рублей. В этом случае лучше доиспользовать старое оборудование, и дальше уже принимать решение после окончания проекта – когда поступит новая информация.

Ожидаемая выручка для каждого из периодов представлена в таблице 6. Данные значения используются для вычисления пороговых значений, при которых выгодна замена, выраженных в % отклонения выручки в год  $t$  от ожидаемой выручки в год  $t$ .

Таблица 6

**Прогноз выручки для каждого из периодов  $t$  для долгосрочного проекта, тыс. руб.**

Период $t$ , год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ожидаемая выручка, тыс. руб	95	90	86	81	77	74	70	66	63	60

На основе анализа решения о замене оборудования для долгосрочного проекта методом реальных опционов были вычислены пороговые значения выручки, при которых компании выгодно заменять оборудование. Результаты представлены в таблице 7 и их анализ представлен после графического представления результатов на рисунке 7.

Таблица 7

**Пороговые значения выручки для принятия решения о замене оборудования, отклонение выручки в год  $t$  от ожидаемой выручки в год  $t$  в % для долгосрочного проекта**

	Период $t$ , год									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sigma=10\%$	-	-	35%	23%	17%	11%	6%	2%	0%	0%
$\sigma=15\%$	-	-	83%	67%	51%	32%	23%	12%	2%	2%
$\sigma=20\%$	-	-	112%	84%	58%	35%	26%	17%	5%	3%
$\sigma=30\%$	-	102%	57%	36%	23%	15%	9%	8%	8%	8%
$\sigma=40\%$	-	148%	73%	54%	30%	22%	14%	2%	0%	0%

Ниже на рисунке 7 будут представлены результаты оценки решения о замене оборудования в зависимости от изменения выручки в каждом периоде и ее волатильности  $\sigma$ . По горизонтальной оси отражен период  $t$ , обозначающий год проекта, в котором стоит вопрос о замене оборудования. По вертикальной оси отражено на сколько процентов реальная выручка должна быть выше прогнозируемого уровня, чтобы компании стало выгодно заменять оборудование в соответствующий период  $t$ . На рисунке зона оптимальности лежит по правую сторону от кривой, соответствующей заданному уровню волатильности (включая саму кривую). То есть, например, если в шестой год выручка будет на 60% выше прогнозируемой для этого года, то для проекта с любым из уровней

волатильности от 10% до 40% оборудование заменять выгодно, поскольку эта точка на графике лежит правее любой кривой.

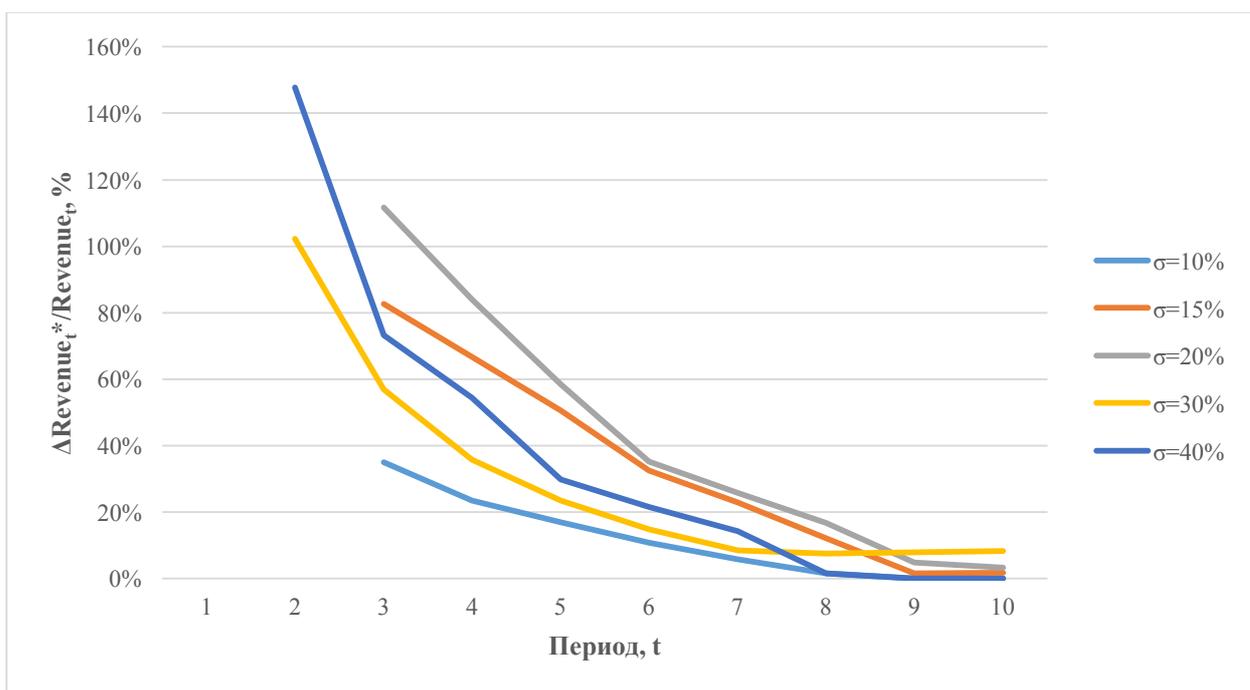


Рис. 7 Оптимальный момент замены оборудования в зависимости от процента отклонения выручки от прогноза при разных  $\sigma$  для долгосрочного проекта

Переходя к сравнительному анализу решений в зависимости от значения параметра  $\sigma$ , принимаемых на основе метода оценки реальных опционов с помощью динамического программирования, следует отметить ряд важных выводов:

- 1) Замену оборудования в самом начале проекта выгодно проводить только если волатильность проекта высока. Для проектов с более высокой волатильностью (в данном случае с 30% и 40%), если реальное значение выручки во второй год будет на примерно 80% и 120% соответственно выше прогнозируемого, решение о замене может быть наиболее оптимальным уже во второй год работы оборудования. Конечно, стоит понимать, что вероятность того, что выручка окажется настолько выше прогноза довольно мала (а именно в случае с  $\sigma=30\%$ , 40% всего 11%), но факт остается фактом – если конъюнктура рынка настолько хороша, то менеджеру стоит задуматься о замене уже во второй год.

Стоит отметить один факт. Согласно принципу Беллмана теоретически решения принимаются на основе доступной на момент принятия решения информации – реальных значений выручки, однако в реальных условиях стоило бы задуматься с чем связаны такое увеличение выручки по сравнению с прогнозом.

- 2) В целом более высокий уровень волатильности выручки соответствует более высоким пороговым значениям выручки, при которых замена оборудования

была бы выгодна. Это отражается на графике тем, что линии, отражающие кривые решений по проектам с  $\sigma=15\%$  и  $\sigma=20\%$  лежат выше кривой  $\sigma=10\%$ , при этом кривая  $\sigma=20\%$  выше кривой решения при  $\sigma=15\%$ . Особенно это заметно на начальных этапах проекта, в годы 1-6.

Это может быть связано со следующим фактом: реальное значение выручки может быть как больше, так и меньше прогнозируемого. При этом чем выше уровень волатильности выручки, тем больше может быть это отклонение. Риск отклонения в отрицательную сторону и делает более рискованным и менее привлекательным замену оборудования в более ранние периоды.

Ближе к концу проекта, в 7-10 годы, разница между пороговыми значениями, при которых замена была бы выгодна, сокращается.

- 3) Ближе к концу проекта порог в виде денежного платежа, при котором решение о замене выгодно практически не зависит от волатильности проекта. Для проектов с разными уровнями волатильности минимальная выручка, которая должна была быть достигнута в момент времени  $t=10$ , для того, чтобы решение о замене было выгодным составляла примерно 60-67 тысяч рублей.

В целом для проектов с любым уровнем волатильности в 7-10 годы главное, чтобы выручка не падала на этот срок ниже прогнозируемой или была чуть больше (на 5-10%), и тогда замена оборудования выгодна. В противном случае, если выручка в последние годы ниже прогнозируемой – стоит заканчивать проект, используя старое оборудование.

- 4) Решение о замене действительно может быть выгодным и добавлять ценность проекту, даже если срок использования оборудования (установленный менеджером, другим экспертом или производителем) еще не закончился.

Далее интересно было сравнить результаты, полученные для долгосрочного проекта с краткосрочным. Для краткосрочного проекта действуют те же предположения, что и для долгосрочного.

Для краткосрочного проекта были выбраны следующие параметры:

Таблица 8

#### Параметры краткосрочного условного проекта

Параметр	Значение
Тренд изменения выручки $\alpha$ , % в год	-9%
$\Delta t$ , в годах	1
Длительность проекта $T$ , в годах	5 лет
Безрисковая ставка $R_f$ , в %	8%

Параметр	Значение
Ставка дисконтирования R, в %	12%
Первоначальный платеж CF <sub>0</sub> – выручка в нулевом периоде, в тыс. руб.	100
Постоянные издержки, в тыс. руб.	45
Переменные издержки, в % от выручки	25%
Инвестиции в оборудование, в тыс. руб.	78

Ожидаемая выручка для каждого из периодов для краткосрочного проекта представлена в таблице 9. Данные значения используются для вычисления пороговых значений, при которых выгодна замена, выраженных в % отклонения выручки в год t от ожидаемой выручки в год t.

Таблица 9

**Прогноз выручки для каждого из периодов t для краткосрочного проекта, тыс. руб.**

Период t, год	1	2	3	4	5
Ожидаемая выручка, тыс. руб	91	83	75	69	62

На основе анализа решения о замене оборудования для краткосрочного проекта методом реальных опционов были вычислены пороговые значения выручки, при которых компании выгодно заменять оборудование. Результаты представлены в таблице 10 и их анализ представлен после графического представления результатов на рисунке 8.

Таблица 10

**Пороговые значения выручки для принятия решения о замене оборудования, отклонение выручки в год t от ожидаемой выручки в год t в % для краткосрочного проекта**

	Период t, год				
	1	2	3	4	5
$\sigma=10\%$	-	33%	20%	7%	6%
$\sigma=15\%$	-	39%	16%	4%	3%
$\sigma=20\%$	-	42%	9%	6%	6%
$\sigma=30\%$	-	46%	20%	1%	-3%
$\sigma=40\%$	-	57%	27%	1%	2%

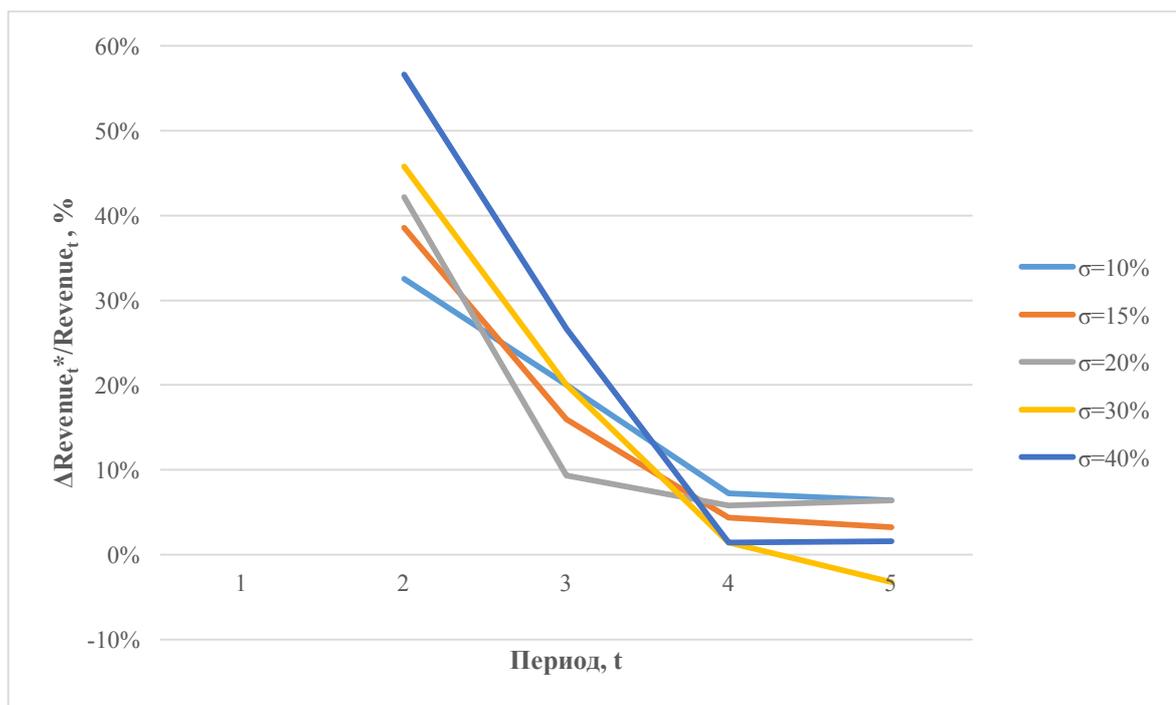


Рис.8 Оптимальный момент замены оборудования в зависимости от процента отклонения выручки от прогноза при разных  $\sigma$  для краткосрочного проекта

Анализируя результаты для краткосрочного проекта, а также сравнивая эти результаты с результатами анализа по долгосрочному проекту, можно сделать следующие выводы:

- 1) В целом при любом из заданных уровней волатильности в первый год краткосрочного проекта принимать решение о замене не выгодно, однако, во второй год, если дела идут хорошо у компании и выручка растет, решение о замене принимать выгодно при любом уровне волатильности. При этом чем больше волатильность, тем больше пороговое значение выручки, при котором компании выгодно было бы принять положительное решение о замене.

Стоит отметить, что как и в долгосрочном проекте столь сильное отклонение значений выручки от прогноза (на 40-60%) в положительную сторону имеет очень малую вероятность.

- 2) Как и в долгосрочном проекте, в краткосрочном проекте на последних этапах, а именно в 4-5 годы выгодно заменять оборудование если реальные значения выручки оказываются примерно равны или чуть больше чем прогнозные. При этом в абсолютном выражении выручка при любой волатильности не должна опускаться ниже 60 тысяч рублей, чтобы NPV замены оставался положительным и реальный опцион выгодно было бы использовать.

Это важно отметить, поскольку данный вывод применим как к долгосрочному, так и к краткосрочному проектам – на последних этапах не обязательно

дождаться окончания проекта или срока эксплуатации оборудования. Если выручка идет практически вровень с прогнозами, то стоит задуматься о замене заранее, чтобы максимизировать ценность проекта.

- 3) По сравнению с короткими проектами, в длинном проекте выручка должна в гораздо большей мере превышать прогнозные значения, чтобы сделать выгодной замену оборудования на начальном этапе (в первый, второй, третий годы). Например, при уровне волатильности 20%, выручка должна превысить прогноз на примерно 110% и 42% для долгосрочного и краткосрочного проекта соответственно.

Подобное различие может быть связано с тем, что чем длиннее горизонт прогнозирования, тем риск проекта выше, и тем сложнее прогнозировать какой же на самом деле будет выручка на протяжении функционирования проекта. Если она в третий год будет на 42% выше прогноза в краткосрочном проекте, то вряд ли к пятому году опустится ниже прогноза (что наглядно видно на дереве решений). При этом для долгосрочного проекта она может опуститься значительно ниже прогноза в течение следующих семи лет, если с каждым годом она будет значительно снижаться. Именно поэтому для долгосрочных проектов пороговые значения замены выше, чем для краткосрочных.

### **3.3 Влияние ликвидационной стоимости на решение о замене оборудования в долгосрочном проекте**

В предыдущем параграфе предполагалось, что ликвидационная стоимость оборудования при принятии решения о замене равна нулю. Это обосновывалось тем, что оборудование, особенно в отраслях с высоким уровнем неопределенности – нефтегазовой, аэрокосмической, фармацевтической – является высокоспецифичным активом. В связи с этим могут возникать трудности по его продаже в связи с тем, что невозможно найти покупателя, что затраты на перемещение делают покупку старого оборудования нецелесообразным и так далее.

При этом нельзя отрицать тот факт, что у некоторых компаний, которые хотят использовать метод реальных опционов для принятия решения о замене, есть возможность продать используемое ими оборудование. Если такая возможность имеется, то это, возможно, полностью изменяет те пороговые значения, при которых замена была бы выгодна.

Для исследования этого предположения в модель оценки долгосрочного проекта была добавлена ликвидационная стоимость, которая учитывалась при анализе текущей ценности проекта, если производится замена оборудования. Все остальные параметры проекта остаются неизменными.

Предполагается, что ликвидационная стоимость оборудования равна остаточной стоимости оборудования в год  $t$ , равной изначальной стоимости минус накопленная амортизация (используется линейный метод начисления амортизации).

*Таблица 11*

**Ликвидационная стоимость оборудования**

Год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Ликвидационная стоимость</b>	103	91	80	68	57	46	34	23	11	0

Если у компании есть возможность продать оборудование по остаточной стоимости в любой из периодов осуществления проекта, то компании может быть выгодно заменять оборудование уже в первый год. Стоит отметить, что в реальности часто ликвидационная стоимость оборудования может быть ниже, чем остаточная стоимость, и это стоит учитывать при принятии решения о замене. На рисунке 9, как и на предыдущих графиках решения о замене выгодно принимать тогда, когда точка с координатами периода  $t$ , и отклонения значения выручки от прогнозного лежит выше (выше и правее) кривой с соответствующим значением сигма. То есть например если в год 6 отклонение значения выручки от прогноза составит 5%, то при любом уровне волатильности от 10% до 40% замена оборудования выгодна.

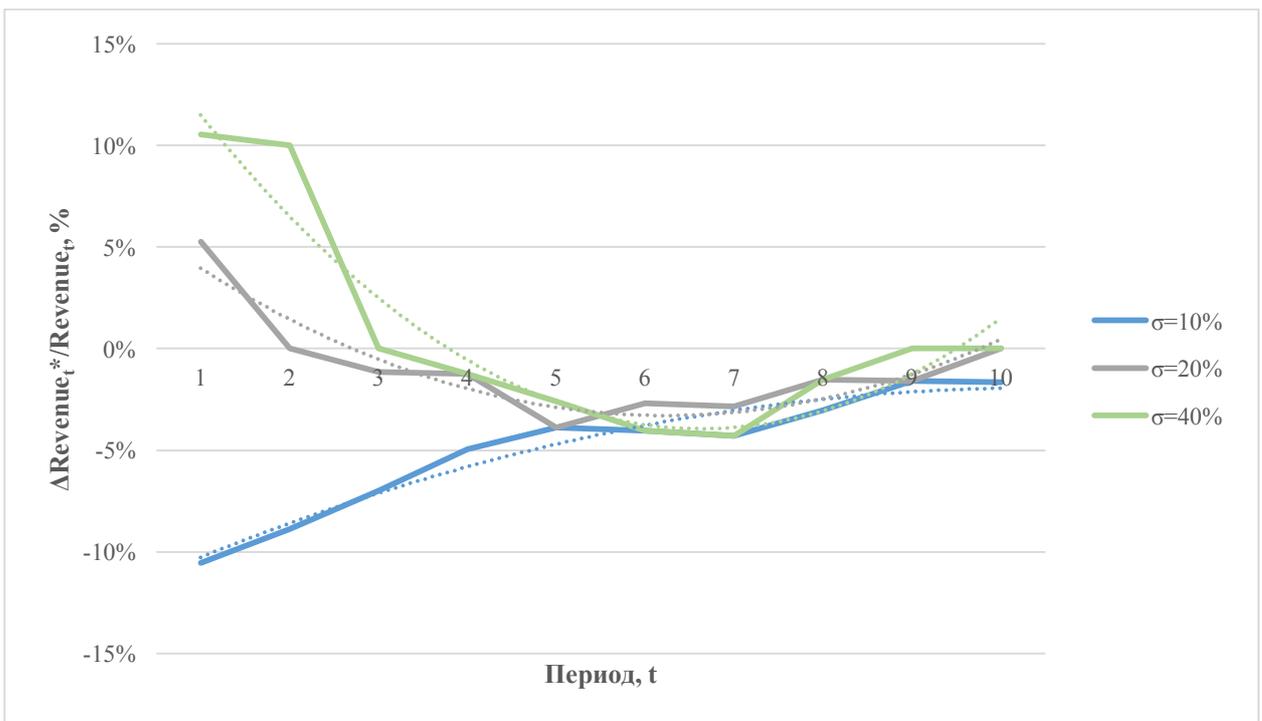


Рис.9 Оптимальный момент замены оборудования в зависимости от отклонения выручки от прогноза при разных  $\sigma$  для долгосрочного проекта с учетом ликвидационной стоимости

Анализируя полученный график, можно сделать следующие выводы:

- 1) Возможность продать оборудование по ликвидационной стоимости влияет на пороговые значения выручки, при которых замена оборудования была бы выгодна. Если в первый год мы можем продать оборудование, то его замена на новое может быть выгодна (в предыдущем параграфе обсуждалось, что замена оборудования в первый год не выгодна при любом из анализируемых уровней волатильности выручки, если ликвидационная стоимость равна нулю).
- 2) В первые годы (годы 1-3) чем выше уровень волатильности, тем выше пороговые значения выручки, необходимые для того, чтобы решение о замене оборудования было выгодным для компании. Если волатильность низкая, даже если выручка оказывается чуть ниже прогноза (но не более чем на 10%), то оборудование в первые годы заменять выгодно. Для более высоких уровней волатильности выручка должна быть чуть больше прогноза, чтобы оборудование было заменять выгодно.

Это может быть объяснено тем, что при более высоком уровне волатильности есть вероятность, что выручка в следующие годы увеличится в большей степени, а соответственно и дополнительные инвестиции, возможно, не нужны.

- 3) В целом если у компании есть возможность продать оборудование при принятии решения заменить оборудования, то это выгодно делать практически в любом

периоде с четвертого по десятый, если выручка не падает более чем на 5% ниже прогнозного значения для данного периода.

На последних этапах, в 9-10 годы, пороговые значения выручки, при которых замена оборудования выгодна, практически не отличаются с проектом, в котором ликвидационная стоимость в любой период равна 0. Причиной тому служит то, что в последние годы ликвидационная стоимость оборудования очень низкая, и значительно влиять на NPV замены не может.

### **Выводы по главе 3.**

Третья глава была посвящена применению метода реальных опционов с использованием динамического программирования к задаче о замене оборудования. Основной задачей было представить адаптированный под задачу о замене оборудования критерий принятия решения, основанный на методе реальных опционов, и применить его для ряда условных типовых проектов с целью создания общих рекомендаций для принятия решений о замене. Выводы, полученные в данной главе распространяются на типовые проекты о замене оборудования и в условиях предположений, которые были сделаны в данной главе относительно условных проектов.

Применение метода реальных опционов к задаче о замене оборудования позволяет выявить потенциальные выгоды замены оборудования до конца его срока службы. Анализ условных проектов позволил рассчитать пороговые значения выручки, при которых замена была бы выгодна в каждый из периодов  $t$ . Также было выявлено влияние уровня волатильности выручки, длительности проекта, а также ликвидационной стоимости на оптимальность решения о замене.

Более высокие уровни волатильности выручки соотносятся с более высокими пороговыми значениями, при этом особенно четко это прослеживается в долгосрочных проектах. Но при этом высокий уровень волатильности может делать замену оборудования выгодной на более ранних этапах, если выручка очень сильно, практически в разы превысит прогноз.

Сравнивая проекты с разной длительностью, как в долгосрочных, так и в краткосрочных проектах менеджеру стоит задуматься о замене оборудования уже за несколько лет до окончания проекта, если выручка не падает ниже прогнозных значений. Если же выручка падает ниже прогнозной, то не стоит заменять оборудование, поскольку ценность данного решения отрицательна.

Ликвидационная стоимость также оказывает влияние на пороговые значения выручки, при которых выгодно было бы производить замену. Если оборудование при принятии решения о замене можно продать (ликвидационная стоимость не равна нулю), то пороговое значение выручки будет ниже, и оптимальный момент замены оборудования может наступать уже на начальных этапах проекта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была рассмотрена важная управленческая проблема – проблема выбора оптимального момента замены оборудования в условиях неопределенности, рассмотренная как одно из инвестиционных решений компании.

В результате анализа литературы по данной проблеме был выявлен ряд критериев, традиционно используемых для принятия решения о замене. Было также выявлено, что на практике наиболее распространенными среди них являются метод чистой приведенной стоимости или NPV, метод экспертной оценки и метод минимизации эквивалентных годовых затрат. Однако, в условиях растущей неопределенности среды, в которой ведут свою деятельность компании, эти методы имеют ряд существенных ограничений и недостатков. А именно, они не учитывают возможности, которые могут возникать у менеджера в ходе действия проекта и создавать дополнительную ценность для компании. Например, значительное превышение прогнозных значений выручки в середине проекта может делать выгодным замену оборудования до конца установленного срока работы в связи с преимуществами более высокой производительности и меньших эксплуатационных затрат в начале срока жизни оборудования.

Метод реальных опционов, однако, учитывает возможности, которые могут создаваться в условиях неопределенности среды. Построение биномиального дерева и анализ каждого из возможных выделенных состояний среды в будущем позволяет принять к учету ценность, создаваемую управленческой гибкостью. Однако динамическое программирование – метод, широко используемый в расчетах ценности реальных опционов и в принятии решений, накладывает ряд ограничений на распространенность метода реальных опционов на практике. Сложность и непонятность расчетов вынуждает компании отказываться от применения метода реальных опционов к оценке инвестиционных решений, несмотря на концептуальные преимущества метода. При этом, используя только традиционные методы для оценки инвестиционных решений, компании могут упускать значительные выгоды, которые создают реальные опционы.

Для разработки упрощенного инструментария на основе метода реальных опционов был проведен анализ ряда типовых условных проектов и рассмотрение для них задачи о замене оборудования. С помощью динамического программирования был получен ряд пороговых значений, при которых производить замену оборудования в каждом из периодов было бы выгодно. Пороговые значения выражались в процентах отклонения реальной выручки от прогнозных значений выручки. В общем виде правило было сформулировано следующим образом: если реальная выручка превышает на  $n\%$  и более прогнозное значение

выручки в год  $t$ , то замена оборудования для компании выгодна и его следует заменять в этом периоде. Пороговые значения, полученные в результате анализа типовых условных проектов, могут быть адаптированы к проектам с другим уровнями выручки, а также использованы в качестве опоры для дальнейшего анализа с помощью других методов. То есть, достижение пороговых значений может служить сигналом для компании провести на этом этапе анализ с помощью метода NPV.

Также было рассмотрено влияние уровня волатильности выручки (рассмотрена волатильность от 10% до 40%) и длительности проекта (5 или 10 лет) на пороговые значения, при которых замену оборудования выгодно было бы производить. Более высокие уровни волатильности выручки имеют более высокие пороговые значения замены по сравнению с более низкой волатильностью в те же годы. При этом более высокая волатильность может делать выгодной замену уже на самых ранних этапах, в первые годы проекта, если выручка в несколько раз превысит прогноз – такое может произойти, если, например, спрос на инновационный продукт в первый раз попадающий на рынок был неверно оценен.

Что касается длительности проекта, сравнивая пороговые значения в одни и те же годы для краткосрочного и долгосрочного проекта, в краткосрочном они оказываются значительно ниже. В частности по причине того, что не такой длинный горизонт прогнозирования как в долгосрочном проекте несет в себе меньшую неопределенность. Также различия в пороговых значениях при разных уровнях волатильности в год  $t$  меньше в краткосрочном проекте, чем в долгосрочном.

Общая рекомендация в независимости от сроков проекта и уровня волатильности денежных платежей по проекту – рассмотрение необходимости замены оборудования на конечных этапах проекта (за 1-2 года до конца проекта). Если выручка находится на уровне прогнозов или на несколько процентов выше них, то замена оборудования может приносить компании значительные выгоды.

В данной работе также было рассмотрено влияние возможности продать оборудование при принятии решения о замене. Если ликвидационная стоимость близка к остаточной стоимости, то на практически любом этапе кроме первых нескольких лет, замена оборудования выгодна для компании, если выручка не опускается ниже прогнозов более, чем на 5%. При этом чем выше уровень волатильности выручки по проекту, тем выше пороговые значения, и особенно разница существенна на начальных этапах проекта.

В целом все перечисленные выводы с учетом разных факторов в модели были представлены в виде графиков с целью представить наиболее наглядные рекомендации, отражающие пороговые значения, при которых замена оборудования может быть

оптимальной для компании. При использовании полученных рекомендаций стоит обращать внимание на влияние уровня волатильности и срока проекта на результаты и адаптировать их под данные проекта.

Задачей в работе было адаптировать существующий метод оценки реальных опционов с помощью динамического программирования к задаче о замене оборудования, которая часто принимается компаниями, работающими в высокорискованных отраслях, в условиях высокой неопределенности. С помощью метода реальных опционов и динамического программирования был получен ряд выводов и наглядных рекомендаций для принятия решения о замене оборудования, которые были визуализированы в виде графиков. Анализ проектов также позволил выделить наиболее общие рекомендации, которые могут стать сигналом для компаний провести замену оборудования ранее конца определенного срока службы оборудования.

Основное преимущество метода реальных опционов применительно к решению о замене оборудования – это принятие во внимание управленческих возможностей, которые создает неопределенность и которые могут создавать ценность для компаний. Да, на данный момент этот метод не так широко распространен на практике ввиду сложности и огромного объема вычислений, связанных с ним. Не все менеджеры понимают и логику метода, интерпретацию результатов. Но когда-то и метод NPV казался практикам пугающе сложным, а сейчас он используется большинством компаний. Конечно, предположения, используемые в анализе и результаты должны быть проверены на соответствие здравому смыслу. Но если больше компаний начнут применять метод реальных опционов в анализе инвестиционных проектов, в том числе и проекта по замене оборудования, то будет заметно какие дополнительные выгоды может приносить более гибкое принятие решений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Брусланова Н. Оценка инвестиционных проектов методом реальных опционов [Электронный ресурс] / Н. Брусланова // Финансовый директор. — 2004. — № 7. — Режим доступа: <http://fd.ru/articles/10485-red-metod-realnyh-optsionov-v-otsenke-investitsionnyh-proektov>
- 2) Бухвалов, А. В. Реальные опционы в менеджменте: введение в проблему [Электронный ресурс] / А. В. Бухвалов // Российский журнал менеджмента. — 2004. — Т. 2, № 1. — Режим доступа: <http://elibrary.ru.ezproxy.gsom.spbu.ru:2048/item.asp?id=9227764>
- 3) Высоцкая Т. Р. Метод реальных опционов в оценке стоимости инвестиционных проектов [Электронный ресурс] / Т. Р. Высоцкая // Финансовый менеджмент. — 2006. — № 2. — Режим доступа: <http://www.finman.ru/articles/2006/2/4247.html>
- 4) Калинин, Д. Новые методы оценки стоимости компаний и принятия инвестиционных решений [Электронный ресурс] / Д. Калинин // Рынок ценных бумаг. — 2000. — № 8. — Режим доступа: <http://old.rcb.ru/archive/articles.asp?id=1153>
- 5) Окулов, В. Л. Риск менеджмент: основы теории и практика применения / В. Л. Окулов — 2016. — 154 с.
- 6) Петренева, А. Анализ многостадийных инвестиционных проектов как моделей управления / А. Петренева // Финансовая аналитика: проблемы и решения. — 2015. — Вып. 31. — С. 16-17.
- 7) Amram, M. Real Options: Managing Strategic Investment in an Uncertain World / M. Amram, N. Kulatilaka. — 1st ed. — Boston: Harvard Business School Press, 1999. — 246 p.
- 8) Antikarov, V. Real Options: A Practitioner's Guide / V. Antikarov and T. Copeland. — New York: TEXERE. — 2001.
- 9) Bean, J. C. Equipment Replacement under Technological Change / J. C. Bean, J. R. Lohmann and R. L. Smith // Naval Research Logistics. — 1994. — Vol. 41 — P. 117–128.
- 10) Bellman, R. E. Equipment Replacement Policy / R. E. Bellman // Journal of the Society for the Industrial Applications of Mathematics. — 1995. — Vol. 3. — P. 133–136.
- 11) Boer, F. P. The Real Options Solution: Finding Total Value in a High-Risk World / F. P. Boer. — 1st ed. — Wiley Finance, 2002. — P. 118-119

- 12) Brealey, R. Principles of corporate finance / R. Brealey, S. Myers, F. Allen. — 10th ed. — The McGraw-Hill/Irwin, 2011. — 969 p.
- 13) Antikarov, V. Real Options: Meeting the Georgetown Challenge / V. Antikarov and T. Copeland // Journal of Applied Corporate Finance. — 2005. — Vol. 17, N. 2. — P. 32-51.
- 14) Damodaran, A. The promise and peril of real options / A. Damodaran // Working paper. — Stern School of Business, 1999. — 75 p.
- 15) Dixit, A. K. Investment under Uncertainty / A. K. Dixit and R. S. Pindyck. — 1st ed. — Princeton: Princeton University Press, 1994. — 468 p.
- 16) Dixit, A. K. The Options Approach to Capital Investment [Электронный ресурс] / A. K. Dixit and R. S. Pindyck // Harvard Business Review. — 1995. — Режим доступа: <https://hbr.org/1995/05/the-options-approach-to-capital-investment/>
- 17) Gillespie, J. S. The Replace/Repair Decisions for Heavy Equipment [Электронный ресурс] / J. S. Gillespie, A. S. Hyde // Virginia Transportation Research Council. — 2004. — P. 3-6. — Режим доступа: [http://www.virginiadot.org/VTRC/main/online\\_reports/pdf/05-r8.pdf](http://www.virginiadot.org/VTRC/main/online_reports/pdf/05-r8.pdf)
- 18) Grant, E.L. Principles of Engineering Economy / E. L. Grant, W. G. Ireson and R. S. Leavenworth. — John Wiley and Sons, 1990.
- 19) Guitman, L. J. Principles of managerial finance / L. J. Guitman. — New York: Harper Collins, 2003. — P. 349.
- 20) Hartman, J. C. A Note on Strategy for Optimal Equipment Replacement / J. C. Hartman // Production Planning & Control. — 2005. — Vol. 16(7). — P. 733-739.
- 21) Hartman, J. C. An Economic Replacement Model with Probabilistic Asset Utilization / J. C. Hartman // IIE Transactions. — 2001. — Vol. 33. — P. 717-727.
- 22) He, Y. Real options in the energy markets : PhD Thesis / Y. He. — University of Twente, 2007.
- 23) Hopp, W. Timing Replacement Decisions under Discontinuous Technological Change / W. Hopp and S. Nair // Naval Research Logistics. — 1991. — Vol. 38. — P. 203–220.
- 24) Bowman, E. H. Real Options Analysis and Strategic Decision Making / E. H. Bowman, G. T. Moscovitz // Organization Science. — 2001. — Vol. 12, N. 6. — P. 772-777. — Режим доступа: [http://www.business.illinois.edu/josephm/BA549\\_Fall%202014/Session%207/7\\_Bowman%20and%20Moskowitz%20\(2001\).pdf](http://www.business.illinois.edu/josephm/BA549_Fall%202014/Session%207/7_Bowman%20and%20Moskowitz%20(2001).pdf)
- 25) Kelly, S. A binomial lattice approach for valuing a mining property IPO / S. Kelly // Quarterly Review of Economics and Finance. — 1998. — Vol. 38. — P. 693.

- 26) Kuliatilaka, N. A general formulation of corporate real options / N. Kulatilaka, A. Marcus // *Research in Finance*. — 1988. — Vol. 7. — P. 183-200.
- 27) Mason, S. P. The role of contingent claim analysis in corporate finance / S. P. Mason, R. C. Merton // *Recent Advances in Corporate finance* / ed. by E. Altman and M. Subrahmanyam. — Irwin, 1985. — P. 7-54.
- 28) Meyer, R. A. Equipment Replacement under Uncertainty / R. A. Meyer // *Management Science*. — 1971. — Vol. 17. — P. 750-758.
- 29) Myers, S. C. Determinants of corporate borrowing / S. C. Myers // *Journal of Financial Economics*. — 1977. — Vol. 5, N. 2. — P. 47-175.
- 30) Pelet, M. Real Options in Petroleum: Geometric Brownian Motion and Mean-Reversion with Jumps : dissertation MSc in Computing sciences / M. Pelet. — Oxford, 2003. — 62 p.
- 31) Scialdone, P. Valuing Managerial Flexibility: Challenges and Opportunities of the Real Option Approach in Practice / P. Scialdone. — 1st ed. — Culliver Verlag, 2007. — P. 96-102
- 32) De Neufville, R. Real options: dealing with uncertainty in systems planning and design / R. de Neufville // *Integrated Assessment*. — 2003. — Vol. 4, N.1. — P. 26-34
- 33) Rigopoulos, G. A Primer on Real Options Pricing Methods / G. Rigopoulos // *International Journal of Economics and Business Administration*. — 2015. — Vol. 1, N. 2. — P. 39-47
- 34) Rigopoulos, G. Real Options Adoption in Capital Budgeting: A Highlight of Recent Literature / G. Rigopoulos // *Journal of Economics and Business Research*. — 2014. — Vol. 20, N. 2 — P. 41-51
- 35) Smit, H. T. J. Investment analysis of offshore concessions in The Netherlands / H. T. J. Smit // *Financial Management*. — 1997. — Vol. 26, N. 2. — P. 5.
- 36) Teach, E. Will Real Options Take Root? Why Companies Have Been Slow to Adopt the Valuation Technique [Электронный ресурс] / E. Teach // *CFO Magazine*. — 2003. — Режим доступа: <http://ww2.cfo.com/accounting-tax/2003/07/will-real-options-take-root/> (дата обращения: 12.04.2017)
- 37) Trigeorgis, L. Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation / L. Trigeorgis. — 1st ed. — Cambridge: the MIT Press, 1996. — 427 p.
- 38) Trigeorgis, L. Making Use of Real Options Simple: an Overview and Applications in Flexible Modular Decision Making / L. Trigeorgis // *The Engineering Economist*. — 2005. — Vol. 50. — P. 25-53.

- 39) Waddell, R. A Model for Equipment Replacement Decisions and Policies / R. A. Waddell // Interfaces. — 1983. — Vol. 13. — P. 1-7.
- 40) Wagner, H. M. Principles of Operations Research / H. M. Wagner — 1st ed. — Prentice-Hall, 1975.
- 41) Weissmann, J. Computerized Equipment Replacement Methodology / J. Weissmann, A. J. Weissmann and S. Gona // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. — 2003. — Vol. 1824. — P. 77-83.