

На правах рукописи

Воробьева Анна Александровна

**ОПТИМИЗАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕНЕЖНЫХ ПОТОКОВ  
ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С НЕОПРЕДЕЛЕННЫМ ГРАФИКОМ  
РЕАЛИЗАЦИИ**

Специальность 08.00.13 – «Математические и инструментальные методы экономики»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата экономических наук

Москва – 2008

Работа выполнена на кафедре математических методов анализа экономики Экономического факультета Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: Доктор экономических наук, профессор  
Грачева Марина Владимировна

Официальные оппоненты: Доктор экономических наук, профессор  
Афанасьев Михаил Юрьевич

Доктор экономических наук, профессор  
Орлова Елена Роальдовна

Ведущая организация: Государственный Университет Управления

Защита состоится « 20 » ноября 2008 г. в 15:00 часов на заседании Диссертационного совета Д 501.001.35 при Московском Государственном Университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, 2-й учебный корпус, экономический факультет, аудитория № П1.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (2-й учебный корпус).

Автореферат разослан « 17 » октября 2008 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета,  
кандидат экономических наук, доцент

Туманова Е.А.

# 1. Общая характеристика работы

## *Актуальность темы и состояние проблемы*

Возросшая в последние годы инвестиционная активность обуславливает увеличение потребности в финансовых ресурсах. Осуществление крупных проектов зачастую затрудняется из-за ограничений в получении необходимого объема заемных средств, поэтому инвесторы используют различные схемы финансирования: синдицированное кредитование, последовательное привлечение займов под залог имущества действующего предприятия. В числе крупных проектов существуют такие, развитие которых происходит постепенно: поэтапный ввод новых производственных мощностей, увеличение количества основных средств производства или объектов одной сети и т.д. Эти проекты на начальной стадии требуют небольших финансовых вложений, а в дальнейшем могут финансироваться за счет реинвестирования прибыли. График реализации проекта в данном случае зависит от финансовых результатов деятельности и не может прогнозироваться на основании маркетингового исследования или сравнения с аналогами, т.е. возникает проблема его неопределенности.

Однако традиционно моделирование финансовых потоков по проекту основывается на некотором предположении относительно периодов и объемов осуществления инвестиционных затрат, получения операционных доходов и финансирования проекта. Таким образом, обычно график реализации проекта задается экзогенно, а целью построения прогноза движения денежных средств является расчет показателей эффективности, на основании которых принимается решение о целесообразности инвестиционных вложений. При этом, чем больше упрощений используется при построении финансовых моделей, тем больше погрешность в расчетах показателей эффективности и в оценке их чувствительности к изменению значений исходных данных.

Применение экономико-математических методов повышает эффективность экономического анализа за счет расширения набора факторов, обоснования принимаемых управленческих решений, выбора оптимального варианта использования хозяйственных ресурсов, выявления и мобилизации резервов повышения эффективности производства. Наиболее часто применяемым экономико-математическим инструментом является оптимизационное моделирование, так как большинство задач, с которыми приходится сталкиваться многим компаниям (максимизация прибыли, минимизация издержек и т.д.) при анализе хозяйственной деятельности предприятия, многовариантны. Среди множества вариантов необходимо выбрать оптимальный. Если задача выбора решается на основании

здорового смысла и опыта управляющих, отсутствует доказательство того, что найденное решение является наилучшим. В современных условиях, когда даже незначительные ошибки могут привести к огромным потерям, что, в первую очередь, характерно для инвестиционной деятельности, применение оптимизационных методов анализа позволяет снизить аналитический риск до минимума.

Аналогичная задача характерна и для проектов, предполагающих реинвестирование прибыли: прогнозирование графика реализации экспертным путем, т.е. экзогенно, вызывает трудности, а перебор возможных вариантов требует значительных временных затрат. При этом выбранный на основании проведенных расчетов сценарий не всегда оказывается оптимальным. В связи с этим возникает необходимость в создании инструмента, позволяющего определять оптимальный график реализации проекта. В некоторых компаниях, занимающихся оценкой инвестиционных проектов, существуют практические наработки по данной проблеме, однако обобщенного структурированного теоретического исследования в этом направлении не проводилось.

На основании вышеизложенного тема представленной диссертации является актуальной.

### ***Объект и предмет исследования***

Объектом исследования являются инвестиционные проекты с неопределенным графиком реализации, т.к. именно данный тип проектов требует особого подхода к моделированию денежных потоков.

Предметом исследования является оптимизация графика реализации инвестиционного проекта, предполагающего развитие за счет реинвестирования прибыли, и анализ устойчивости оптимального решения.

### ***Цель и задачи исследования***

**Целью** данного исследования является разработка оптимизационной модели денежных потоков для оценки эффективности и анализа рисков инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации.

В соответствии с этой целью в работе были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Определить правило отнесения инвестиционного проекта к проектам с неопределенным графиком реализации и провести классификацию данных проектов;
2. Установить, какой показатель эффективности является наилучшим критерием оптимизации при моделировании денежных потоков инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации в виде задачи линейного программирования;

3. Предложить методику моделирования денежных потоков, которая позволит значительно снизить погрешность расчетов за счет применения более сложных взаимосвязей между переменными модели по сравнению с традиционными подходами;
4. Построить оптимизационные модели денежных потоков для разных видов проектов с неопределенным графиком реализации, позволяющие рассчитывать оптимальные графики, а в некоторых случаях и масштабы развития проектов, и апробировать их на примере реального инвестиционного проекта;
5. Исследовать границы устойчивости оптимального решения (провести, так называемый, постоптимальный анализ), основываясь на примере реального инвестиционного проекта, и, исходя из полученных выводов, разработать методику проведения анализа чувствительности и условий безубыточности для проектов с неопределенным графиком реализации.

#### ***Теоретическая и методологическая основа исследования***

Методология исследования базируется на принципах оптимизационного динамического моделирования, а также инвестиционного проектирования.

Теоретическую основу диссертационной работы составляют труды ряда отечественных и зарубежных авторов в области инвестиционного анализа и математического моделирования.

В диссертации применялись положения действующего законодательства, нормативные материалы федерального и регионального уровней, методологические положения экономической теории и финансового менеджмента. Все расчеты и построение моделей в рамках данного исследования проводились с помощью электронных таблиц MS Excel.

#### ***Научная новизна работы***

Новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Введено понятие инвестиционного проекта с неопределенным графиком реализации и определен критерий, согласно которому к данному виду относятся проекты, у которых график развития не может быть задан экзогенно, а является результатом построения финансовой модели. Проведена классификация этих проектов по двум классификационным признакам: по объекту инвестиций и по ограничению на масштаб. Выделены четыре вида проектов с неопределенным графиком реализации, что позволило учесть специфику каждого из них при построении оптимизационной модели.
2. Обосновано, что наилучшим критерием оптимизации при моделировании денежных потоков инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации в форме задачи

линейного программирования является показатель чистой приведенной стоимости (NPV), так как он отражает изменение доходности не только в результате изменения структуры денежных потоков, но и в результате изменения сроков реализации проекта.

3. Разработаны методические рекомендации по моделированию типовых зависимостей между переменными модели, которые учитывают период выхода на плановые показатели, сезонность, зависимость от накопленных величин, постепенное изменение каких-либо параметров проекта. Применение данных рекомендаций позволяет значительно сократить временные затраты на построение финансовых моделей и снизить аналитический риск (ошибки при расчетах), а также проводить анализ чувствительности к временным параметрам проекта.

4. Построены оптимизационные модели денежных потоков для четырех выделенных в диссертации видов инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации. Предложен показатель предельной чистой приведенной стоимости и алгоритм его расчета, необходимый для определения максимального значения целевой функции в случае проектов с неопределенным масштабом развития, так как для инвестиционных проектов важен не только предельный доход, создающийся новыми инвестициями, но и окупаемость данных инвестиций с учетом дисконтирования. Два вида моделей апробированы на примере реального инвестиционного проекта создания транспортной компании, расширение автопарка которой происходит за счет реинвестирования прибыли.

5. Оценены границы устойчивости оптимального решения с помощью постоптимального анализа построенной модели проекта создания транспортной компании. На основании полученных результатов была разработана методика проведения анализа чувствительности и условий безубыточности по NPV для рассматриваемого класса проектов. Сформулировано правило проведения анализа чувствительности для проектов с неопределенным графиком реализации, согласно которому варьирование экзогенных параметров должно быть таким, чтобы измененные значения оставались в границах устойчивости оптимального решения. Предложена модификация метода анализа условий безубыточности по NPV, так как применение стандартного алгоритма поиска точки безубыточности либо не дает решения, либо полученная точка безубыточности не соответствует найденному оптимальному решению.

#### ***Теоретическая и практическая значимость работы***

Теоретическая значимость работы состоит в том, что среди проектов с нестандартным профилем денежных потоков был исследован класс проектов с неопределенным графиком

реализации. Сформулирован критерий отнесения инвестиционного проекта к данному классу. Разработанные в диссертации оптимизационные модели денежных потоков являются универсальным инструментом для определения оптимального графика реализации проекта, предполагающего развитие за счет реинвестирования прибыли.

Практическая значимость работы определяется тем, что разработан универсальный инструмент для оценки оптимального графика и масштаба реализации, максимальной эффективности и анализа рисков инвестиционных проектов, предполагающих развитие за счет реинвестирования прибыли, которые в настоящее время широко распространены. Предложенные рекомендации по моделированию денежных потоков инвестиционных проектов будут полезны для инвестиционных аналитиков, консалтинговых компаний и независимых экспертов при построении финансовых моделей не только для проектов с неопределенным графиком реализации, но и для других классов проектов.

Теоретическую и практическую значимость имеет методика проведения анализа чувствительности и условий безубыточности по NPV для проектов с неопределенным графиком реализации.

#### ***Апробация работы***

Основные положения работы докладывались на научном семинаре «Инвестиционное проектирование» кафедры Математических методов анализа экономики Экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (октябрь 2007 г.), на ежегодной Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов 2008» (апрель 2008 г., Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова).

#### ***Публикации***

Основные результаты работы изложены в 5 публикациях объемом 3,2 п.л., в том числе 3 публикации объемом 2,4 п.л. в журналах, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

#### ***Структура диссертации***

Исследование объемом 165 страниц состоит из введения, трех глав, заключения, четырех приложений и библиографии. Работа содержит 3 рисунка и 30 таблиц. Список литературы включает 116 наименований.

#### ***Оглавление***

Введение

Глава 1. Анализ современных подходов к моделированию денежных потоков инвестиционных проектов

1.1 Этапы экономической оценки инвестиционных проектов

1.2 Особенности экономической оценки нестандартных инвестиционных проектов	
1.3 Методика моделирования денежных потоков инвестиционных проектов	
Глава 2. Оптимизационная модель денежных потоков инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации	
2.1 Классификация инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации	
2.2 Построение оптимизационной модели денежных потоков для разных видов инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации	
2.3 Аprobация оптимизационной модели денежных потоков на примере инвестиционного проекта создания транспортной компании	
Глава 3. Методические рекомендации по оценке рисков инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации	
3.1 Анализ границ устойчивости оптимального решения на примере инвестиционного проекта создания транспортной компании	
3.2 Особенности проведения анализа чувствительности	
3.3 Методика проведения анализа условий безубыточности по NPV	
Заключение	
Приложения	
Список использованной литературы.	

## **2. Основные положения диссертации**

### ***Понятие инвестиционного проекта с неопределенным графиком реализации***

В теории проектного анализа выделяются два вида инвестиционных проектов: со стандартными и с нестандартными денежными потоками. Нормальным, или стандартным (гладким) профилем инвестиционного проекта, называется профиль, характеризующийся только одним чистым оттоком наличности (в начальный период времени), за которым следуют только чистые притоки. Среди нетипичных проектов особое внимание уделяется тем проектам, у которых зависимость NPV от ставки дисконтирования имеет нетрадиционный вид.

Однако существуют инвестиционные проекты с нестандартным профилем денежных потоков, особенности анализа которых не нашли отражения в существующих исследованиях по инвестиционному проектированию. Поэтому из множества инвестиционных проектов был выделен класс проектов, предполагающих реинвестирование прибыли для дальнейшего развития. Их профили являются нестандартными, несмотря на то, что зависимость NPV от ставки дисконтирования имеет типичный вид. Такие проекты имеют несколько инвестиционных периодов, но их количество может изменяться в зависимости от ставки дисконтирования. Это связано с тем, что если ставка дисконтирования больше внутренней нормы доходности, то проект перестает быть эффективным еще на ранних стадиях его реализации, т.е. дальнейшее развитие проекта теряет смысл. Кроме того, количество инвестиционных периодов зависит и от других параметров, которые определяют финансовые



результаты проекта. При этом инвестиционные периоды могут сдвигаться на более ранний или поздний срок.

В диссертационной работе предложено исследовать проекты, характеризующиеся неопределенностью графика реализации, так как данный вид не выделяется и не анализируется, несмотря на то, что обладает существенными для целей оценки эффективности характеристиками.

Под проектом с неопределенным графиком реализации понимается инвестиционный проект, график развития которого не может быть задан экзогенно для целей построения финансовой модели, а определяется эндогенно на основании денежных потоков. Так как денежные потоки зависят от графика развития бизнеса, то финансовая модель в данном случае предполагает, что на каждом последующем шаге график осуществления проекта рассчитывается на основании потоков предыдущего периода.

Для того чтобы учесть специфику инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации при построении финансовой модели в форме оптимизационной задачи, была проведена их классификация по двум признакам:

- По объекту инвестиций:
  - Увеличение производственной мощности (например, покупка дополнительных производственных линий, расширение автопарка транспортной компании за счет прибыли действующего предприятия);
  - Расширение сети (например, увеличение количества ресторанов, магазинов и т.д. за счет прибыли, получаемой от деятельности уже существующих объектов сети);
- По ограничению на масштаб:
  - С экзогенно заданным ограничением на масштаб проекта (изначально известно максимальное количество объектов сети, максимальная производственная мощность и т.д.);
  - Без ограничения на масштаб (масштаб проекта определяется на основании критерия оптимизации).

#### ***Обоснование выбора критерия оптимизации***

Целью осуществления инвестиционных проектов, как правило, является получение прибыли. Однако не все проекты, характеризующиеся положительными потоками по операционной деятельности, оказываются экономически оправданными. Для оценки эффективности инвестиционных проектов существует ряд показателей, на основании которых принимается решение о целесообразности их реализации. Следовательно, в качестве

критерия оптимизации также следует использовать показатель экономической эффективности.

Наиболее часто применяются чистая приведенная стоимость (NPV), внутренняя норма доходности (IRR), простой и дисконтированный сроки окупаемости (PBP и DPBP). В научных трудах, посвященных проектному анализу, ведутся дискуссии о том, какой из показателей является наилучшим в зависимости от того, сравниваются ли несколько альтернативных проектов или анализируется только один проект, какой вид проекта рассматривается и т.д. Поэтому в диссертации было обосновано, какой из приведенных показателей является наилучшим критерием применительно к рассматриваемой ситуации. Для этого сравнивались чистая приведенная стоимость и внутренняя норма доходности. В результате, наряду с неудобством использования IRR в качестве целевой функции, было показано, что этот показатель не отражает изменения доходности проекта при сдвиге сроков его реализации, что является существенным фактором при анализе инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации. Таким образом, в качестве критерия оптимизации был выбран NPV.

#### ***Методические рекомендации по моделированию денежных потоков***

Основной методологической базой в сфере инвестиционного проектирования в России являются «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов», утвержденные Министерством экономики РФ и Министерством финансов РФ, где описывается, какие параметры должны быть учтены в той или иной сфере деятельности. Однако отсутствует методика моделирования типовых ситуаций с точки зрения применения экономико-математического аппарата. Конечной целью построения денежных потоков, согласно теории проектного анализа, является расчет показателей эффективности и принятие решения относительно целесообразности инвестиций. Между тем анализ проектов с неопределенным графиком реализации требует в первую очередь определить оптимальный сценарий развития, а на основании максимального значения целевой функции, в роли которой выступает NPV, принимается решение об эффективности проекта. В качестве инструмента, позволяющего получить оптимальное решение, предложено использовать оптимизационную модель, которая учитывает межвременные зависимости между параметрами проекта.

Обычно при построении финансовой модели вводится ряд упрощающих предположений, многие переменные, которые могут быть представлены в виде функций от других переменных, либо задаются экзогенно, либо не учитывают важных взаимосвязей.

Кроме того, как правило, все временные параметры (продолжительность этапов проекта, лаги и т.д.) являются детерминированными и не определяют зависимостей между эндогенными переменными. Полученные оценки показателей эффективности при использовании такого упрощенного подхода при моделировании денежных потоков обладают высокой погрешностью, а многочисленные пересчеты модели могут привести к аналитическим ошибкам.

При проведении оптимизации даже небольшие отклонения параметров от их истинных значений могут привести к тому, что полученное решение окажется неоптимальным. Поэтому необходимо учитывать как можно больше взаимосвязей и их особенностей (в том числе межвременную зависимость) между переменными модели денежных потоков проекта.

В связи с этим в работе были предложены схемы моделирования типовых взаимосвязей между переменными, которые могут быть использованы при построении финансовых моделей инвестиционных проектов для учета сезонности потоков, зависимости от накопленных величин, снижения или увеличения затрат по одной и той же статье с течением времени, а также для нивелирования зависимости переменных от будущих периодов.

#### ***Оптимизационная модель денежных потоков проекта с неопределенным графиком реализации***

В общем случае модель денежных потоков проекта с неопределенным графиком реализации в виде задачи линейного программирования может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 NPV &\rightarrow \max_{b_t}; \\
 NPV &= \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+E)^t}; \text{ где } CF_t = i_t + o_t + c_t; \\
 i_t &= \sum_{j=1}^n i_{jt}, i_{jt} \geq 0; o_t = \sum_{j=1}^m o_{jt}, o_{jt} \leq 0; c_t = \sum_{j=1}^k c_{jt}, c_{jt} \leq 0, \\
 i_{jt} &= f_{jt}(X); o_{jt} = z_{jt}(X); c_{jt} = \psi_{jt}(X); \\
 b_t &= \varphi_t(CF_{t-1}); \\
 t &= 1, 2, \dots, T,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $X$  – набор экзогенных переменных (определяются на основании данных маркетингового анализа и предположений, выдвинутых в ходе анализа факторов неопределенности);

$b_t$  – количество объектов инвестиций, вложения в которые начинается в период  $t$ ;

$i_{jt}$  – выручка от деятельности  $j$  в период  $t$  (определяется эндогенно зависимостью вида  $f_{jt}$  от экзогенных переменных),  $j = 1..n$ ,  $n$  – количество видов деятельности;

$i_t$  – совокупная выручка в период  $t$  (определяется как сумма выручки по всем видам деятельности в период  $t$ );

$o_{jt}$  – текущие затраты по статье  $j$  в период  $t$  (определяются эндогенно зависимостью вида  $z_{jt}$  от экзогенных переменных),  $j = 1..m$ ,  $m$  – количество статей затрат;

$o_t$  – совокупные текущие затраты в период  $t$  (определяются как сумма текущих затрат в период  $t$  по всем статьям);

$c_{jt}$  – инвестиции по статье  $j$  в период  $t$  (определяются эндогенно зависимостью вида  $\psi_{jt}$  от экзогенных переменных),  $j = 1..k$ ,  $k$  – количество статей затрат;

$c_t$  – совокупные инвестиционные затраты в период  $t$  (определяются как сумма инвестиционных затрат в период  $t$  по всем статьям);

$CF_t$  – итоговый денежный поток в период  $t$  определяется как сумма всех потоков в период  $t$ ;

$T$  – горизонт планирования проекта (определяется эндогенно в зависимости от продолжительности эксплуатации основных средств и периода выхода на плановые показатели);

$E$  – годовая ставка дисконтирования (принимается неизменной во времени, так как предполагается, что оценка эффективности проекта производится исходя из текущей стоимости акционерного капитала).

Функции  $f_{jt}(X)$ ,  $z_{jt}(X)$ ,  $\psi_{jt}(X)$  предлагается строить с учетом приведенных в работе методических рекомендаций по моделированию денежных потоков.

Решением оптимизационной задачи (1) является такой вектор  $(b^*_1 \ b^*_2 \ \dots \ b^*_T)$ , при котором целевая функция  $NPV$  принимает максимальное значение.

Представление финансовой модели инвестиционного проекта в виде оптимизационной задачи позволяет рассчитать неопределенные параметры графика реализации проекта  $(b_t)$ , при которых он является наиболее эффективным, а значение целевой функции при оптимальном решении показывает целесообразность реализации проекта.

Задача (1) представлена в дискретном виде, так как при переходе от непрерывного описания денежного потока к дискретному расчеты становятся более наглядными для

экспертов, их можно сводить в таблицы и производить с помощью электронных таблиц MS Excel.

В таблице 1 представлен вид функции  $b_t = \varphi_t(CF_{t-1})$  в зависимости от вида проекта с неопределенным графиком реализации. Каждая ячейка характеризуется сочетанием двух классификационных признаков проекта. В таблице используются следующие обозначения:

$s_t$  – бинарная переменная-индикатор, показывающая возможность инвестирования в период  $t$ ;

$b'$  – количество объектов инвестиций на каждом этапе расширения проекта;

$S^0$  – необходимый объем денежных средств для инвестирования в  $b'$  объектов с учетом запаса прочности;

$b_1$  – количество объектов инвестиций в первый период реализации проекта;

$b_{\max}$  – максимальное количество объектов инвестиций в случае наличия ограничения на масштаб проекта;

$MNPV_t$  – предельная чистая приведенная стоимость в расчете на один объект инвестирования в момент  $t$ , которая показывает вклад каждого объекта инвестирования периода  $t$  в NPV проекта.

**Таблица 1. Вид зависимости неопределенного параметра графика реализации проекта**

Вид проекта	По объекту инвестиций	
	Увеличение производственной мощности	Расширение сети
По ограничению на масштаб		
С ограничением на масштаб	$b_t = \begin{cases} b_1, t = 1; \\ b', t > 1, s_t = 1; \\ 0, \text{ в остальных случаях;} \end{cases}$ $s_t = \begin{cases} 1, \sum_{j=1}^{t-1} CF_j \geq S^0, \sum_{j=1}^{t-1} b_j \leq b_{\max} - b'; \\ 0, \text{ в остальных случаях;} \end{cases}$	$b_t = \begin{cases} b_1, t = 1; \\ 1, t > 1, \sum_{j=1}^{t-1} CF_j \geq S^0, \sum_{j=1}^{t-1} b_j \leq b_{\max} - b'; \\ 0, \text{ в остальных случаях;} \end{cases}$
Без ограничения на масштаб	$b_t = \begin{cases} b_1, t = 1; \\ b', t > 1, s_t = 1; \\ 0, \text{ в остальных случаях;} \end{cases}$ $s_t = \begin{cases} 1, \sum_{j=1}^{t-1} CF_j \geq S^0, MNPV_t > 0; \\ 0, \text{ в остальных случаях;} \end{cases}$	$b_t = \begin{cases} b_1, t = 1; \\ 1, t > 1, \sum_{j=1}^{t-1} CF_j \geq S^0, MNPV_t > 0; \\ 0, \text{ в остальных случаях;} \end{cases}$

Для определения предельной чистой приведенной стоимости ( $MNPV_t$ ) на один объект инвестирования предложен следующий алгоритм:

- В каждом периоде рассчитывается предельная прибыль на один новый объект инвестирования в предположении, что в данном периоде будет происходить увеличение масштаба проекта.
- Далее из предельной прибыли вычитается налог на прибыль и прибавляется предельная амортизация на один новый объект инвестирования, в результате чего получается предельный денежный поток по текущей деятельности.
- Используя формулу для расчета суммы  $(T - t - l' + 1)$  членов геометрической прогрессии (где  $l'$  – лаг между периодом инвестирования и вводом в эксплуатацию основных средств), первым членом которой является предельный денежный поток по текущей деятельности ( $MOCF_{t+l'}$ ) в период  $(t + l')$ , приведенный к началу месяца  $t$

$$\left( \frac{MOCF_{t+l'}}{(1+E)^{\frac{l'}{12}}} \right), \text{ а знаменателем – коэффициент дисконтирования } \left( \frac{1}{(1+E)^{\frac{1}{12}}} \right), \text{ предельный}$$

денежный поток в предположении, что в данном периоде будет происходить увеличение масштаба проекта, экстраполируется на все будущие периоды до конца проекта.

- Из полученной величины вычитаются инвестиционные затраты на один объект инвестирования. Данная величина является аналогом NPV, но рассчитывается исходя из предельных потоков, поэтому была названа предельной чистой приведенной стоимостью. Необходимо отметить, что инвестиционный период на каждом шаге расширения масштаба проекта сопряжен с временными убытками (наличие дополнительных текущих затрат в инвестиционный период, кроме того, существует период выхода на плановые показатели по выручке и т.д.), поэтому при расчете MNPV также следует вычитать сумму убытков, которые могут рассматриваться как дополнительные инвестиционные вложения.

### ***Апробация модели***

Апробация оптимизационной модели денежных потоков инвестиционного проекта с неопределенным графиком реализации проводилась на примере проекта создания транспортной компании, расширение автопарка которой происходит за счет реинвестирования прибыли. Первоначально была построена модель для проекта с ограничением на масштаб. Предпосылки и результаты расчетов представлены в таблице 2. Построенная модель позволила рассчитать оптимальный график осуществления рассматриваемого проекта.

**Таблица 2. Предпосылки и результаты построения оптимизационной модели денежных потоков проекта создания транспортной компании с ограничением на масштаб**

Экзогенные переменные	Учтенные факторы	Результаты
<p>Средняя длина плеча доставки;  Средняя скорость и время движения;  Норма загрузки автопарка;  Норма технологического перепробега;  Тариф на перевозку за 1 км плеча доставки;  Максимальный размер автопарка (100 транспортных средств);  Первоначальный размер автопарка;  Количество объектов инвестирования на каждом шаге расширения;  Стоимость автопоезда;  Условия лизинга (аванс, выкупная стоимость, лизинговый период, удорожание по лизингу);  Прочие инвестиционные затраты в расчете на 1 транспортное средство (ТС);  Фиксированные первоначальные инвестиционные затраты;  Период поставки и ввода в эксплуатацию;  Заработная плата водителей, прочего основного производственного и административного персонала;  Затраты на страхование;  Стоимость и периодичность технического обслуживания (ТО) (ежегодного и по пробегу);  Стоимость и периодичность замены авторезины;  Стоимость и периодичность мойки;  Стоимость и линейная норма расхода топлива;  Аренда стоянки на 1 ТС и офиса;  Затраты на тех. поддержку (переменные и постоянные);  Прочие затраты;  Налоги (транспортный налог, НДС, налог на имущество, налог на прибыль);  Период выхода на плановые показатели;  Продолжительность эксплуатации;  Ставка дисконтирования.</p>	<p>1. Период выхода на плановые показатели по каждой партии ТС;  2. Сезонность затрат;  3. Зависимость некоторых видов затрат от накопленных величин за предыдущие периоды;  4. Изменение некоторых видов затрат с течением времени;  5. Отсутствие зависимости от будущих периодов.</p>	<p><math>NPV_{\max} = 8\,174\,413</math> у.е.  Расширение масштабов проекта происходит в 18, 27, 35 периодах.</p>

При переходе от модели с ограничением на масштаб к модели без ограничения на масштаб было введено предположение, что при расширении автопарка свыше  $b_{\max}$  компания не сможет обеспечить прежнюю норму загрузки, и выручка на одно транспортное средство будет снижаться, следовательно, будет снижаться предельная выручка на новые транспортные средства.

Для расчета оптимального объема автопарка в каждом периоде рассчитывалась предельная чистая приведенная стоимость на одно транспортное средство. В выбранном примере данный расчет был затруднен тем, что некоторые виды затрат являются нерегулярными, т.е. не привязаны к календарным периодам, а зависят от интенсивности эксплуатации основных средств. Для вычисления предельной чистой приведенной стоимости нерегулярные затраты на каждом шаге планирования пересчитывались в среднемесечные на основании данных о предполагаемой загрузке транспортных средств в случае увеличения автопарка в рассматриваемом периоде, после чего определялись предельные издержки. Предпосылки и результаты расчетов представлены в таблице 3.

**Таблица 3. Предпосылки и результаты построения оптимизационной модели денежных потоков инвестиционного проекта создания транспортной компании без ограничения на масштаб**

Дополнительные экзогенные переменные	Результаты решения
Темпы прироста постоянных затрат; Дельта снижения нормы загрузки автопарка.	$NPV_{\max} = 8\,630\,426 \text{ у.е.}$ Расширение масштабов проекта происходит в 18, 27, 35, 39, 44 периодах. Оптимальный масштаб: $\sum_{t=1}^T b_t = 140$ .

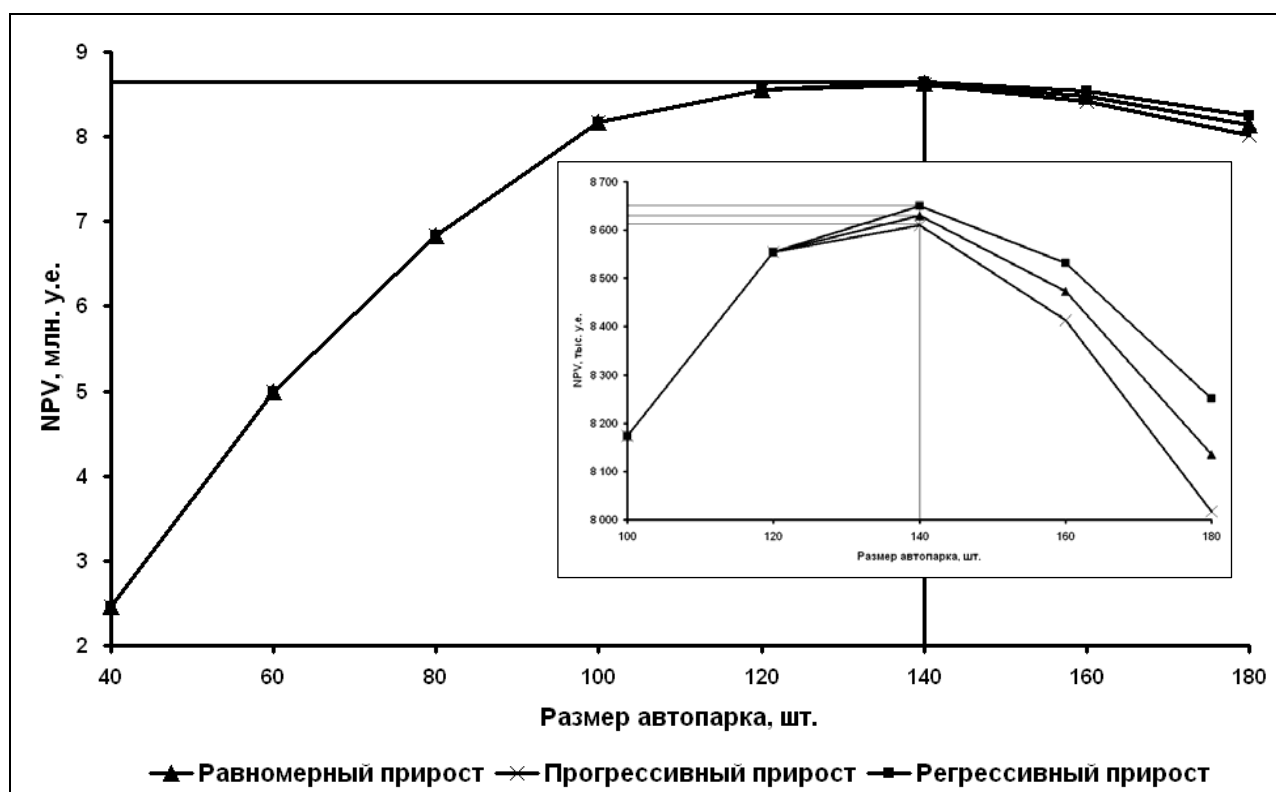
В рассмотренном примере предполагалось, что постоянные текущие затраты остаются неизменными до тех пор, пока размер автопарка не превышает заданного в предыдущем случае ограничения по масштабу, т.е.  $b_{\max}$ . Далее с ростом автопарка не только снижается коэффициент загрузки транспортных средств, но и увеличиваются постоянные расходы. Таким образом, предельные постоянные расходы равны нулю при росте автопарка до  $b_{\max}$  и больше нуля при росте сверх  $b_{\max}$ . При решении оптимизационной задачи для рассматриваемого проекта без ограничения на масштаб были рассмотрены три ситуации:

- Постоянные текущие затраты имеют стабильный прирост (каждый последующий этап расширения масштаба проекта увеличивает постоянные текущие затраты на одну и ту же величину в процентном соотношении). В таблице 3 представлены результаты расчетов при равномерном приросте текущих постоянных затрат;
- Постоянные текущие затраты имеют прогрессивный прирост (каждый последующий этап расширения масштаба проекта увеличивает постоянные текущие затраты на большую величину в процентном соотношении по сравнению с предыдущим периодом; при этом шаг увеличения коэффициента прироста принимался постоянным, а сам коэффициент прироста имел ограничение сверху, после достижения которого прирост становился равномерным). Оптимальный масштаб и график реализации проекта аналогичен предыдущему случаю,  $NPV_{\max} = 8\,610\,607 \text{ у.е.}$ ;



- Постоянные текущие затраты имеют регрессивный прирост (каждый последующий этап расширения масштаба проекта увеличивает постоянные текущие затраты на меньшую величину в процентном соотношении по сравнению с предыдущим периодом; при этом шаг снижения коэффициента прироста принимался постоянным, а сам коэффициент прироста имел ограничение снизу, после достижения которого прирост становился равномерным). Оптимальный масштаб и график реализации проекта аналогичен предыдущим случаям,  $NPV_{\max} = 8\,650\,245$  у.е.

На рисунке 1 показана зависимость NPV проекта от размеров автопарка при разных ограничениях на прирост постоянных издержек.



**Рисунок 1 Зависимость NPV проекта от размеров автопарка**

Таким образом, построенная оптимизационная модель денежных потоков инвестиционного проекта создания транспортной компании позволила определить оптимальный масштаб и график реализации проекта. Следует заметить, что при разных условиях роста условно-постоянных затрат решение совпало, что подтверждает достоверность модели.

***Постоптимальный анализ. Методические рекомендации по оценке рисков проектов с неопределенным графиком реализации***

Постоптимальный анализ является важной частью линейного программирования, особенно при решении задач, связанных с планированием, так как большая часть параметров таких задач точно не известна, и на практике обычно берутся приближенные значения, которым могут быть равны эти параметры. Исследование устойчивости оптимального решения предполагает изучение влияния изменений отдельно взятых параметров модели на результаты оптимального решения. Таким образом, необходимо определить такие диапазоны изменения этих параметров, в которых оптимальное решение остается оптимальным, т.е. является допустимым и обеспечивает максимальную эффективность проекта.

Для определения границ изменения экзогенных параметров, в которых сохраняется найденное оптимальное решение, при варьировании каждого экзогенного параметра предлагается решить оптимизационную задачу (1), модифицированную следующим образом в предположении, что варьируемый экзогенный параметр не является детерминированным:

$$\begin{aligned} NPV \rightarrow \underset{x_q}{extr} \\ b_t = b_t^*, \text{ для всех } 1 \leq t \leq T \end{aligned} \quad (2)$$

где  $(b_1^* \dots b_t^* \dots b_T^*)$  – найденное оптимальное решение;

$x_q$  – исследуемый экзогенный параметр из набора  $X$ .

При решении задачи (2) следует учитывать допустимые границы изменения каждого экзогенного параметра  $x_q$ . В результате для каждого  $x_q$  определяются значения, при которых целевая функция принимает максимальное и минимальное значение при условии сохранения найденного оптимального решения.

Детерминированные параметры модели делятся на две группы – непрерывные и дискретные. В рассматриваемом примере инвестиционного проекта к дискретным переменным относятся все временные параметры, максимальный размер автопарка, первоначальный размер автопарка, количество объектов инвестирования на каждом шаге расширения. Кроме того, целесообразно отнести к дискретным параметрам и периодичность проведения технического обслуживания и замены авторезины. Несмотря на то, что последние два показателя выражены в километрах, как правило, производители указывают периодичность проведения ТО в тысячах километров, и погрешность составляет несколько сотен километров. Если влияние дискретного экзогенного параметра на целевую функцию

велико, то может возникнуть ситуация, когда граница устойчивости оптимального решения по дискретному параметру является точкой.

Как правило, при проведении экономической оценки инвестиционных проектов исследуются границы изменения параметров, от которых зависит прибыль проекта, т.е. цены на продукцию (работы, услуги), объемы продаж, цены на сырье и материалы, стоимость которых составляет существенную часть себестоимости (более 10%), расходы на оплату труда. Для рассматриваемого в диссертации проекта создания транспортной компании были проанализированы границы изменения всех непрерывных и дискретных экзогенных параметров. В таблице 4 представлены границы изменения для трех непрерывных показателей.

**Таблица 4. Границы устойчивости оптимального решения**

<b>Параметр</b>	<b>Базовое значение параметра</b>	<b>Нижняя граница изменения</b>	<b>Верхняя граница изменения</b>
Тариф на перевозку между городами за 1 км плеча доставки	2,84 у.е.	2,8352 у.е.	2,8409 у.е.
Тариф на перевозку внутри города за 1 км плеча доставки	12,30 у.е.	11,7748 у.е.	12,4000 у.е.
Норма загрузки автопарка	70%	69,85%	70,03%

Из таблицы 4 видно, что отклонения от базового значения для некоторых параметров составляют менее 1%. Таким образом, найденное оптимальное решение даже при небольших изменениях этих параметров (например, при изменении тарифа на перевозку между городами на 1%) перестанет быть оптимальным, следовательно, проект будет иметь другой график реализации, а в некоторых случаях и другой масштаб развития.

Полученные выводы об устойчивости оптимального решения к варьированию экзогенных параметров послужили основанием для разработки методических рекомендаций по проведению анализа рисков проектов с неопределенным графиком реализации с использованием простейших методов количественного анализа (анализ чувствительности и анализ условий безубыточности по NPV). Особенности проведения количественной оценки рисков иллюстрируются на примере рассмотренного выше инвестиционного проекта создания транспортной компании с неопределенным графиком реализации и масштабом развития.

Цель анализа чувствительности состоит в сравнительном анализе влияния различных факторов инвестиционного проекта на ключевой показатель эффективности проекта,

например, на NPV. При этом основной характеристикой чувствительности выступает коэффициент эластичности, который показывает изменение чистой приведенной стоимости (NPV) проекта при незначительном изменении того или иного параметра проекта:

$$\varepsilon = \frac{|NPV_1 - NPV_0|}{NPV_0} \times \frac{x_0}{|x_1 - x_0|} \quad (3)$$

Как правило, при проведении анализа чувствительности параметр, к которому проверяется чувствительность NPV, изменяется на 1%, 5% или 10% от планового уровня, в зависимости от принятой в компании методики оценки эффективности инвестиционных проектов. При новом значении изучаемого параметра рассчитывают основные показатели эффективности проекта: чистую приведенную стоимость (NPV), внутреннюю норму доходности (IRR), простой и дисконтированный сроки окупаемости (PBP и DPBP соответственно). Для показателя NPV по формуле (3) определяются коэффициенты эластичности, которые показывают степень влияния изменения рассматриваемого параметра на интегральный эффект проекта.

В рассматриваемой ситуации, когда параметры «тариф на перевозку между городами за 1 км плеча доставки» и «норма загрузки автопарка» проекта изменяются на 1%, найденное ранее оптимальное решение перестает быть оптимальным, так как измененные значения выходят за границы устойчивости. Таким образом, для определения степени влияния изменения параметров на эффективность проекта с помощью анализа чувствительности предлагается рассматривать такое малое изменение каждого параметра, чтобы найденный оптимальный график реализации проекта не изменялся. В таблице 5 представлены результаты анализа чувствительности при поочередном изменении изучаемых параметров на 0,01%, а также при одновременном снижении всех трех параметров на 0,01%.

**Таблица 5. Результаты анализа чувствительности при изменении параметров на 0,01%**

<b>Фактор</b>	<b>Значение NPV при изменении параметра на 0,01%, у.е.</b>	<b>Уменьшение NPV, у.е.</b>	<b>Коэффициент эластичности</b>
Тариф на перевозку между городами за 1 км плеча доставки	8 622 974	7 452	8,6
Тариф на перевозку внутри города за 1 км плеча доставки	8 630 126	300	0,3
Норма загрузки автопарка	8 624 600	5 826	6,8
Одновременное изменение трех факторов	8 616 848	13 578	15,7

Как видно из таблицы 5, самое значительное влияние имеют параметры «тариф на перевозку между городами за 1 км плеча доставки» и «норма загрузки автопарка». Если эти параметры изменить на 1%, то коэффициенты эластичности окажутся выше, так как при новых значениях изменится график реализации проекта. Полученные коэффициенты будут являться некорректными, несмотря на то, что порядок ранжирования останется прежним.

Таким образом, при применении анализа чувствительности для оценки рисков инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации было выявлено, что изменение некоторых параметров проекта даже на 1% может привести к тому, что найденное решение перестанет быть оптимальным, и в расчете коэффициента эластичности будут использоваться значения целевой функции для двух разных оптимальных решений. В данной ситуации предлагается выбирать такое малое изменение параметра, чтобы новое значение оставалось в пределах границ устойчивости оптимального решения.

С помощью анализа чувствительности выявляются параметры, оказывающие наибольшее воздействие на интегральный эффект проекта. Как правило, наибольший эффект оказывает изменение параметров, формирующих доходы проекта. Таким образом, при проведении анализа условий безубыточности по NPV в первую очередь исследуется связь между объемом продаж и прибыльностью проекта.

Классический метод расчета точки безубыточности заключается в определении того объема продаж, при котором прибыль или NPV проекта будут равны нулю, в зависимости от того, какой показатель изучается. При сильном изменении объема продаж, как и в случае проведения анализа чувствительности, найденное ранее оптимальное решение перестанет быть оптимальным, следовательно, изменится график реализации проекта.

К построенной модели проекта создания транспортной компании был применен стандартный алгоритм расчета точки безубыточности по NPV. В качестве показателя, влияющего на объем продаж, была выбрана норма загрузки автопарка. Для проекта без ограничения на масштаб было найдено такое значение нормы загрузки автопарка, при котором NPV обращается в ноль (62,126%). Однако из-за того, что модель является дискретной, ноль может быть вообще недостижим. Также следует заметить, что при полученной норме загрузки автопарка, найденное прежде оптимальное решение не является оптимальным, следовательно, проект имеет другие оптимальные график реализации и масштаб развития. Таким образом, стандартный алгоритм расчета точки безубыточности не может использоваться для инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации.

Для того чтобы рассчитать точку безубыточности в рассматриваемом проекте найденный график реализации, отвечающий оптимальному решению, был зафиксирован. Далее было найдено такое значение нормы загрузки автопарка, при котором NPV обращается в ноль (59,551%). Это значение может быть найдено всегда. Однако рассчитанное значение коэффициента использования парка также нельзя рассматривать в качестве точки безубыточности, так как, по сути, меняются условия финансирования проекта: при сохранении прежнего графика реализации проекта накопленной прибыли оказывается недостаточно для приобретения того же количества транспортных средств, и требуются дополнительные финансовые вложения.

Чтобы учесть описанные проблемы, было предложено искать такое значение изменяемого параметра (в данном случае это норма загрузки автопарка), при котором значение NPV проекта будет равно сумме дисконтированных сальдо акционерного капитала по каждому периоду, т.е.:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{C_t^1 - C_t^0}{(1 + E)^{\frac{t}{12}}}, \quad (4)$$

где  $C_t^0$  – сумма вложений акционерного капитала в период  $t$  при найденном оптимальном решении;

$C_t^1$  – сумма вложений акционерного капитала в период  $t$  при изменении варьируемого параметра;

$E$  – годовая ставка дисконтирования.

В рассматриваемом примере данное равенство будет достигаться при норме загрузки автопарка, равной 60,776%. Именно это значение и является точкой безубыточности по NPV.

Экономический смысл равенства (4) состоит в уравнивании доходности по проекту и доходности от альтернативного вложения дополнительных финансовых ресурсов.

Для оценки влияния на результаты проекта более существенных отклонений значений экзогенных параметров используется сценарный анализ или имитационное моделирование. Различные сценарии будут показывать, как будет изменяться график реализации и масштаб развития проекта при том или ином значении исходных данных, при этом можно рассматривать одновременное изменение нескольких параметров.

### **3. Основные выводы и результаты работы**

1. В результате анализа существующих подходов к моделированию денежных потоков инвестиционных проектов было выявлено, что финансовая модель строится исходя из экзогенно заданного графика реализации проекта для целей расчета показателей эффективности, на основании которых принимается решение о целесообразности инвестиционных вложений. Такой подход не может быть применен при анализе инвестиционных проектов, характеризующихся неопределенностью графика реализации. Выделенный класс проектов требует применения оптимизационного подхода для определения наилучшего сценария развития.
2. Предложены способы моделирования типовых ситуаций, характерных для многих инвестиционных проектов. В действующих «Методических рекомендациях по оценке эффективности инвестиционных проектов» указывается, какие факторы должны учитываться при построении денежных потоков, однако не описываются способы их учета. Предложенные в диссертации методики позволяют значительно сократить временные затраты на построение финансовых моделей и снизить риски аналитических ошибок.
3. На основании сравнения показателей эффективности инвестиционных проектов было доказано, что наилучшим критерием оптимизации денежных потоков проектов с неопределенным графиком реализации является чистая приведенная стоимость (NPV). Значение данного показателя может быть рассчитано для любого вида инвестиционных проектов и оно всегда единственно. Кроме того, NPV отражает изменение доходности не только в результате изменения структуры денежных потоков, но и в результате сдвигов сроков реализации проекта.
4. Построена оптимизационная модель денежных потоков, которая позволяет определить оптимальный график расширения проекта за счет реинвестирования прибыли, а для проектов с неопределенным масштабом – такой предел развития, при котором проект оказывается наиболее эффективным. На основании значения целевой функции в оптимальном решении принимается решение о целесообразности инвестиционных вложений.
5. Построенная модель была дополнена описанием функциональных зависимостей неопределенных параметров графика реализации проекта в соответствии с проведенной классификацией. Согласно этим функциям и предложенному определению проекта с неопределенным графиком реализации, график развития проекта на каждом шаге построения финансовой модели определяется исходя из денежного потока предыдущего периода и заданного критерия, показывающего возможность реинвестирования прибыли.

6. Для проектов с неопределенным масштабом развития в качестве такого критерия предложено рассчитывать показатель предельной чистой приведенной стоимости (MNPV), который показывает вклад каждого нового объекта инвестирования в общую NPV проекта.
7. Построенная оптимизационная модель денежных потоков инвестиционного проекта с неопределенным графиком реализации была апробирована на примере проекта создания транспортной компании, расширение автопарка которой происходит за счет реинвестирования прибыли. Рассчитанная модель позволила провести анализ границ устойчивости оптимального решения. На основании выводов, полученных в ходе данного исследования, были предложены рекомендации по проведению анализа чувствительности, которые дополняют существующий алгоритм.
8. Показано, что использование стандартной схемы поиска точки безубыточности не может применяться при анализе рисков инвестиционных проектов с неопределенным графиком реализации. Предложен модифицированный алгоритм, позволяющий находить точку безубыточности при фиксированном оптимальном решении.

#### **4. Список публикаций по теме диссертации**

1. Воробьева А.А. Проблемы оценки риска в проектах с неопределенным графиком инвестиций. Материалы научных конференций «Ломоносовские чтения 2004-2005-2006» кафедры математических методов анализа экономики экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова/ Под общ. ред. М.В. Грачевой, Л.Н. Фадеевой, Ю.Н. Черемных. – М.: МАКС Пресс, 2006. (0,4 п.л.)
2. Воробьева А.А. Принципы моделирования денежных потоков на примере проекта создания транспортной компании // Управление проектами. 2007 г., № 3. (0,7 п.л.)
3. Воробьева А.А. Моделирование кризисов как форма сценарного анализа при оценке рисков девелоперских проектов. Сборник научных работ кафедры математических методов анализа экономики «Ломоносовские чтения 2007» / Под редакцией М.В. Грачевой, Л.Н. Фадеевой, Ю.Н. Черемных. – М.: ТЕИС, 2008. (0,4 п.л.)
4. Воробьева А.А. Динамическая модель денежных потоков для проекта создания транспортной компании с неопределенным графиком реализации // Аудит и финансовый анализ. 2008 г., № 2. (1,3 п.л.)
5. Воробьева А.А. Простейшие методы оценки риска инвестиционных проектов в нестандартных ситуациях // Экономический анализ: теория и практика. 2008 г., № 5 (110). (0,4 п.л.)