



На правах рукописи

Цветкова Надежда Андреевна

МОДЕЛИ И МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИННОВАЦИЙ С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ
В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Диссертационная работа выполнена в Высшей школе киберфизических систем и управления Института компьютерных наук и технологий ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Научный руководитель –	доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ Туккель Иосиф Львович
Официальные оппоненты:	Брусакова Ирина Александровна доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), зав. кафедрой инновационного менеджмента Машкова Александра Леонидовна кандидат технических наук, доцент, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, доцент кафедры информационных систем
Ведущая организация –	ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Защита состоится 26 сентября 2018 г. в 16:00 ч. на заседании диссертационного совета Д212.105.02 при Юго-Западном государственном университете по адресу: г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета. Сведения о защите и автореферат диссертации размещены на официальном сайте www.swsu.ru.

Автореферат разослан «___» июля 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Титенко Евгений Анатольевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Конкурентоспособность современного предприятия связана с инновационной деятельностью и, как следствие, с выводом на рынок результатов этой деятельности, которые способны оказывать влияние на состояние экономической среды и состояние самого предприятия. Наиболее чувствительными к изменениям экономической среды являются последующие инновационные проекты (реализующие подрывные и/или поддерживающие инновации). В связи с этим возникает актуальный вопрос выявления информационных, алгоритмических зависимостей между инновациями и управления ими не только на этапе реализации проектов, но и на этапе коммерциализации (распространения).

Под распространением инноваций понимается процесс передачи инновации от ее источника к субъектам (конечным пользователям) внешних социально-экономических систем. Мерой процесса распространения инноваций предлагается считать количество продаж данной инновации.

Становление теории распространения инноваций датируется 60-ми годами прошлого века. В ее развитии можно выделить следующих исследователей: Ф. Басс, Дж. Вудлок, Як. Голденберг, М. Гудолин, П. Котлер, Б. Либай, Г. Лилиен, В. Махаджан, Дж. Мехиа, Н. Мид, В.М. Московкин, Дж. Мур, Э. Мэнсфилд, Р.М. Нижегородцев, Р. Перес, Э. Роджерс, Л. Форт, Т. Хегерстранд, Е. Шеппард, Ю.Д. Шмидт и др. Однако существующие теория и модели распространения инноваций не позволяют получить на их базе алгоритм и методы управления процессом распространения инноваций с учетом возможного взаимовлияния и формирующихся параметров рыночной среды.

Вопросы взаимного влияния инноваций затрагивались в работах таких ученых, как: С. Гросман, И.В. Демкин, Г. Карпенер, В. Ломакс, Л.А. Мыльников, Д.В. Перцев, С. Рамакришнан, Ш. Сринивасан, Д. Ханссенс, Дж. Хаусер, Г. Херде и др., публикации которых показали недостаточность полученных результатов для измерения уровня взаимодействия инноваций.

Системы управления инновационными процессами (СУИП), протекающими в экономической среде, классифицируются как системы, в контуре которых присутствует оператор (или лицо, принимающее решение, далее – ЛПР). Это привносит особенность при разработке моделей и алгоритмов, на основании которых строится система управления на предприятии. Традиционно эта особенность учитывалась включением в контур управления экспертных систем, готовящих варианты решений для ЛПР. Значимость экспертных систем будет только расти по мере роста сложности объектов управления и многообразия алгоритмов решения трудно формализуемых задач, и развитие экспертных систем будет идти в направлении развития их функционала как интеллектуальных помощников, работающих с большим массивом данных, по мере того, как физические объекты будут становиться киберсоциофизическими. На данном этапе для снижения зависимости итогового управляющего решения от исходных экспертных оценок в состав СУИП предлагается ввести инструменты

имитационного моделирования для динамического формирования и коррекции решения в условиях изменения экономической среды.

На основании проведенного сравнительного анализа публикаций по теме исследования можно указать на наличие **противоречия**, состоящего в том, что, с одной стороны, существуют возрастающие требования к наблюдаемости и управляемости процесса распространения инноваций, с другой стороны, отсутствием готовых алгоритмических решений и математических моделей по управлению этим процессом с учетом взаимного влияния инноваций.

В данном исследовании эффективность управления процессом распространения инноваций будем оценивать его результативностью: степенью приближения к поставленной цели через введенный измеримый показатель – количество продаж.

Таким образом, **цель диссертационной работы** состоит в повышении результативности управления инновационными процессами предприятия за счет учета взаимного влияния инноваций.

Научная задача диссертационной работы – разработка математических моделей и метода управления процессом распространения инноваций на основе экономического подхода.

Объектом исследования является система управления инновационным процессом на предприятии.

Предмет исследования – модели и метод управления процессом распространения инноваций с учетом их взаимного влияния.

Для достижения поставленной цели решены следующие **частные задачи**:

1. Провести сравнительный анализ, предложить классификацию существующих математических моделей и их возможностей для управления процессом распространения инноваций.
2. Разработать математическую модель для управления процессом распространения инноваций с учетом их взаимного влияния, основанную на экономическом подходе.
3. Разработать метод управления процессом распространения инноваций.
4. Выбрать средства моделирования и построить модели для управления процессом распространения инноваций.
5. Провести имитационную проверку работоспособности метода управления процессом распространения инноваций.

Научная новизна работы и положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель распространения инноваций, построенная на базе развиваемого подхода экономики, а именно применении математического аппарата явлений интерференции и диффузии, протекающих в физических средах, для инновационных процессов, протекающих в социально-экономических средах.
2. Математические модели составления расписания для управления инновационными проектами, связанные с определением момента запуска инновационных проектов в портфеле на реализацию и запуска результатов инновационных проектов на рынок. Математические модели отличаются:

- учетом взаимного влияния инноваций и параметров среды, разбиением проектов на зависимые и независимые, учетом ограничений на ресурсы, на моменты запуска проектов и на планируемый суммарный эффект, а также возможностью выбора целевой функции, на стадии подготовки и реализации портфеля инновационных проектов;

- одновременным использованием в расчетах коэффициентов взаимовлияния инноваций и диффузии, совместно задающих внутренние и внешние связи между проектами и рыночной средой, на стадии выхода на рынок продуктов инновационных проектов.

3. Метод управления процессом распространения инноваций, построенный на базе предложенной математической модели и использующий результаты решений задач составления расписаний. Отличиями метода являются:

- учет взаимного влияния инноваций;
- наличие двух этапов жизненного цикла инновационного процесса, а именно этап разработки инновации и этап коммерциализации;
- использование предложенной имитационной модели на базе агентного подхода для экспериментальной проверки.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1. Предложенные классификационные признаки математических моделей распространения инноваций обеспечивают обоснованный выбор класса модели в зависимости от цели и задач исследований инновационных процессов.

2. Агентная модель распространения инноваций, разработанная на платформе AnyLogic 7. Модель позволяет ЛПР осуществлять анализ и генерацию различных сценариев в части оценки зависимости распространения инновации от параметров среды и определения управляющих воздействий в зависимости от параметров последующих поддерживающих инноваций. Получено увеличение результативности на 7% со значениями параметров, взятых из отчетов хозяйственной деятельности предприятий.

3. Программные приложения для MS Excel, разработанные для решения поставленных задач составления расписаний. Позволяют автоматизировать работу в части внесения информации о портфелях инновационных проектов и других параметров, а также запуска решения задач с помощью эволюционного метода.

4. Полученные результаты используются в учебных материалах дисциплин «Теоретическая инноватика», «Управление инновационными процессами», «Имитационное моделирование в управлении инновациями» в Высшей школе киберфизических систем и управления СПбПУ.

Методы исследования. При проведении исследований в диссертационной работе использованы методы управления в организационно-технических системах, системного анализа, теория принятия решений и экспертных оценок, теория математической статистики, теория расписаний, теория подобия, методы математического и имитационного моделирования. Для моделирования, обработки и анализа полученных данных применялись пакеты программ Microsoft Excel, AnyLogic 7.0.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность научных положений и выводов подтверждается корректным применением методов

системного анализа, математического моделирования, статистических методов, методов принятия решений, а также публикациями в рецензируемых изданиях по теме диссертации и их обсуждением на научно-технических конференциях и семинарах. Предложенные в работе модели и метод были проверены с помощью инструментов решения оптимизационных задач и имитационных экспериментов. Теория построена на известных проверяемых фактах, идея базируется на обобщении передового опыта создания математических моделей обеспечения поддержки принятия решений.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных и практических конференциях и форумах различного уровня. В их числе: Международная научно-техническая конференция «Пром-Инжиниринг, ICIE – 2017» (Челябинск, Санкт-Петербург, 2017), Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям «SCM-2017» (Санкт-Петербург, 2017), Международная научно-практическая конференция «Системный анализ в проектировании и управлении» (Санкт-Петербург, 2015, 2016, 2017), Молодежная научная конференция «Информатика и кибернетика» (Санкт-Петербург, 2015, 2017), Международная научно-методическая конференция «Современное образование» (Томск, 2016), Всероссийский форум «Наука и инновации в технических университетах» (Санкт-Петербург, 2015, 2016), Научно-практическая конференция с международным участием «Неделя науки СПбГПУ» (Санкт-Петербург, 2010, 2012, 2014).

Результаты работы используются в учебном процессе Высшей школы киберфизических систем и управления Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого при проведении учебных дисциплин «Теоретическая инноватика», «Управление инновационными процессами», «Имитационное моделирование в управлении инновациями», что подтверждается актом о внедрении. Предложенные модели внедрены в некоммерческой организации Агентства стратегических инициатив «Фонд развития интернет инициатив», о чем получен акт о внедрении.

Научные и практические результаты работы использованы в процессе выполнения работ по грантам Комитета по науке и высшей школе г. Санкт-Петербурга по теме «Развитие агентного подхода в управлении процессом распространения инноваций» (2017 г., диплом ПСП № 17400) и по теме «Управление инновационными процессами в территориальных экономических системах» (2014 г., №194-14).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ, в их числе 5 статей в научных изданиях, рекомендуемых ВАК, 2 статьи в сборниках трудов международных конференций (на англ. языке), индексируемых Scopus и Google Scholar, в соавторстве 1 монография.

Личный вклад автора. Все выносимые на защиту научные результаты получены соискателем лично. Научная задача исследования поставлена научным руководителем – И.Л. Туккелем. Автором предложены классификационные признаки математических моделей распространения инноваций [2], разработана математическая модель распространения инноваций [1, 3], сформулированы задачи составления расписания запуска [4, 5], метод управления распространением

инноваций [1], разработана имитационная модель [9], а также выполнены их экспериментальные исследования.

Соответствие паспорту специальности. Вопросы, рассмотренные в диссертации, соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах: п. 2 «Разработка методов формализации и постановки задач управления в социальных и экономических системах» в части разработки математической модели процесса распространения инноваций и формализации задач составления расписания запусков; п. 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах» в части создания метода управления и имитационной модели распространения инноваций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (223 наименований) и приложений. Основной текст изложен на 154 страницах машинописного текста, содержит 26 рисунков и 30 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и значимость диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, показаны его научная и практическая значимость, изложены основные научные результаты, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу современного состояния вопроса управления процессом распространения инноваций.

Рассмотрена среда, в которой инновации зарождаются и распространяются, обладающая различными свойствами, оказывающими определенное влияние на формирование инноваций. Поставлена задача учета взаимного влияния инноваций. Понимание того, каким образом результаты инновационных проектов будут взаимодействовать между собой на стадии коммерциализации, и какое они будут оказывать воздействие на внешнюю среду, может коренным образом повлиять на состав портфеля инновационных проектов и на очередность их запуска. Такое взаимодействие может быть как положительным (эффект синергии), когда эффект от совместной реализации проектов больше суммы эффектов от их индивидуальной реализации, так и отрицательным (эффект каннибализации).

Приведены результаты анализа существующих математических моделей распространения инноваций, который позволил выделить шесть типов моделей и обеспечить обоснованный выбор той или иной модели в зависимости от целей исследования инновационных процессов. Был сделан вывод, что решение для построения модели управления процессом распространения необходимо искать в классе экономофизических моделей, трактующих сами инновации как дискретные объекты, а взаимодействие между ними через процессы, аналогичные интерференции и диффузии в сплошных средах.

Во второй главе формулируются теоретические основы, необходимые для решения задачи управления инновационными процессами с учетом взаимного влияния инноваций.

Выдвинута гипотеза, что процесс распространения инноваций возможно сравнить с процессами диффузии и интерференции, протекающими в физических

средах. Данная гипотеза основывается на работах ученых: В. Аврамчиков, И.Л. Туккель, М. Асано, Л. Аккарди, Р. Бритто, М. Джабер, Ж. Мехиа, А. Хренников, В.-С. Чэнь и др., показавших возможность переноса математических моделей процессов, протекающих в физических средах, на модели процессов, протекающих в социально-экономических средах, при соблюдении определенных условий, что и является сутью эконофизического подхода.

Математический аппарат, используемый в корпускулярно-волновой теории, позволит решить задачу учета взаимного влияния и влияние среды. Показано выполнение подобия условий однозначности путем сопоставления двух сред: физической и социально-экономической, в которых рассматривается процесс распространения.

Поток распространения инноваций. Описана используемая аналогия для объяснения поведения инновации с точки зрения молекулярного распространения: инновации, как и молекулы в физической среде, распространяются на рынке от высокого потенциала в начальной точке к более низкому, пока не достигнут определенных уровней. Разность между спросом и предложением, а также состояние среды будут влиять на скорость процесса распространения.

Эта зависимость описана следующим выражением:

$$J_u = -D \text{grad} C_u, \quad (1)$$

где J_u – это плотность потока распространяемых инноваций;

D – коэффициент пропорциональности, или коэффициент диффузии – константа, зависящая от свойств среды и природы инновации;

C_u – концентрация, функция места и времени: $C_u = f(x, t)$, функция разности между спросом и предложением.

Введенная по аналогии с первым законом Фика формула (1) зависимости плотности потока инноваций от коэффициента диффузии и концентрации позволила понять: поскольку поток инноваций стремится выровнять перепад разности спроса и предложения, постольку коэффициент диффузии (зависящий от среды) является мерой скорости, с которой система способна при наперед заданных условиях выровнять эту разность.

Взаимодействие инноваций. В силу волнового характера взаимодействия, который проявляется через конкурентную борьбу за ресурсы (вещественные и невещественные – на этапе разработки инновации, объем рынка – на этапе коммерциализации), появляется возможность следить не за частицами среды, в которой распространяется волна, а за параметрами, которые выражают состояние среды. Явление интерференции заключается в том, что при сложении двух волн одинаковой частоты с интенсивностями I_1 с фазой φ_1 и I_2 с фазой φ_2 интенсивность суммарной волны I будет описываться формулой:

$$I = I_1 + I_2 + 2 * \sqrt{I_1 * I_2} * \cos(\varphi_2 - \varphi_1).$$

Третье слагаемое – знакпеременное в данной формуле, отвечает за степень согласованности, а именно за степень влияния одного процесса на другой.

Было сделано следующее допущение: в рыночной среде есть один локализованный источник инноваций, например, определенное предприятие или интегрированный кластер предприятий.

Первое условие для проявления интерференции – волны должны пересекаться в определенной точке: пересечение потенциального объема рынка товаров $M_{ij} = M_i \cap M_j$, $M_{ij} \neq 0$. Такое пересечение продаж обуславливается совпадением сущности инновационных продуктов. Второе условие – соблюдение когерентности волн, то есть согласованности фаз волн, – обеспечивается как минимум за счет принятого допущения – взаимодействия в рамках единой среды и в заданный период времени t распространения результатов портфеля инновационных проектов.

Теорема о существовании взаимного влияния инноваций. Пусть имеются два инновационных продукта u_i и u_j в составе портфеля U , готовых к запуску на рынок E и для которых выполняется $M_i \cap M_j \neq 0$, где E – теоретически возможные объемы продаж продукта, $M_i, M_j \in E$ – прогнозируемые объемы продаж продуктов u_i и u_j без учета взаимного влияния.

Тогда степень влияния одного инновационного продукта u_i на другой u_j можно выразить через коэффициент a_{ij} :

$$\frac{\int_0^{\tau_i} f_i(t)dt + \int_0^{\tau_j} f_j(t)dt}{M_i^{\tau_i} + M_j^{\tau_j}} = a_{ij}, \quad a_{ij} \neq 1, a_{ij} > 0, \quad (2)$$

где $f(t)$ – функция продаж продукта;

$\int_0^{\tau} f(t)dt$ – фактический объем продаж продукта;

τ – момент времени, когда продукт был выведен с рынка E , $0 < t \leq \tau$;

$M_i^{\tau_i}$ и $M_j^{\tau_j}$ – прогнозируемые объемы продаж продуктов u_i и u_j без учёта взаимного влияния к моменту времени τ .

Непустое пересечение множеств $M_i \cap M_j \neq 0$ является необходимым условием, чтобы выражение (2) выполнялось. Полный перебор вариантов позволил определить достаточное условие взаимного влияния. Если $a_{ij} < 1$, то два инновационных продукта оказывают друг на друга отрицательное влияние, иначе если $a_{ij} > 1$, то два инновационных продукта оказывают друг на друга положительное влияние.

Следствие. О расчетном коэффициенте взаимодействия.

Введен расчетный коэффициент взаимодействия, учитывающий предметную сущность инновационного продукта. Он используется для определения степени взаимодействия инновационных продуктов на стадии формирования портфеля проектов $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ или при запуске данных продуктов на рынок E .

Обозначим портфель инновационных проектов, который сформирован без учета взаимного влияния проектов, как $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$. В портфеле экспертным методом выявляются группы зависимых проектов по невещественным ресурсам. Множество таких групп обозначим как $Z \subseteq U$:

– группы зависимых проектов не пересекаются: $Z_k \cap Z_j = \emptyset$, $k \neq j$, $k, j = 1, 2, \dots, \zeta$, k и j – порядковые номера групп зависимых проектов, ζ – количество групп зависимых проектов, $1 \leq \zeta \leq n/2$;

– группа Z_k состоит из проектов: $Z_k = \{z_{k1}, \dots, z_{km}, \dots, z_{k\varepsilon}\}$, m – порядковый номер зависимого проекта, $m = 1, 2, \dots, \varepsilon$, ε – количество зависимых проектов в группе, $1 < \varepsilon \leq n$.

В каждой группе зависимых проектов Z_k будем выделять проект $z_l \in Z_k$ и подгруппу проектов Z_{kl} , для которой выполняется условие $Z_{kl} \subseteq Z_k \setminus z_l$, где l – порядковый номер рассматриваемого проекта, $l = 1, 2, \dots, \varepsilon$.

Тогда коэффициент взаимодействия $a_{k,l}$ рассчитывается для каждой группы зависимых проектов Z_k и показывает, насколько подгруппа проектов Z_{kl} влияет на проект $z_l \in Z_k$, $a_{k,l} > 0$. Для решения задачи составления расписания важно также учитывать, насколько велико это влияние на изменение сроков завершения проекта z_l относительно сроков завершения проектов Z_{kl} : $f = f_k - f_l$, $f \in \mathbb{Z}$. С учетом этого коэффициент обозначается как $a_{k,l,f}$, $a_{k,l,f} > 0$.

Если $a_{k,l,f} < 1$, то рассматриваемая подгруппа Z_{kl} оказывает отрицательное влияние на инновационный проект z_l , иначе, если $a_{k,l,f} > 1$, то подгруппа Z_{kl} оказывает положительное влияние. При $a_{k,l,f} = 1$ влияния нет.

Третья глава посвящена определению цели и критериев управления, формализации и обеспечения решения задач составления расписания.

Постановка задач строится согласно теории расписаний.

Сформулирована задача «А» составления расписания запуска инновационных проектов из портфеля, отличающаяся от существующих учетом взаимного влияния и ограничений на ресурсы. Использованы положения теоремы, сформулированной во второй главе.

Пусть имеется n проектов в составе портфеля инновационных проектов $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, в котором еще не учитывается взаимное влияние проектов. Предполагается, что все проекты выполняются без прерываний.

Обозначим через $T = \{1, 2, \dots, \tau\}$ множество пронумерованных допустимых для расписания квантов времени (номера событий), в которых может осуществляться выполнение ограничений. Тогда длительность τ – желаемая или предельная продолжительность выполнения всех проектов в портфеле, $\bar{\tau}$ – предлагаемая алгоритмом продолжительность, $\bar{\tau} \leq \tau$. Время выполнения t_i каждого проекта $u_i \in U$ может определяться в днях, неделях, месяцах в зависимости от масштаба проектов, $i = 1, 2, \dots, n$.

Каждый проект характеризуется такими параметрами, как s_i – номер начального события проекта u_i , f_i – номер конечного события проекта u_i , при этом номера $s_i, f_i \in T$.

Пусть $R = \{r_1, r_2, \dots, r_\rho\}$ – множество видов вещественных ресурсов, необходимых для выполнения проектов и имеющих прямое влияние на последовательность запуска их в портфеле. Тогда $V_j(t)$ – располагаемый в определенный момент времени фонд ресурса вида $r_j \in R$, $D_{ij}(t)$ – потребность в ресурсе $r_j \in R$ для выполнения проекта u_i .

В портфеле экспертным методом выявляются группы зависимых проектов по незначительным ресурсам. Согласно следствию (глава 2) множество таких групп обозначается как $Z \subseteq U$, и для каждой пары, состоящей из подгруппы проектов

Z_{ij} , в выбранном диапазоне начал $s = s_i - s_j$ рассчитывается коэффициент взаимовлияния $a_{i,j}(s)$, $a_{i,j}(s) > 0$.

Обозначим через X_i^Y – эффект от реализации независимого проекта y_i и X_i^Z – эффект от реализации зависимого проекта z_i . Тогда для каждой группы Z_k считается функция $X_k^Z(s) = \sum_{i=1}^{\varepsilon} a_{k,i}(s) * X_i^Z$.

В портфеле U могут находиться также и независимые по незначительным ресурсам проекты: $Y \subset U$ – множество независимых проектов, $Y = \{y_1, \dots, y_\gamma\}$, $0 \leq \gamma \leq n$. Сумма зависимых и независимых проектов равна числу всех проектов в портфеле n : $\zeta + \gamma = n$.

Вектор $S = (s_1, \dots, s_i, \dots, s_n)$ называется расписанием выполнения проектов в портфеле. Расписание S называется допустимым, если:

- в каждый момент времени $t \in T$ потребность в ресурсах для выполнения проектов будет удовлетворена для $\forall r_j \in R \sum_{i=1}^n D_{ij}(t) \leq V_j(t)$, $t \in T$, при этом в ограничениях учитываются все виды вещественных ресурсов;

- суммарный эффект от зависимых проектов будет выше или равен допустимому $\sum_{k=1}^{\zeta} X_k^Z(s) \geq \hat{X}$;

- проект u_i может быть начат в период не позже, чем разница между количеством доступных периодов τ и длительностью проекта t_i плюс один период, т.к. отсчет начинается с единицы: $1 \leq s_i \leq \tau - t_i + 1$.

Целевая функция: $S = \sum_{i=1}^n s_i \rightarrow \min$.

Введенные переменные будут служить информационным обеспечением процесса принятия управленческих решений, а введенные условия – алгоритмическим обеспечением.

Необходимо рассчитать такое время запуска s_i для каждого проекта, которое будет обеспечивать минимальное значение целевой функции S и удовлетворять всем ограничениям.

В зависимости от текущих задач предприятия можно использовать и другие виды целевой функции, например:

- максимизация количества выполняемых взаимозависимых инновационных проектов при ограничениях на текущие вещественные и незначительные ресурсы;

- минимизация количества используемых вещественных ресурсов при фиксированном количестве выполняемых инновационных проектов.

Постановка задачи «А» отличается разбиением проектов на зависимые (учет взаимного влияния) и независимые проекты, учетом ограничений на ресурсы, моменты запуска проектов и на планируемый суммарный эффект, а также возможностью выбора целевой функции.

Вторая сформулированная задача «Б» – это задача определения времени запуска результатов инновационных проектов на рынок. При определении такого времени запуска предлагается учитывать:

- взаимное влияние инноваций друг на друга, интенсивность которого будет измеряться через введенный в следствие коэффициент $a_{k,l}$, определяемый через единый объем рынка;

- влияние внешней среды на распространение продукта инновационного проекта, интенсивность которого будет измеряться через введенный коэффициент диффузии d , зависящий от свойств среды распространения и природы инновации.

Пусть имеется n инновационных продуктов (далее – продукт) в составе портфеля, готовых к запуску на рынок E , тогда множество всех продуктов будет $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$.

$T = \{1, 2, \dots, \tau\}$ множество допустимых для расписания квантов времени – номеров событий, в которые может осуществляться выполнение ограничений. $s_i \in T$ – время начала продаж продукта u_i , $\tau_i \in T$ – момент времени, когда продажи продукта u_i становятся равными 0, $i = 1, \dots, n$. $t_i \in T$ – длительность продаж. Вектор $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ называется расписанием запуска продуктов на рынок.

M_i – прогнозируемый объем продаж продукта u_i на рынке E без учета взаимного влияния к моменту времени τ_i , E – теоретически возможный объем продаж, $M_i \subseteq E$, $0 < |M_i| \leq |E|$.

Обозначим через множество $Z \subseteq U$ – множество продуктов, определимых как зависимые через объем рынка, где $Z_k \cap Z_j = \emptyset$, $k \neq j$, $k, j = 1, 2, \dots, \zeta$, k и j – порядковые номера групп зависимых проектов, ζ – количество групп зависимых проектов, $1 \leq \zeta \leq n/2$. Группа состоит из продуктов $Z_k = \{z_{k1}, \dots, z_{km}, \dots, z_{k\lambda}\}$, $Z_k \subseteq Z$. M_l^Z – объем продаж зависимого продукта $z_l \in Z$, l – порядковый номер зависимого продукта, $l = 1, \dots, \lambda$, λ – количество зависимых продуктов.

Множество $Y \subseteq U$ – множество независимых продуктов, $Y = \{y_1, \dots, y_\gamma\}$, γ – количество независимых продуктов, $0 \leq \gamma \leq n$, M_v^Y – объем продаж $y_v \in Y$, v – порядковый номер независимого продукта, $v = 1, \dots, \gamma$, $\lambda + \gamma = n$.

Для каждой пары, состоящей из подгруппы проектов Z_{kl} (см. глава 2) и проекта $z_l \in Z_k$, в выбранном диапазоне старта продаж $s = s_k - s_l$, $s \in \mathbb{Z}$ вводится коэффициент взаимовлияния $a_{k,l}(s)$, $a_{k,l}(s) > 0$.

Для каждого продукта u_i экспертным путем считается коэффициент $d_i(s)$ для выбранного времени старта продаж s , зависящий от свойств среды распространения продукта и природы инновации.

Объем продаж независимых продуктов: $M^Y = \sum_{v=1}^{\gamma} d_v(s) * M_v^Y$. Объем продаж зависимых продуктов зависит от коэффициента взаимовлияния:

$$M^Z = \sum_{k=1}^{\zeta} M_k^Z,$$

$$M_k^Z = \sum_{l=1}^{\lambda} a_{k,l}(s) * d_l(s) * M_{kl}^Z.$$

В качестве целевой функции возьмем объем продаж портфеля инновационных продуктов: $M = M^Y + M^Z \rightarrow \max$.

Необходимо найти такие начала продаж инновационных продуктов s_i рассматриваемого портфеля, обеспечивающие максимальный объем продаж $M \rightarrow \max$ и удовлетворяющие всем ограничениям.

Постановка задачи «Б» отличается одновременным использованием в расчетах коэффициентов взаимовлияния инноваций и диффузии, совместно задающих внутренние и внешние связи между проектами и рыночной средой. Это позволяет динамически корректировать моменты выхода на рынок текущего проекта из оставшихся в портфеле.

Задачи «А» и «Б» в условиях заданных ограничений на ресурсы являются NP-трудными. Приближенные методы активно применяются при решении задачи составления расписания запуска проектов из портфелей проектов. Для верификации задач выбран широко доступный инструмент «Поиск решения» приложения Microsoft Excel, использующий эволюционный метод, основанный на генетическом алгоритме и локальном поиске.

Полученные решения приносят необходимую точность в известные и применяемые алгоритмы формирования портфелей инновационных проектов и в процесс определения времени выхода инновации на рынок.

Для управления процессом распространения на этапе коммерциализации определен параметр, интегрально характеризующий эффективность инновационной деятельности предприятия. Как было показано выше, что в качестве такого интегрального параметра может выступать объем продаж Q . Немаловажно, что этот параметр фактически контролируется каждым предприятием, поэтому он не требует дополнительных затрат на измерения.

Геометрическая интерпретация введенного интегрального параметра $Q(t)$ – колоколообразная кривая, а изменение во времени этого параметра описывается кумулятивной кривой, представляющей собой s-образную кривую (рисунок 1).

Для целей управления (максимизации объема продаж) были определены точки наиболее характерных изменений кумулятивной кривой: выделены зоны (А, В, С) значений параметра $Q(t)$, в которых отслеживается скорость изменения производных кумулятивной кривой. Попадание текущего значения $Q(t)$ в каждую из этих зон в дальнейшем фиксируется и используется при определении управляющих воздействий.

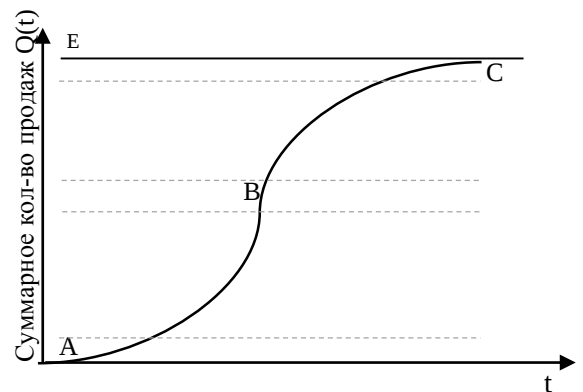


Рисунок 1 – Кумулятивная характеристика параметра $Q(t)$

На основании изложенных выше положений стало возможным построить метод управления процессом распространения инновационного продукта, который положен в основу системы поддержки принятия решений (СППР).

Четвертая глава посвящена построению метода управления на этапе осуществления инновации и этапе коммерциализации; проверке работоспособности предложенных задач составления расписания и метода, а также разработке имитационной модели.

Метод управления процессом распространения инноваций состоит из последовательности этапов по моделированию расписания портфеля инноваций и реализации расписания выхода инноваций в рыночную среду, изменяющих как состояние самой среды, так и моменты времени выхода текущей инновации:

- выбор целевых функций для моделирования расписаний в задачах «А» и «Б»;
- составление расписания запуска проектов на реализацию (задача «А»);

- итерационное перераспределение для каждого текущего проекта или группы проектов временного резерва и уточнение последующих проектов с учетом доступных ресурсов;

- составление расписания выпуска результатов проектов на рынок (задача «Б»);

- итерационная проверка траектории кумулятивной кривой продаж ансамбля инновационных продуктов и каждой кривой продаж поддерживающей инновации, выпущенной на рынок, а также условий и ресурсов реализации последующего проекта. При попадании в определенную зону траектории (рисунок 1) – переход к решению задачи «А» или задачи «Б», экспериментальная проверка с помощью имитационной модели на базе агентного подхода.

Новизна данного метода заключается в учете взаимного влияния инноваций и состояния экономической среды, в отслеживании траекторий кривых продаж уже выпущенных на рынок инноваций. Использование введенных параметров позволяет получить уточненные моменты времени запуска проектов на рынок с учетом нелинейных свойств среды распространения, влияния предшествующих проектов на последующие проекты, а также проверки решений в предложенной имитационной модели на базе агентного подхода.

Разработанный метод построен на базе предложенной математической модели, использует результаты решений задач составления расписаний и разработанную имитационную модель на базе агентного подхода в AnyLogic. Учитывая взаимное влияния выводимых на рынок инноваций как на этапе разработки инновации, так и на этапе коммерциализации, определяя момент их запуска и тип инноваций (поддерживающие или подрывные), метод обеспечивает повышение результативности производственной деятельности предприятия.

Экспериментальная часть была ограничена машинным экспериментом. Количественная оценка результативности учета взаимного влияния (коэффициент $a_{k,l}$) определяется в ходе эксперимента, включающего в себя формирование портфеля проектов, составление расписания запуска продуктов проектов на рынок и отслеживание распространения этих продуктов. Полученные результаты, измеряемые отношением интегрального показателя $Q(t)$ с учетом взаимного влияния к показателю без учета взаимного влияния $\hat{Q}(t)$, будут характеризовать изменение результативности управления инновационными процессами предприятия за счет учета взаимного влияния инноваций ρ :

$$\rho = \left(\frac{Q(t)}{Q_p} : \frac{\hat{Q}(t)}{Q_p} \right) * 100\% = \frac{Q(t)}{\hat{Q}(t)} * 100\%, \quad (3)$$

где Q_p – плановое значение количества продаж рассматриваемого ансамбля инновационных продуктов.

Приведены итоги экспериментов по решению поставленных задач с помощью инструмента «Поиск решений» приложения Microsoft Excel. Верификация задач проводилась как на тестовых данных, так и на данных портфелей инновационных проектов нескольких предприятий. Разработаны макросы, автоматизирующие внесение информации о портфелях инновационных проектов и других параметров, а также запуска решения задач с помощью эволюционного метода.

Построенная агентная модель на платформе AnyLogic 7 позволяет оценивать результативность учета взаимного влияния через параметр $Q(t)$ и вычислять управляющие воздействия в зависимости от параметров последующих прорывных и поддерживающих инноваций.

В предлагаемой модели каждый инновационный продукт, разрабатываемый на предприятии, представляет собой популяцию агентов, а копии инновационного продукта – отдельных агентов. Создано несколько популяций агентов для имитации очередности их запуска на рынок (как прорывных, так и поддерживающих инноваций). Поведение каждой популяции агентов задано диаграммой состояний, позволяющей определить возможные состояния агента, переходы между состояниями и события, вызывающие эти переходы (рисунок 2): начинается в состоянии готовности к выпуску на рынок и завершается, когда продукт будет выведен с рынка или будет прекращено его использование.

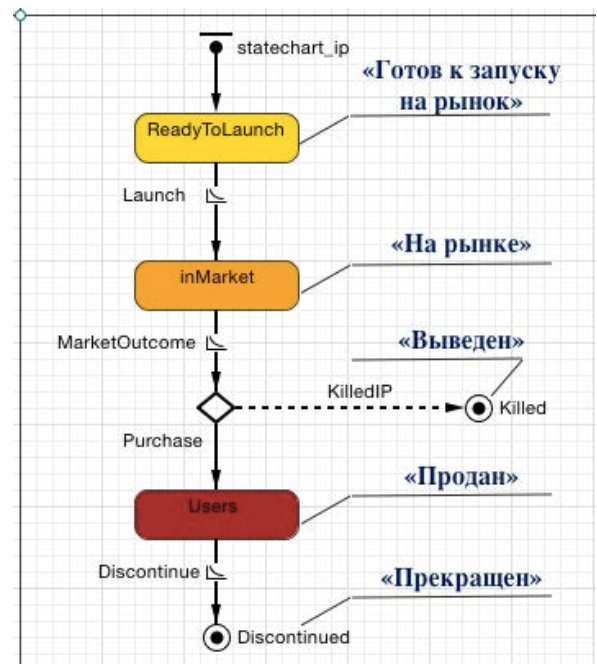


Рисунок 2 – Диаграмма состояний и переходов для популяции агентов

В окно визуализации результатов экспериментов добавлены графики и переменные (рисунок 3, I и II зоны), фиксирующие состояния как интегрального параметра $Q(t)$, так и состояния функции продаж текущих и последующих поддерживающих инновационных продуктов $Q_i(t)$ при попадании в характерные зоны (рисунок 1).

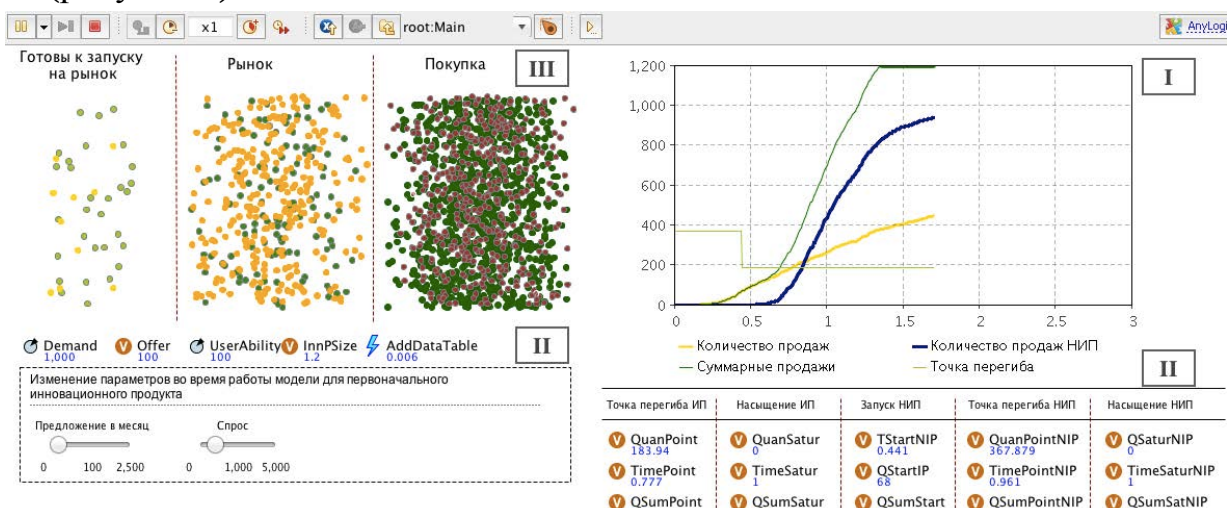
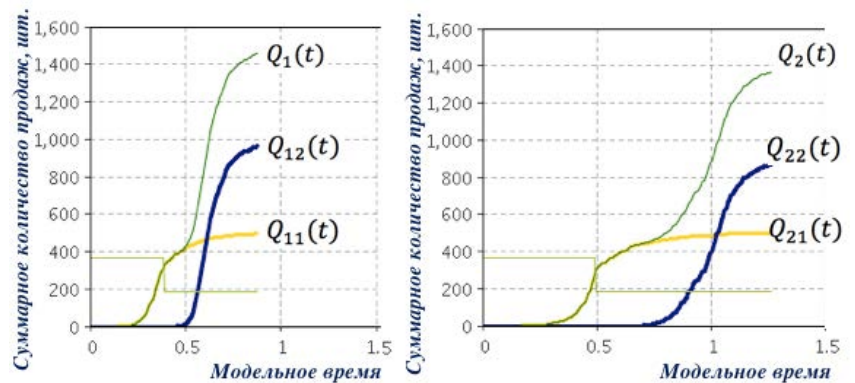


Рисунок 3 – Пример экрана «Окно эксперимента»

В окне (зона III) добавлена визуализация перехода агентов из состояния «Готов к запуску на рынок» в «Продан» с учетом изменяющегося количества и принадлежности к определенной популяции агентов.

Был проведен ряд тестовых экспериментов на граничных случаях, которые подтвердили работоспособность модели. Апробация модели была проведена путем репликации распространения нескольких продуктов, в том числе портативных медиа-проигрывателей Apple iPod с 2002 по 2014 год.

Проведенный эксперимент с данными, взятыми из реального портфеля инновационных проектов показал: за счет использования найденных решений задач составления расписания было найдено такое расписание запуска инновационных проектов на реализацию и запуска продуктов этих проектов на рынок, которое привело в эксперименте с агентной моделью к росту результативности на 7% $\rho = 7\%$ (рисунок 4).



Примечание – $Q_1(t)$ и $Q_2(t)$ – кумулятивные функции продаж ансамбля инновационных продуктов предложенного и исходного расписания соответственно; $Q_{11}(t)$ и $Q_{21}(t)$ – функции продаж первого инновационного продукта; $Q_{12}(t)$ и $Q_{22}(t)$ – функции продаж последующего инновационного продукта. Значения: $Q_1(t) = 1450$ шт., $Q_2(t) = 1350$ шт., $\rho = 7\%$.

Рисунок 4 – Графики проведенных экспериментов с портфелем инновационных проектов

Имитационная модель позволила отработать и подтвердить адекватность предложенного метода в диапазоне возможных изменений параметров, описывающих среду социально-экономических систем.

В заключении излагаются основные результаты и выводы, полученные в диссертационной работе.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОоды и РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе решена актуальная научная задача, заключающаяся в разработке математических моделей и метода управления процессом распространения инноваций на основе эконофизического подхода и способствующих повышению результативности управления инновационными процессами на предприятии.

Основные выводы и результаты диссертационного исследования:

1. Проведенный сравнительный анализ показал, что существующие теория и модели распространения инноваций не позволяют получить на их базе алгоритмы и методы управления процессом распространения инноваций с учетом взаимовлияния и формирующихся параметров социально-экономических систем. Данное положение обусловило цель и задачи диссертационного исследования.

2. Предложенные классификационные признаки математических моделей распространения инноваций позволили выделить шесть классов этих моделей и обеспечили обоснованный выбор класса модели в зависимости от цели конкретного исследования инновационного процесса.

3. Разработана математическая модель процесса распространения инноваций с учетом их взаимного влияния, основанная на развиваемом эконофизическом

подходе, а именно на использовании теории интерференции и диффузии физических сред для описания инновационных процессов в социально-экономических средах.

4. Предложены математические модели составления расписания для управления инновационными проектами на этапах осуществления и коммерциализации инноваций.

5. Разработан метод управления процессом распространения инноваций, обеспечивающий повышение результативности производственной деятельности предприятия.

6. Разработана агентная модель для управления процессом распространения инноваций на платформе AnyLogic 7, которая в частности позволила провести верификацию предложенного метода. Экспериментальная проверка на граничных случаях и путем репликации данных реальных предприятий из доступных предприятий подтвердила работоспособность метода. Модельные эксперименты показали рост результативности управления инновационными процессами предприятия за счет учета взаимного влияния инноваций на 7%.

7. Некоторые из полученных результатов могут использоваться в иных случаях:

- опыт развития эконофизического подхода;
- инструментальность агентной модели;
- метод управления распространением инноваций может использоваться при проектировании не только инновационных систем предприятия, но и инновационных систем других уровней.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Цветкова, Н.А. О взаимном влиянии инноваций [Текст] / Н.А. Цветкова // Инновации. – 2018. – №3. – С. 100-105.

2. Цветкова, Н.А. Модели распространения инноваций: от описания к управлению инновационными процессами [Текст] / И.Л. Туккель, Н.А. Цветкова // Инновации. – 2017. – №11. – С. 106-111.

3. Цветкова, Н.А. Определенный взгляд на распространение инноваций в социально-экономической среде [Текст] / И.Л. Туккель, Н.А. Цветкова // Инновации. – 2015. – №11. – С. 30-34.

4. Цветкова, Н.А. Об особенностях многопроектного управления [Текст] / И.Л. Туккель, Н.А. Цветкова // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. – № 4-2 (183). – С. 89-95.

5. Трубкина, Н.А. Взаимодействие инноваций в мегапроектах [Текст] / И.Л. Туккель, Н.А. Трубкина // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Инноватика. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2011. – С. 88-90.

Публикации в других научных изданиях:

6. Туккель, И.Л. Методы и инструменты управления инновационным развитием промышленных предприятий / И.Л. Туккель, С.А. Голубев, А.В. Сурина, Н.А. Цветкова. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2013. – 208 с.

7. Tsvetkova, N.A. Specifics of multi-project management: interaction and resources constraints / N.A. Tsvetkova, I.L. Tukkel // Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering. – 2017, Saint-Petersburg. – SHS Web of Conferences.

8. Tsvetkova, N.A. Simulation modeling the spread of innovation / N.A. Tsvetkova, I.L. Tukul, V.A. Ablyazov // Proceedings of the XXth International Conference on Soft Computing and Measurements. – 2017, Saint-Petersburg. – IEEE.

9. Цветкова, Н.А. Направления развития корпоративного венчурного фонда [Текст] / Н.О. Коваленко, Н.А. Цветкова // Мат. III мол. науч. конф. «Информатика и кибернетика - Computing and Control», 3 апр. 2017. – СПб.: Изд-во: СПбПУ. – 2017. – С. 404-408.

10. Цветкова, Н.А. Использование имитационного моделирования для управления инновациями [Текст] / Н.А. Цветкова, А.О. Агранова // Материалы Десятого всерос. форума студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах», 26–28 окт. 2016 г. – СПб.: Изд-во: Политехн. ун-та. – 2016. – С. 163–165.

11. Цветкова, Н.А. Управление распространением инноваций в экономико-социальных системах [Текст] / И.Л. Туккель, Н.А. Цветкова // Системный анализ в проектировании и управлении: Сборник науч. трудов XX Междунар. науч.-практич. конф. Ч. 2. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2016. – С. 168–175.

12. Цветкова, Н.А. Разработка контекстно-ориентированных учебных курсов на примере курсов управления инновационными проектами и системного анализа [Текст] / М.В. Финков, Н.А. Цветкова // Современное образование: проблемы взаимосвязи образовательных и профессиональных стандартов. Материалы междунар. науч-метод. конф., 28–29 янв. 2016 г., Россия, Томск. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2016. – С. 59–61.

13. Цветкова, Н.А. Подход к преподаванию курса «Управление инновационными процессами» [Текст] / И.Л. Туккель, Н.А. Цветкова // Современное образование: проблемы взаимосвязи образовательных и профессиональных стандартов. Материалы междунар. науч-метод. конф., 28–29 янв. 2016 г., Россия, Томск. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2016. – С. 49–51.

14. Цветкова, Н.А. Подход к обучению студентов на примере курса управления проектами [Текст] / М.В. Финков, Н.А. Цветкова // Материалы Девятого всерос. форума студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах», 27–30 окт. 2015 г. – СПб.: Изд-во: Политехн. ун-та. – 2015. – С. 253–254.

15. Цветкова, Н.А. Кибернетический подход к управлению инновационными процессами [Текст] / И.Л. Туккель, Н.А. Цветкова // Сборник науч. трудов XIX междунар. науч.-практ. конф. «Системный анализ в проектировании и управлении», 1–3 июля 2015 г. – СПб.: Изд-во: Политехн. ун-та. – 2015. – Ч. 2. – С. 113–118.

16. Цветкова, Н.А. О некоторых особенностях управления инновационными процессами [Текст] / Н.А. Цветкова // Студ. науч. конф. «Информатика и Кибернетика» (ComCon-2015). – СПб.: Из-во СПбПУ, 2015. – С. 411–413.

17. Цветкова, Н.А. Последовательность реализации инновационных проектов [Текст] / И.Л. Туккель, Н.А. Цветкова // Материалы науч.-практ. конф. с междунар. уч. «Неделя науки СПбГПУ». – 2014. – С. 317–320.

18. Цветкова, Н.А. Последовательность запуска инновационных проектов в портфеле проектов [Текст] / И.Л. Туккель, Н.А. Цветкова // Матер. науч.-практ. конф. с междунар. уч., 3–8 дек. 2012 г., СПбГПУ. – 2012. – Ч. XVII. – С. 50–52.

19. Трубкина, Н.А. Сравнительный анализ моделей распространения инноваций [Текст] / Н.А. Трубкина // Старт в будущее. Труды 2-й научн.-технич. конф. молодых спец-тов ОАО «КБСМ». – СПб. – 2011. – 352 с.

20. Трубкина Н.А. Особенности многопроектного управления [Текст] / И.Л. Туккель, Н.А. Трубкина // XXXIX Неделя науки СПбГПУ: мат. междунар. науч.-практ. конф. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2010. – Ч. XVII. – 55 с.

Подписано в печать 18.07.2018. Формат 60x84 1/16.
Печ. л. 1.0. Тираж 100 экз. Заказ ____
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.
Издательско-полиграфический центр СПбПУ.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.