

# Cloud of Science



Том 3 Номер 3

Электронный журнал  
[www.cloudofscience.ru](http://www.cloudofscience.ru)

12+

---

# Электронный журнал Cloud of Science

Том 3. № 3

ISSN 2409-031X

*Тематика журнала:* Информатика; Автоматика и вычислительная техника; Математическое моделирование; Использование пакетов прикладных программ для решения инженерных и экономических задач; Компьютерное моделирование в естественных науках.

*Периодичность:* 4 номера в год.

Статьи проходят обязательное рецензирование.

**Статьи индексируются в базе данных РИНЦ  
(Российский индекс научного цитирования)**

Статьи принимаются в формате MS Word по электронной почте  
[e\\_nikulchev@mti.edu.ru](mailto:e_nikulchev@mti.edu.ru)

Приветствуются статьи с приложением в виде текстов программ, запускаемых программных модулей, роликов, анимации. Все приложения размещаются на странице номера журнала в сети Интернет и направлены на повышение восприятия материала и обоснованности выводов.

Статьи проходят независимое рецензирование двумя экспертами. Максимальное время экспертизы — один месяц с даты регистрации. Статья считается зарегистрированной после направления письма автору с указанием регистрационного номера. Статьи могут быть не приняты к публикации в журнале в случае отрицательных рецензий обоих рецензентов или при несоответствии тематике журнала. Отсутствие «научной новизны» не может являться основанием для отклонения рукописи.

## Редакционная коллегия

### Главный редактор

**Никульчев Е. В.**, д. т. н., профессор  
проректор, Московский технологический институт  
(Россия, Москва)

### Члены редколлегии

**Андрейчикова О. Н.**, д. т. н., профессор  
в. н. с., Центральный экономико-математический институт  
РАН (Россия, Москва)

**Анриринов Д. Е.**, д. т. н., доцент  
зав. каф., Владимирский государственный университет  
им. А. Г. и Н. Г. Столетовых (Россия, Муром)

**Барахнин В. Б.**, д. т. н., доцент  
с. н. с., Институт вычислительных технологий СО РАН,  
проф., Новосибирский государственный университет  
(Россия, Новосибирск)

**Барановский Н. В.**, к. ф.-м. н.  
доцент, Энергетический институт НИУ Томский политехниче-  
ский университет (Россия, Томск)

**Белов В. В.**, д. т. н., профессор  
профессор, Рязанский государственный радиотехнический  
университет (Россия, Рязань)

**Бубнов Г. Г.**, д. э. н., профессор  
ректор, Московский технологический институт  
(Россия, Москва)

**Веремей Е. И.**, д. ф.-м. н., профессор  
зав. каф., факультет ПМ-ПУ, Санкт-Петербургский государ-  
ственный университет (Россия, Санкт-Петербург)

**Винокур А. И.**, д. т. н., профессор  
директор института, Московский государственный универси-  
тет печати имени Ивана Федорова (Россия, Москва)

**Волынский А. А.**, PhD,  
professor (associate), Университет Южной Флориды  
(США, Тампа)

**Горяшко А. П.**, д. т. н., профессор  
профессор, Московский технологический институт  
(Россия, Москва)

**Демидова Л. А.**, д. т. н., профессор  
профессор, Рязанский государственный радиотехнический  
университет (Россия, Рязань)

**Жабко А. П.**, д. ф.-м. н., профессор  
зав. каф., факультет ПМ-ПУ, Санкт-Петербургский государ-  
ственный университет (Россия, Санкт-Петербург)

**Иглин С. П.**, к. т. н., профессор  
профессор, Харьковский политехнический институт  
(Украина, Харьков)

**Карпухин А. В.**, к. т. н., доцент  
в. н. с., Харьковский национальный университет радиоэлек-  
троник (Украина, Харьков)

**Ковшов Е. Е.**, д. т. н., профессор  
профессор, МГТУ «СТАНКИН» (Россия, Москва)

**Куанг Чинь Льюнг**, к. ф.-м. н.  
профессор, Университет Бинь Зьонг (СРВ, Хошимин)

**Ландэ Д. В.**, д. т. н., с. н. с.  
зав. отделом, Институт проблем регистрации информации  
НАН Украины, профессор, НТУУ Киевский политехнический  
институт (Украина, Киев)

**Лушников Б. В.**, к. т. н., доцент  
доцент, Юго-Западный государственный университет  
(Россия, Курск)

**Майков К. А.**, д. т. н., профессор  
профессор, МГТУ имени Н. Э. Баумана (Россия, Москва)

**Мещеряков В. А.**, д. т. н., доцент  
зав. каф., Омский филиал Финансового университета  
при Правительстве РФ (Россия, Омск)

**Мокрицкая Т. П.**, д. геолог. н., доцент  
профессор, Днепрпетровский национальный университет  
им. Олеса Гончара (Украина, Днепрпетровск)

**Мухамедиев Р. И.**, д. инж. н., профессор  
зав. каф., Международный университет информационных  
технологий (Казахстан, Алматы)

**Очков В. Ф.**, д. т. н., профессор  
профессор, НИУ Московский энергетический институт  
(Россия, Москва)

**Патель Н.**, PhD, профессор,  
профессор, Технологический институт Бирла (Индия, Мерса,  
Ранчи)

**Плужник Е. В.**, DBA  
первый проректор, Московский технологический институт  
(Россия, Москва)

**Подольнец Л. А.**, д. э. н., профессор  
зав. каф., Санкт-Петербургский университет сервиса  
и экономики (Россия, Санкт-Петербург)

**Пылькин А. Н.**, д. т. н., профессор  
декан, зав. каф., Рязанский государственный радиотехнический  
университет (Россия, Рязань)

**Рогачев Г. Н.**, д. т. н., доцент  
профессор, Самарский государственный технический универ-  
ситет (Россия, Самара)

**Солдаткин В. И.**, д. ф. н., профессор  
вице-президент, Московский технологический институт  
(Россия, Москва)

**Сухомлин В. А.**, д. т. н., профессор  
зав. лаб., Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова (Россия, Москва)

**Тарасевич Ю. Ю.**, д. ф.-м. н., профессор  
зав. каф., Астраханский государственный университет  
(Россия, Астрахань)

**Тютиков В. В.**, д. т. н., профессор  
проректор, Ивановский государственный энергетический  
университет (Россия, Иваново)

**Титов С. А.**, к. э. н., доцент  
Московский технологический институт  
(Россия, Москва)

**Федотов А. М.**, чл.-корр. РАН, д. ф.-м. н.,  
профессор  
профессор, Новосибирский государственный университет,  
г. н. с., Институт вычислительных технологий СО РАН  
(Россия, Новосибирск)

**Хранилов В. П.**, д. т. н., профессор  
зам. директора ИРИТ, Нижегородский государственный  
технический университет имени Р. Е. Алексеева  
(Россия, Нижний Новгород)

**Хо Дак Лок**, PhD, prof.  
ректор, Хошиминский Технологический Институт  
(СРВ, Хошимин)

**Штейнберг В.** PhD, prof.  
профессор, Научный институт имени Х. Вейцмана  
(Реховот, Израиль)

**Черных И. В.**, д. т. н., доцент  
зав. каф., Уральский федеральный университет  
им. Б. Н. Ельцина (Россия, Екатеринбург)

## Содержание

Том 3. № 3

### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

- А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова*  
Патентный ландшафт спутниковой навигации ..... 326
- А. Абдильманова, Р. Алигулиев, Р. Мухамедиев*  
Дифференциальные метрики оценки библиометрических показателей  
доменов ИКТ ..... 366
- А. И. Дивеев, Е. Ю. Шмалько*  
Решение задачи двумерной упаковки методом вариационного  
генетического алгоритма..... 380

### ПАКЕТЫ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ

- В. Ф. Очков, А. Д. Фалькони*  
Семь вычислительных кривых или Велосипед Аполлония ..... 396

### ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- С. В. Логанов*  
Применение объекта-шлюза для записи составных объектов  
в базах данных..... 419

### ОБЛАЧНЫЕ И СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- D. Y. Ilin, M. E. Volovich, V. V. Filatov*  
Analysis of CloudStack Platform Suitability for Management  
of Different Cloud Infrastructure Configurations..... 433

### ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ

- Д. В. Плохов, Е. В. Никульчев, С. А. Титов, И. В. Осипов*  
Методика оценки влияния социальных коммуникаций  
на результативность инновационного проекта..... 444



## Патентный ландшафт спутниковой навигации\*

А. В. Андрейчиков<sup>1</sup>, О. Н. Андрейчикова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет путей сообщения  
127994, ГСП-4, Москва, ул. Образцова, 15

<sup>2</sup>Центральный экономико-математический институт  
Российской академии наук  
117418, Москва, Нахимовский пр-т, 47  
e-mail: alexandrol@mail.ru

*Аннотация.* В работе проанализирован патентный ландшафт в сфере спутниковой навигации GPS – ГЛОНАСС с использованием международного патентного ресурса Qustel-Orbit. Изобретения, основанные на использовании систем GPS – ГЛОНАСС, имеют широкий спектр областей практического применения. В рассматриваемой области наибольшее число патентов опубликовано в Китае, США, Корее. Россия занимает одиннадцатую позицию в данном рейтинге. Предложен новый подход к позиционированию патентообладателей на основе следующих показателей: число патентных семей и сходство патентных портфелей патентообладателей. Приведен пример позиционирования патентообладателей в области GPS-ГЛОНАСС на территории Российской Федерации.  
*Ключевые слова:* спутниковая навигация; GPS; ГЛОНАСС, патентный ландшафт; патент, патентообладатель, позиционирование патентообладателей.

### 1. Введение

Для того чтобы инновации обеспечивали повышение производительности труда и коммерческий доход, необходимо на предпроектной стадии создания инноваций провести системные исследования в соответствующей технологической предметной области.

Проведение таких исследований позволяет решить следующие стратегические задачи:

- выявить общее состояние и направление развития инновационных технологий в рассматриваемой предметной области в мире и/или на территориях отдельно взятых государств;

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ, проект № 16-02-00743 «Многокритериальный анализ и прогнозирование технико-экономического состояния и тенденций развития ведущих мировых аэрокосмических компаний».

- идентифицировать конкурентов и определить направления их деятельности;
- выявить, на какие новые рынки/страны вышли или собираются выходить конкуренты;
- собрать информацию о том, над какими технологическими проектами работают конкуренты.

В настоящее время для решения указанных выше задач инновационные организации всего мира активно используют международные патентные ресурсы, поскольку патент является первой публикацией, которая может указывать о возможном маркетинговом плане конкурентов, а 70–90% информации, содержащейся в патентных документах, больше нигде не публикуется.

Наиболее полная в мире коллекция патентов, сконцентрировавшая информацию из 67 стран мира и 37 международных патентных баз данных, содержится в информационном ресурсе Questel-Orbit [1].

Questel-Orbit — подразделение коммуникационной компании FRANCE TELECOM GROUP, которая более двадцати лет является лидером информационной индустрии, имея высокий рейтинг в области предоставления данных, связанных с интеллектуальной собственностью и бизнесом.

Указанный информационный ресурс использовался в настоящей работе для исследования инноваций в области спутниковых систем навигации, которые в обозримом будущем качественно изменят ситуацию не только в отдельных отраслях деятельности, но и во всем мировом хозяйстве.

Поскольку детальный анализ возможен на выборке не более 15 000 документов, мы рассмотрели отдельно выборки патентов в сфере GNSS/GPS, опубликованные в разных странах, в частности в России, Китае и США.

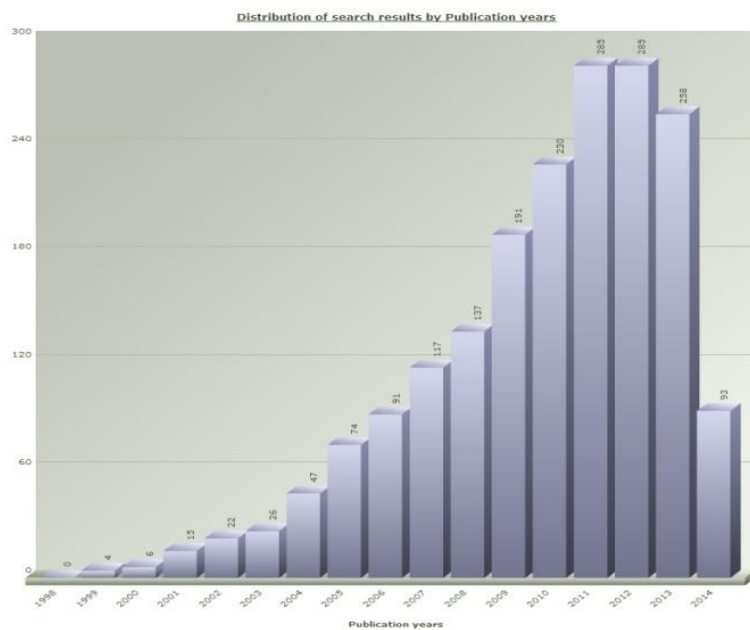
## 2. Анализ патентов, действующих на территории России

Из выборки патентов в сфере GNSS/GPS с приоритетом после 01.01.2004 г. (47 600 документов) в России опубликовано 1302 патента, (без ограничения на дату приоритета найдено 1628 документов, анализ проводился на выборке с ограничением).

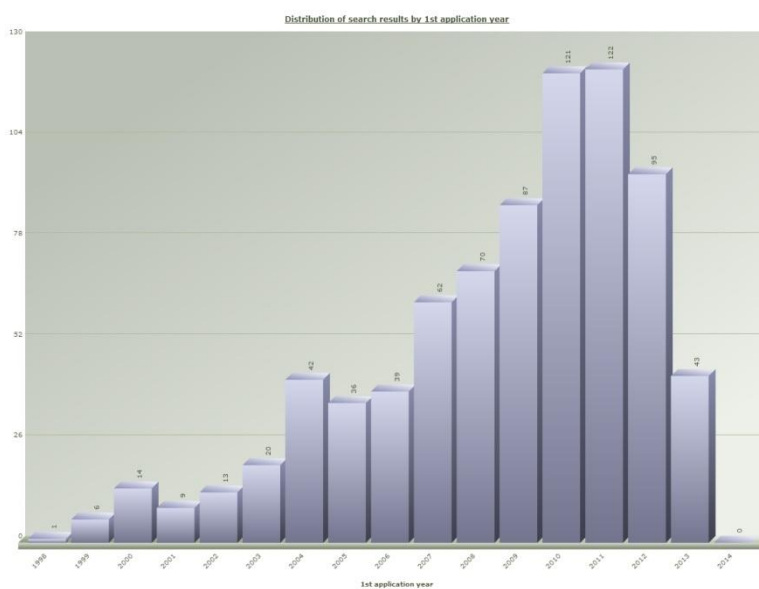
Распределения опубликованных в России патентов по дате публикации и дате подачи первой заявки приведены на рис. 1, который демонстрирует почти экспоненциальный рост числа публикаций с 1998 г., причем ежегодное число первичных заявок в два раза меньше общего количества публикаций.

Рис. 2 демонстрирует распределение патентов по странам публикации, откуда видно, что почти половина документов имеет международную охрану. Распределение патентов по странам приоритета (рис. 3) позволяет предположить, что почти

половина опубликованных патентов — иностранные, так как только 406 документов имеют приоритет России. Среди патентов с приоритетом России есть патенты США и других стран, принадлежащие, как правило, иностранным патентообладателям.



a)

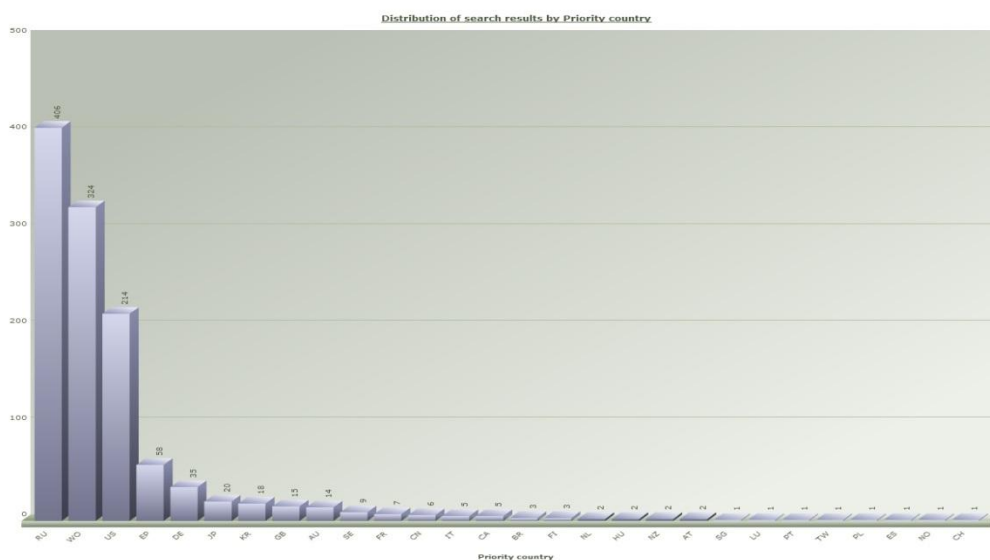


б)

*Рисунок 1. Распределение по дате публикации (а) и по дате первой заявки (б)*



*Рисунок 2. Распределение по странам публикации*



*Рисунок 3. Распределение патентов по странам приоритета*

Ведущие патентообладатели в выборке российских патентов в области GPS/GNNS представлены на рис. 4, который показывает, что в этой области лиди-

руют иностранные компании. Российские правообладатели на рис. 4 представлены достаточно слабо.

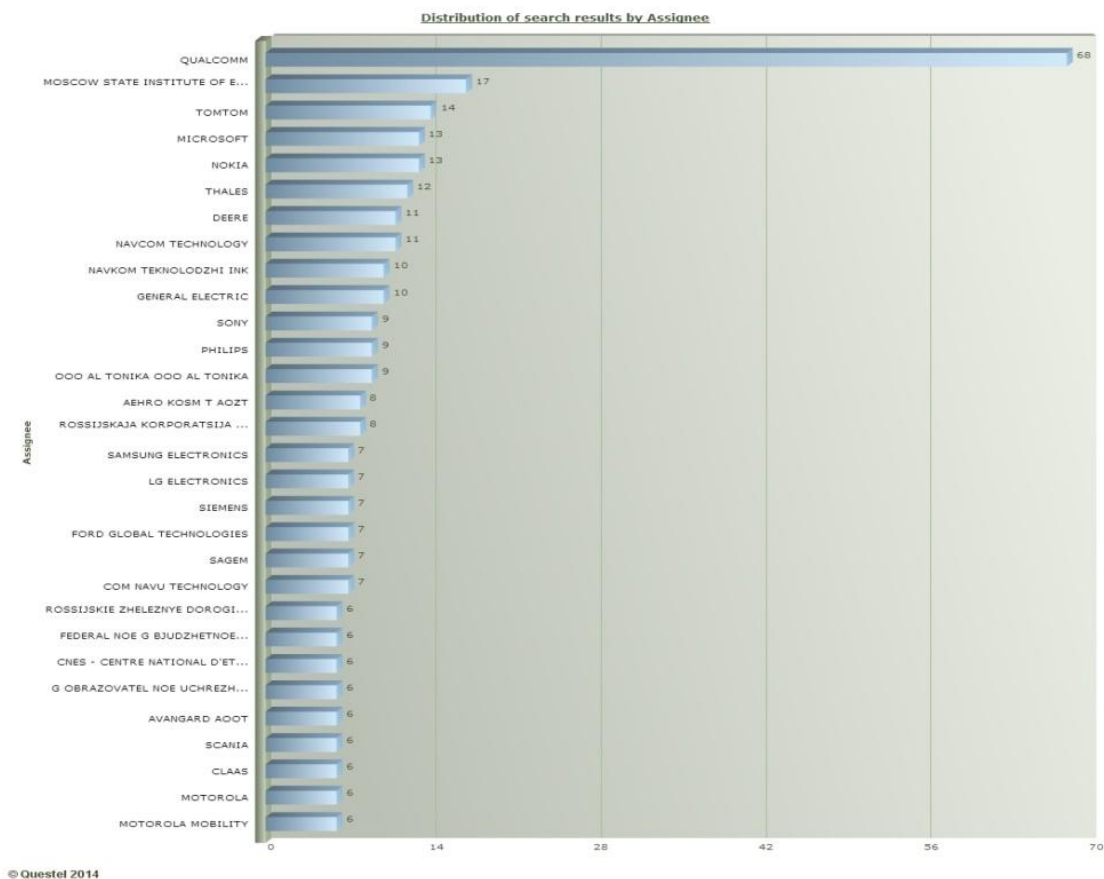


Рисунок 4. Ведущие патентообладатели

Возможные причины этого могут быть связаны с проблемой наименований, а также включением в запрос термина GPS. Предполагая, что отечественная навигационная система ГЛОНАСС (GNSS) более актуальна для российских изобретателей, мы сделали выборку патентов по ключевому словосочетанию Global Navigation Satellite System (без ограничения по дате приоритета, но с ограничением по территории РФ) и получили выборку из 1364 документов. Распределения этих документов по дате публикации и дате приоритета представлены на рис. 5, где можно видеть, что активное патентование начинается с конца 90-х гг. и имеет экспоненциально возрастающий тренд, а ежегодное число публикаций почти совпадает с числом первичных заявок, что наталкивает на мысль об их отечественном происхождении. Рис. 6 показывает распределения патентных документов по стране публикации и стране приоритета (происхождения) и подтверждает выдвинутую ги-

потезу, поскольку из всего множества только 38 документов имеют приоритет США, 9 — приоритет Европы, 8 — Франции и т. д. Публикаций патентов в этих и других странах больше, в частности в США опубликован 61 патент, в Европе — 68, в Китае — 52.

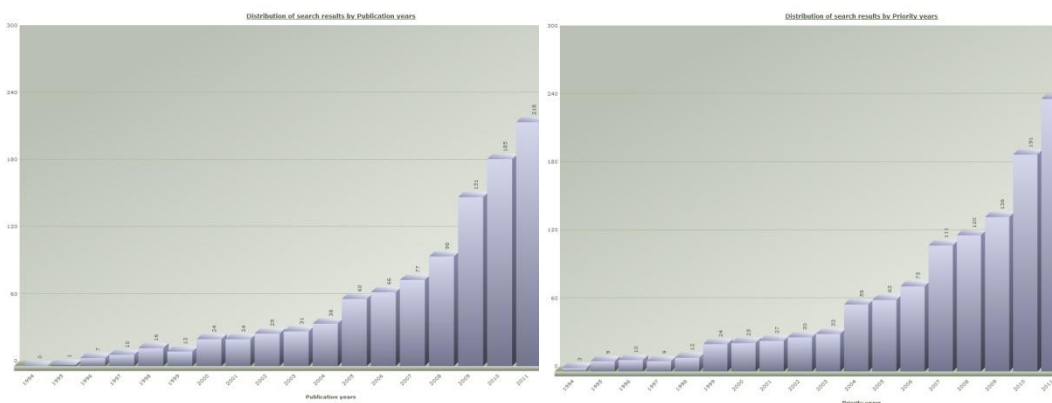


Рисунок 5. Распределение патентов ГЛОНАСС по дате публикации (слева) и дате приоритета (справа)

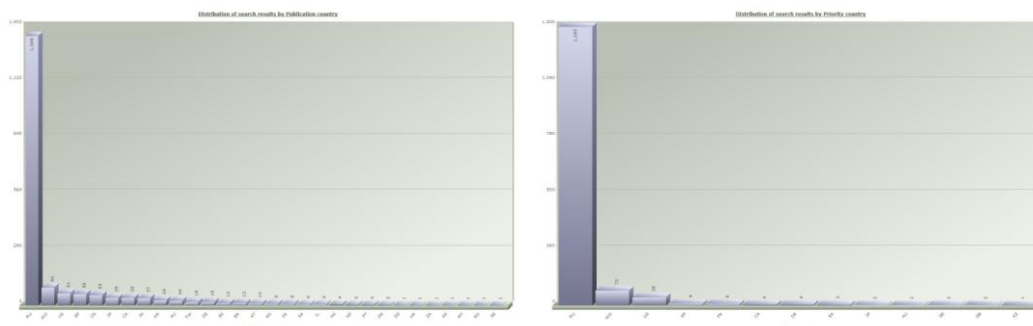


Рисунок 6. Распределение патентов ГЛОНАСС по стране публикации (слева) и стране приоритета (справа)

Динамика публикации патентов ГЛОНАСС по странам представлена на рис. 7, где можно заметить, что пик активности приходится на 2009 г., а наибольшее число патентных публикаций имеют юрисдикцию US (США), WO (международные заявки), EP (европейские заявки и патенты), CN (Китай), CA (Канада), JP (Япония), IN (Индия), KR (Корея), и AU (Австралия).

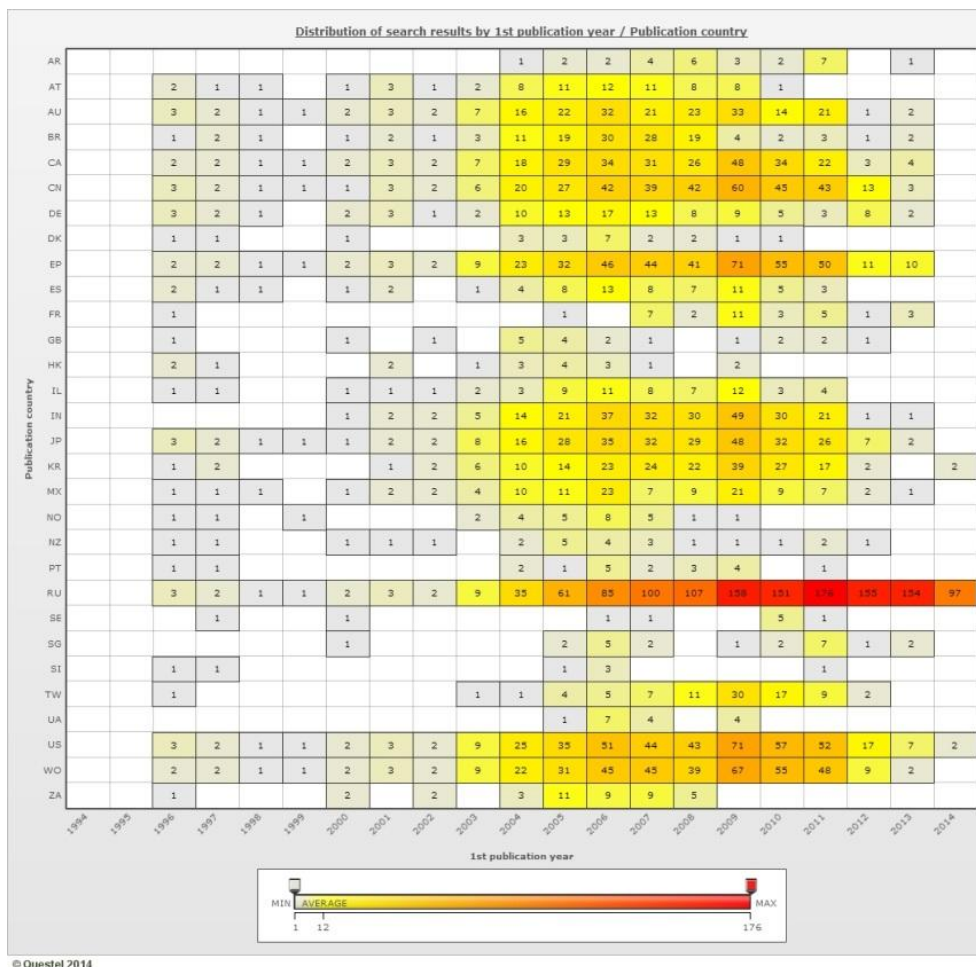


Рисунок 7. Динамика публикации патентов ГЛОНАСС по странам

Ведущие патентообладатели в области GNSS (ГЛОНАСС) на территории РФ приведены на рис. 8. Несмотря на путаницу с наименованиями организаций, здесь все же можно определить лидеров. Это — МИЭТ (Moscow State Institute of Electronic Technology) с 29 документами (без международной охраны), QUALCOMM (США) с 22 патентами, ОАО РЖД с 18 патентами РФ, Российский институт радионавигации и времени (14 патентов РФ), Открытая российская корпорация ракетно-космического приборостроения (13 патентов РФ).

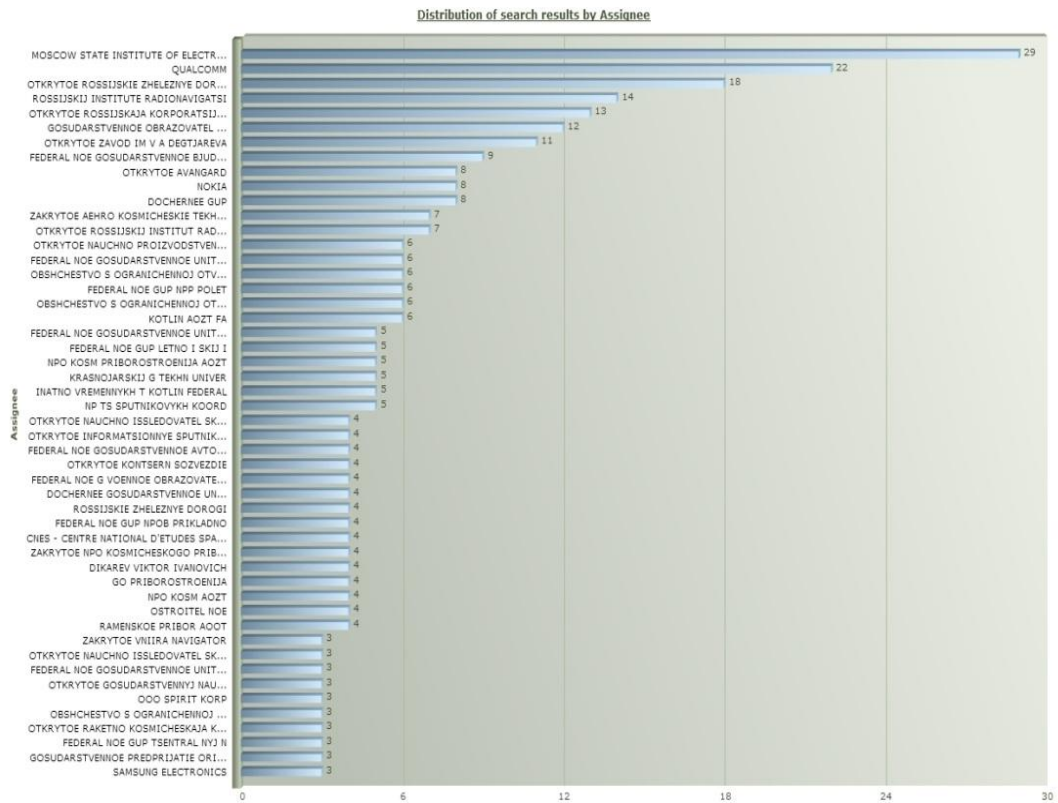


Рисунок 8. Ведущие патентообладатели российских патентов по ГЛОНАСС

### 3. Анализ патентов, действующих на территории США

Из выборки патентов по GNSS/GPS с приоритетом после 01.01.2004 г. в США опубликовано 14 453 документа. Их распределения по дате и стране публикации показаны на рис. 9, а на рис. 10 показана динамика происхождения патентов в странах, где легко увидеть лидеров по темпам публикации — Корею, Японию, Китай и Тайвань. В Германии темп немного замедлился в последние годы, однако при этом число европейских и международных патентов растет.



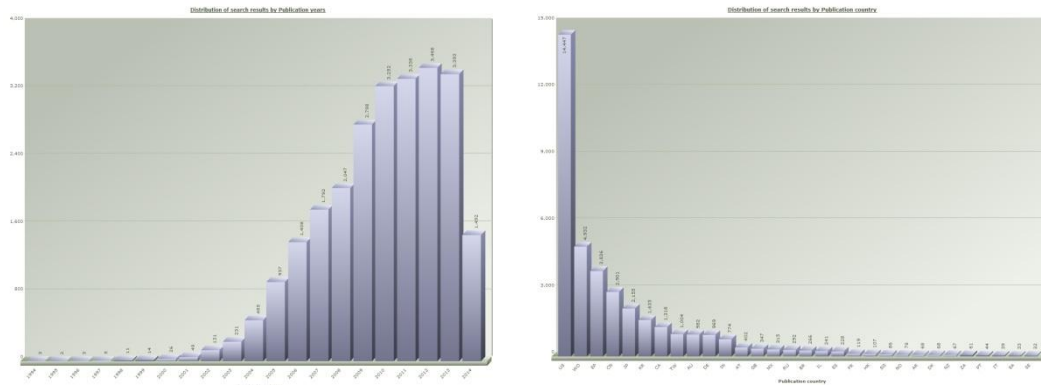


Рисунок 9. Распределение патентов GNSS/GPS по дате публикации (слева) и стране публикации (справа)

Диаграмма на рис. 11 демонстрирует активность ведущих патентообладателей в исследуемой выборке, где сразу можно заметить лидеров — QUALCOMM, Samsung Electronics и Microsoft. У некоторых компаний наблюдаются эпизодические всплески патентной активности, которые, как правило, связаны с появлением новых технологий. На рис. 11 можно увидеть некоторых представителей аэрокосмической отрасли, например Boeing и Honeywell, которые имеют сильные подразделения в области информационных технологий и электроники.

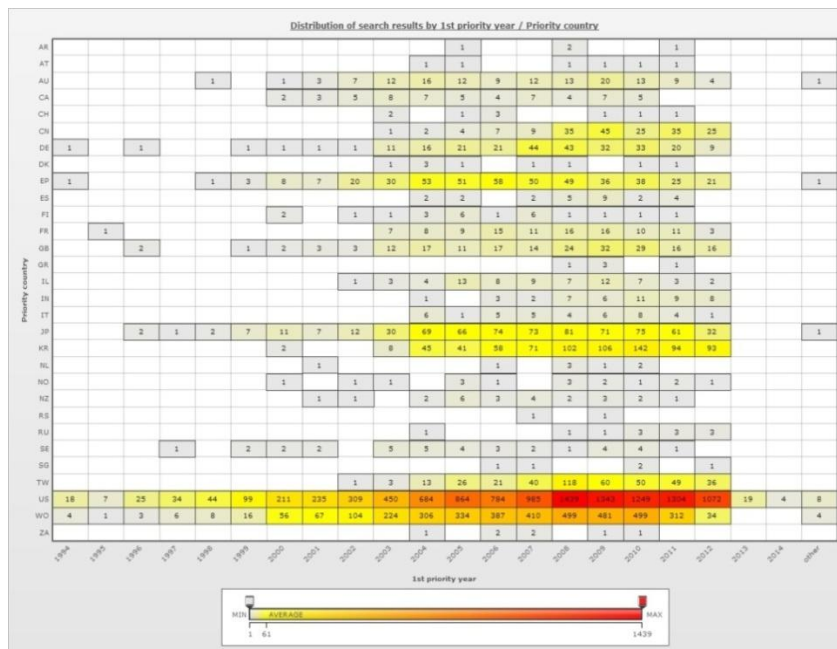


Рисунок 10. Динамика происхождения патентов по странам

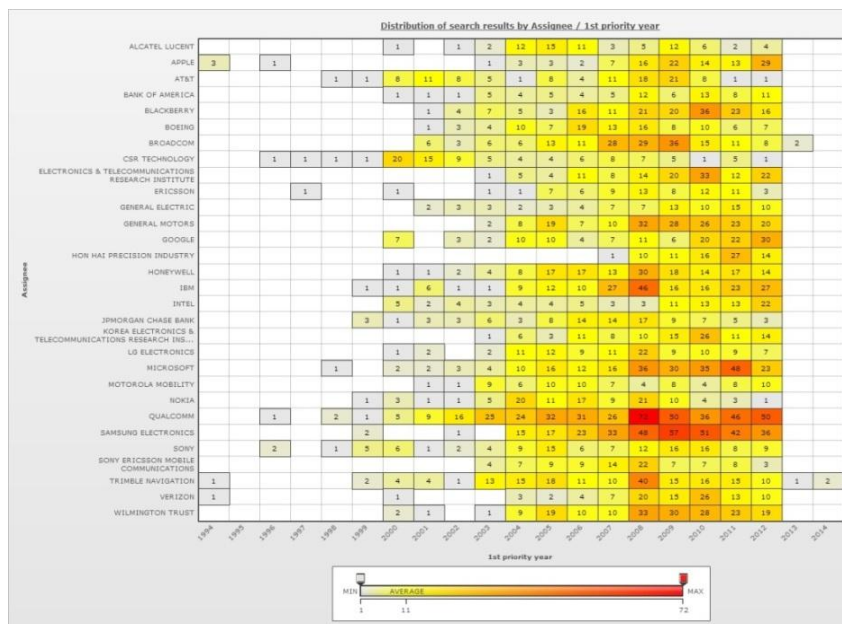


Рисунок 11. Активность ведущих патентообладателей

#### 4. Анализ патентов, действующих на территории Китая

В Китае по направлению GNSS/GPS на 20.06 2014 г. было опубликовано 20 108 патентов, а на 13.10 2014 г. опубликовано уже 29 536 документов с приоритетом после 01.01.2004 г. В настоящее время патентование в Китае имеет самый высокий темп в мире, там публикуется более миллиона патентов в год. Для сравнения, в России опубликовано 850 000 патентов с 1991 г.

Из-за ограничения на размер выборки для детального анализа патентов мы выполнили краткий анализ выборки китайских патентов в области GNSS/GPS с приоритетом после 01.01.2011 г., включающей 14 057 документов. На рис. 12 показаны распределения по стране публикации и стране приоритета, которые свидетельствуют о том, что 2/3 опубликованных патентов имеют китайский приоритет. Из этого можно заключить, что большая часть современных китайских патентов имеют китайское происхождение и что китайские патентообладатели не сильно заботятся о международном охране своих изобретений.

Ведущие правообладатели представлены на рис. 13, который подтверждает сделанный выше вывод о территории происхождения патентов. Наряду с иностранными лидерами данного технологического направления, такими как Qualcomm, State Grid, Samsung Electronics, ZTE, Microsoft, Sony и другими, рис. 13 демонстрирует большой список китайских правообладателей, среди которых очень много университетов и гораздо меньше промышленных компаний.

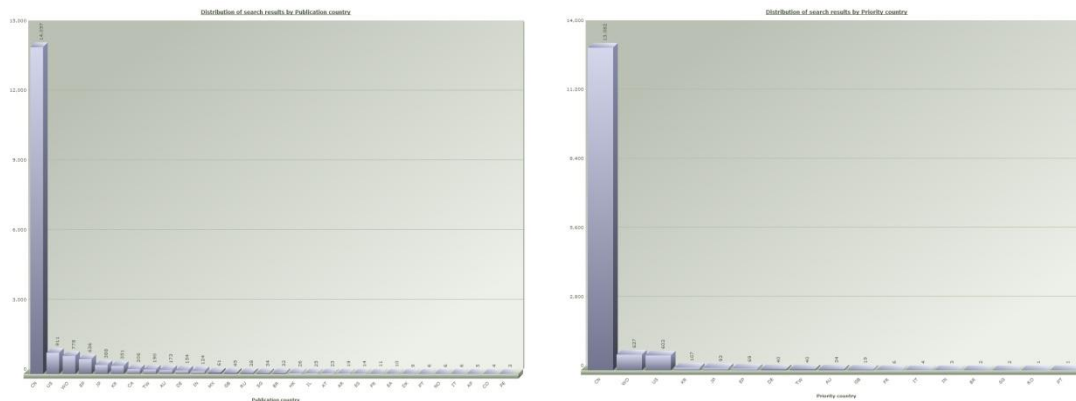


Рисунок 12. Распределение китайских патентов по стране публикации (слева) и стране приоритета (справа)

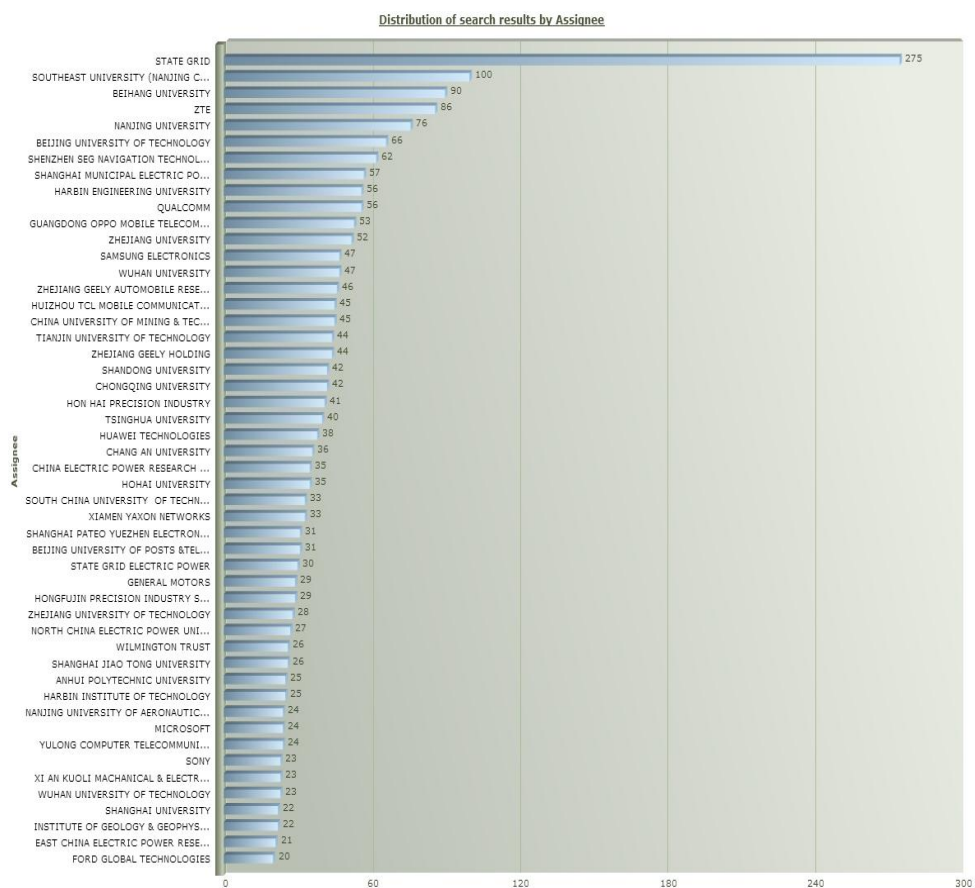


Рисунок 13. Ведущие патентообладатели

## 5. Анализ областей патентования технологий, ориентированных на применение систем GPS и ГЛОНАСС (GNSS) в мире, России, США и Китае

В этом разделе выявлены ведущие (с наибольшим количеством патентов) подклассы, группы и подгруппы Международной патентной организации (МПК), в которых патентуются изобретения, ориентированные на применение систем GPS и ГЛОНАСС. Анализ проводился на территориальных выборках патентов, полученных по запросам с ключевыми словами Глонасс, GNSS и GPS.

Ведущие подгруппы МПК в выборке патентов, полученной по ключевым словам ГЛОНАСС (GNSS), представлены на рис. 14. Общее число патентов в ведущих подклассах равно 1187 (размер выборки 1364 документа). Эти подгруппы входят в состав трех разделов МПК.

Раздел *B* — Различные технологические процессы; Транспортирование (117 документов).

Раздел *G* — Физика (820 документов).

Раздел *H* — Электричество (250 документов).

Наибольшее количество патентов содержится в следующих подклассах и подгруппах.

### Подклассы.

*G01S* — радиопеленгация; радионавигация; измерение расстояния или скорости с использованием радиоволн; определение местоположения или обнаружение объектов с использованием отражения или переизлучения радиоволн; аналогичные системы с использованием других видов волн (518 патентов).

*H04B* — передача сигналов (170 патентов).

*G01C* — измерение расстояний, горизонтов или азимутов; топография; навигация; гироскопические приборы; фотограмметрия или видеограмметрия (92 патента).

*G08B* — сигнальные устройства или устройства вызова; командные телеграфные аппараты; системы тревожной сигнализации (63 патента).

*B61L* — управление движением на железных дорогах; средства техники безопасности на железнодорожном транспорте (55 патентов).

### Подгруппы.

*G01S-19/00* — спутниковые радионавигационные системы позиционирования; определение местоположения, скорости или углового пространственного положения с использованием сигналов, переданных такими системами (88 патентов).

*G01S-1/00* — маяки и системы маяков, излучающие сигналы с характеристиками, позволяющими обнаружить их с помощью приемников ненаправленного дей-

ствия, и определяющие направления и положения, фиксированные относительно маяков; приемники для этих систем (68 патентов).

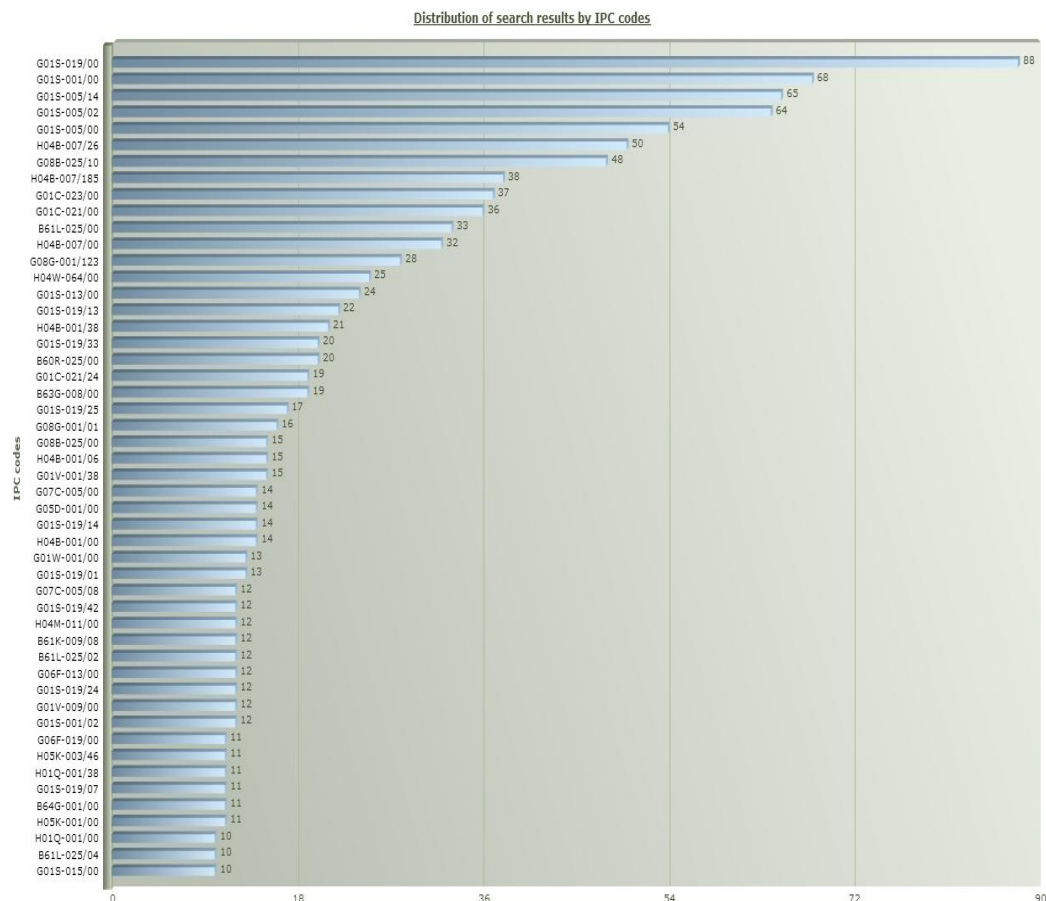


Рисунок 14. Ведущие подгруппы в выборке патентов ГЛОНАСС

*G01S-5/00* — определение местоположения путем сопоставления в одной системе координат двух и более найденных направлений; определение местоположения путем сопоставления в одной системе координат двух и более найденных расстояний (54 патента).

*G01S-5/14* — определение абсолютных расстояний до нескольких разнесенных точек с известным местоположением (65 патентов).

*G01S-5/02* — определение местоположения с использованием радиоволн (64 патента).

*H04B-7/26* — системы радиосвязи, т. е. системы с использованием излучения для связи между двумя или более станциями, из которых, по меньшей мере, одна передвижная (50 патентов).

*G08B-25/10* — системы подачи сигналов тревоги с передачей на центральную станцию сигналов, определяющих местоположение пункта, в котором возникли условия, вызвавшие появление сигнала тревоги, например пожарные или полицейские телеграфные системы с использованием систем радиосвязи (48 патентов).

В табл. 1 показано наличие патентов в подгруппах для трех исследуемых выборок: 1 — по ключевому слову ГЛОНАСС (1364 документа, все патенты опубликованы в РФ); 2 — выборка по ключевым словам GNSS or GPS на территории РФ; 3 — выборка по ключевым словам GNSS or GPS на территории США. Расшифровку патентных классов из табл. 7 можно найти в патентной базе данных Федерального института промышленной собственности (ФИПС) [2].

В табл. 1 голубым цветом отмечены подгруппы, которые присутствуют во всех исследуемых выборках, желтым — подгруппы, которых нет в выборке ГЛОНАСС, сиреневый цвет означает отсутствие соответствующих подгрупп в патентах на территории США, а оранжевый — отсутствие подгрупп на территории РФ. Пустые ячейки можно рассматривать как потенциальные технологические (и коммерческие) ниши: оранжевые — на территории РФ; сиреневые — на территории США. Например, в России есть 20 патентных публикаций в подгруппе B60R-25/00 (Оборудование транспортных средств для предотвращения или обнаружения недозволенного использования или кражи транспортных средств) с применением ГЛОНАСС, а в США таких патентов пока нет, следовательно, существует возможность захвата этой ниши.

Рассмотрим, насколько сходны между собой ведущие подгруппы патентов для каждой из рассматриваемых территорий. Определим три класса подгрупп патентов. Первый класс «ГЛОНАСС» — ведущие подгруппы патентов из выборки Глонасс, второй и третий классы — ведущие подгруппы патентов из выборок GNSS/GPS, опубликованные на территориях РФ и США соответственно (классы «GNSS/GPS РФ» и «GNSS/GPS США»). Для анализа классов используются признаки, характеризующие эти классы. Используются признаки двух типов: качественные — наименования подгрупп и количественные — наименования подгрупп и количество патентов в подгруппах.

Таблица 1. Сравнительный анализ ведущих подгрупп МПК на наличие патентов в выборках ГЛОНАСС, GNSS/GPS (РФ) и GNSS/GPS (США)

Ведущие подгруппы, входящие в топ 50	Вид поискового запроса			Ведущие подгруппы, входящие в топ 50	Вид поискового запроса		
	ГЛОНАСС	GNSS/GPS в РФ	GNSS/GPS в США		ГЛОНАСС	GNSS/GPS в РФ	GNSS/GPS в США
	Количество патентов				Количество патентов		
B60R 25/00	20			G06F 17/00		29	924
B61K 9/08	12			G06F 17/30		19	773
B61L 25/00	33	19		G06F 17/50			849
B61L 25/02	12			G06F 19/00	11	37	
B61L 25/04	10			G06K 9/00			342
B63G 8/00	19			G06Q 10/00			478
B64G 1/00	11			G06Q 30/00			599
G01C 21/00	36	71	1608	G06Q 50/00			310
G01C 21/24	19			G07C 5/00	14	17	
G01C 21/26		25	452	G07C 5/08	12		
G01C 21/28		20	285	G08B 1/00			385
G01C 21/32		15		G08B 1/08			486
G01C 21/34		22	442	G08B 21/00			303
G01C 21/36		15	314	G08B 25/00	15		
G01C 23/00	37			G08B 25/10	48	22	
G01S 1/00	68	65	1053	G08G 1/00		14	365
G01S 1/02	12			G08G 1/01	16		
G01S 5/00	54	29	409	G08G 1/123	28	22	288
G01S 5/02	64	42	517	G09B 29/00		17	
G01S 5/14	65	72	746	G09B 29/10		17	
G01S 13/00	24			G09G 5/00			269
G01S 15/00	10			H01Q 1/00	10		
G01S 19/00	88	88	1947	H01Q 1/38	11		
G01S 19/01	13	15		H04B 1/00	14	15	367
G01S 19/05		18		H04B 1/06	15		
G01S 19/07	11			H04B 1/38	21	19	328
G01S 19/12		15		H04B 7/00	32	25	443
G01S 19/13	22			H04B 7/185	38	24	310
G01S 19/14	14	16		H04B 7/26	50	45	339
G01S 19/24	12			H04L 12/28		17	272
G01S 19/25	17	31	286	H04L 29/06			314
G01S 19/33	20	15		H04L 29/08			289
G01S 19/42	12	22	401	H04M 1/00		27	601
G01S 19/46		18		H04M 3/42			340
G01S 19/48		15	347	H04M 11/00	12	18	284
G01S 21/26		25		H04M 11/04			296
G01V 1/00		14		H04N 7/18			362
G01V 1/38	15			H04W 4/00			1155
G01V 9/00	12			H04W 4/02		32	1020
G01W 1/00	13			H04W 24/00		28	996
G05D 1/00	14	15		H04W 48/00		20	
G06F 3/00			384	H04W 56/00		17	
G06F 7/00			462	H04W 64/00	25	56	781
G06F 13/00	12			H04W 88/00		23	460
G06F 15/00			506	H04W 88/02		16	346
G06F 15/16			673	H05K 1/00	11		
				H05K 3/46	11		



Матрицы сходства рассматриваемых классов, построенные для качественных и количественных признаков с использованием меры сходства Чекановского — Серенсена, имеют вид:

Качественные признаки				Количественные признаки			
Класс	ГЛОНАСС	GNSS/GPS РФ	GNSS/GPS США	Класс	ГЛОНАСС	GNSS/GPS РФ	GNSS/GPS США
ГЛОНАСС	1	0.46	0.3	ГЛОНАСС	1	0.514	0.045
GNSS OR GPS РФ	0.46	1	0.58	GNSS OR GPS РФ	0.514	1	0.072
GNSS OR GPS США	0.3	0.58	1	GNSS OR GPS США	0.045	0.072	1

По качественным признакам наибольшее сходство (0.58) имеют классы «GNSS/GPS РФ» и «GNSS/GPS США», наименьшее — «ГЛОНАСС» и «GNSS/GPS США» (0.30). По количественным признакам наибольшее сходство имеют классы «ГЛОНАСС» и «GNSS/GPS РФ» (0.514), а наименьшее сходство наблюдается между классами «ГЛОНАСС» и «GNSS/GPS США» (0.072). Существенное отличие состава патентных подгрупп в России и США может подсказать перспективные направления разработок в России и принять решения о международной охране отечественных изобретений за рубежом.

На рис. 15 показана динамика патентования ведущих подгрупп в США в период с 2000 по 2014 гг., где можно видеть наиболее перспективные подгруппы (с наибольшим числом патентов) за последние пять лет (2009–2013 гг.).

*G01S-19/00* — спутниковые радионавигационные системы позиционирования; определение местоположения, скорости или углового пространственного положения с использованием сигналов, переданных такими системами.

*G01C-21/00* — навигация; навигационные приборы.

*H04W-4/00* — услуги или возможности, специально предназначенные для беспроводных сетей связи.

*H04W-4/02* — услуги, предоставляемые в месте нахождения пользователей или терминалов.

*H04W-24/00* — устройства контроля, мониторинга или тестирования.

*H04W-64/00* — определение местоположения пользователей или терминалов для управления сетью, например мобильное управление.

*G06F-15/00* — цифровые компьютеры вообще.

*G06F-15/16* — сочетание двух или более вычислительных машин, каждая из которых снабжена, по меньшей мере, арифметическим устройством, программным устройством и регистром, например для одновременной обработки нескольких программ.

*G06F-17/00* — устройства или методы цифровых вычислений или обработки данных, специально предназначенные для специфических функций.



*G06F-17/30* — информационный поиск; структуры баз данных для этой цели.  
*G06F-19/00* — устройства или способы цифровых вычислений или обработки данных для специальных применений.  
*G06Q-30/00* — торговля, например шоппинг или электронная торговля.

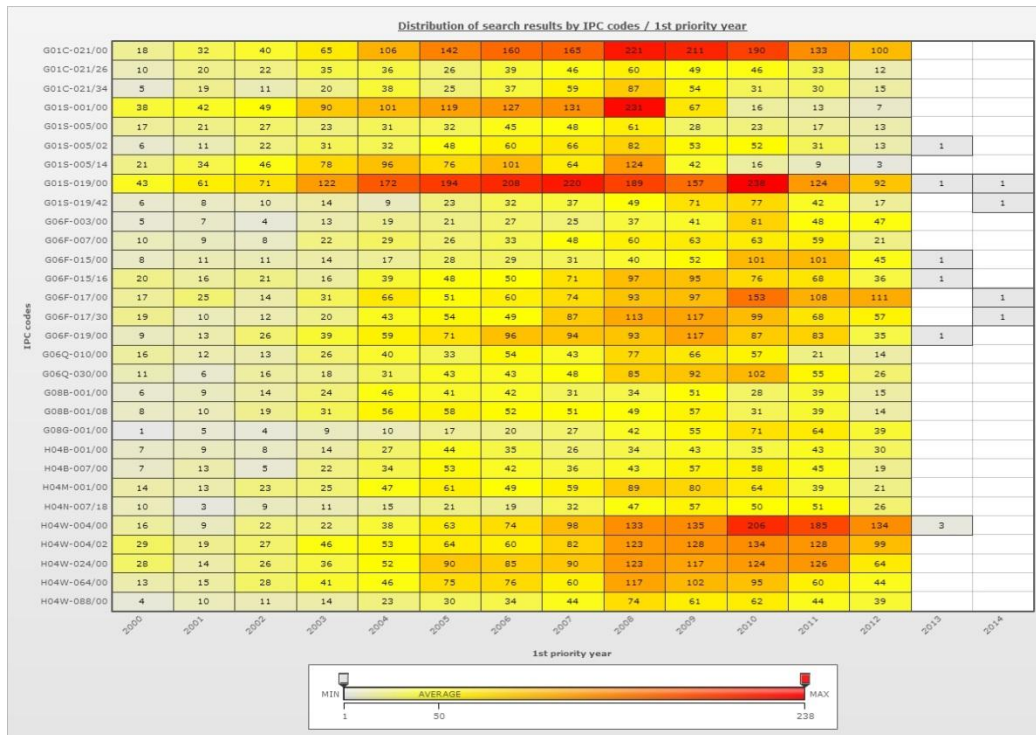


Рисунок 15. Ведущие подгруппы — год приоритета (США)

Анализ патентных групп выявил 68 ведущих групп в исследуемых выборках. Результаты представлены в табл. 2 и на рис. 16, где желтым цветом отмечены группы, отсутствующие на территории России, но представленные в патентных выборках других стран. Таких групп не так уж много, и большая их часть относится к электронике и информационным технологиям. Результаты этого анализа позволяют увидеть самые актуальные направления и конкурирующие страны. Кроме того, здесь можно увидеть направления, которые патентуются преимущественно в одной стране, например в группе G05B 19 (системы программного управления) из 999 патентов в мировой выборке 858 опубликованы в Китае и не попадают в TOP 50 патентных групп в выборках по России и США.

Таблица. 2. Ведущие группы в патентных выборках по странам

№	Код МПК группы	Наименование группы	Мир	США	Китай	Россия
1	A01B 69	Рулевое управление сельскохозяйственных машин или орудий; средства для направления сельскохозяйственных машин и орудий вдоль желаемой колеи				13
2	A61B 5	Измерение для диагностических целей; опознание личности		216		
3	B60Q 1	Размещение оптических сигнальных или осветительных устройств, их установка, крепление или схемы их размещения		215		
4	B60R 5	Оборудование транспортных средств для предотвращения или обнаружения неправомерного использования или кражи транспортных средств				22
5	B61L 25	Регистрация и определение местоположения или опознавания подвижного состава или поезда, или состояния путевых устройств				24
6	G01B 1	Измерительные устройства, отличающиеся используемым материалом				
7	G01C 21	Навигация; навигационные приборы, не отнесенные к группам G01C 1/00–19/00	4737	2016	1419	91
8	G01S 1	Маяки и системы маяков, излучающие сигналы с характеристиками, позволяющими обнаружить их с помощью приемников ненаправленного действия, и определяющие направления и положения, фиксированные относительно маяков; приемники для этих систем	1591	1101	706	68
9	G01S 3	Пеленгаторы для определения направления, с которого поступают инфразвуковые, звуковые, ультразвуковые колебания, электромагнитные волны или потоки элементарных частиц, не имеющие выраженной направленности		215		11
10	G01S 5	Определение местоположения путем сопоставления в одной системе координат двух и более найденных направлений; определение местоположения путем сопоставления в одной системе координат двух и более найденных расстояний	3216	1358	1171	106
11	G01S 7	Элементы конструкции систем, отнесенных к группам G01S 13/00, 15/00, 17/00				10
12	G01S 13	Системы, использующие отражение или вторичное излучение радиоволн, например радарные системы; аналогичные системы, использующие отражение или вторичное излучение волн, в которых длина волн или тип волн несущественны		253		253
13	G01S 19	Спутниковые радионавигационные системы позиционирования; определение местоположения, скорости или углового пространственного положения с использованием сигналов, переданных такими системами	5550	2419	2802	130
14	G05B 19	Системы программного управления	999		858	
15	G05D 1	Управление или регулирование величин, определяющих местоположение, курс, высоту или положение в пространстве наземных, водных, воздушных или космических транспортных средств, например с помощью автопилотов		343		24
16	G06F 1	Конструктивные элементы вычислительных машин и устройств для обработки данных, не отнесенные к группам G06F 3/00–13/00 и 21/00		283		
17	G06F 3	Вводные устройства для передачи данных, подлежащих преобразованию в форму, пригодную для обработки в вычислительной машине; выводные устройства для передачи данных из устройств обработки в устройства вывода, например интерфейсы	1095	706		19

Таблица 2. Продолжение

№	Код МПК группы	Наименование группы	Мир	США	Китай	Россия
18	G06F 7	Способы и устройства для обработки данных с воздействием на порядок их расположения или на содержание обрабатываемых данных (логические схемы Н 03К 19/00)		576		12
19	G06F	Устройства для программного управления, например блоки управления		259		
20	G06F 13	Соединение запоминающих устройств, устройств ввода-вывода или устройств центрального процессора или передача информации или других сигналов между этими устройствами		248		16
21	G06F 15	Цифровые компьютеры вообще; оборудование для обработки данных вообще	1094	934		15
22	G06F 17	Устройства или методы цифровых вычислений или обработки данных, специально предназначенные для специфических функций	2478	1511	749	46
23	G06F 19	Устройства или способы цифровых вычислений или обработки данных для специальных применений	1342	854		37
24	G06F 21	Устройства защиты компьютеров, их компонентов, программ или данных от несанкционированной деятельности		285		
25	G06K 9	Способы и устройства для считывания и распознавания напечатанных или написанных знаков или распознавания образов, например отпечатков пальцев		407		
26	G06Q 10	Администрирование; менеджмент	1495	593		11
27	G06Q 30	Торговля, например шопинг или электронная торговля	1396	807		15
28	G06Q 50	Системы или способы, специально предназначенные для особого раздела бизнеса, например коммунальных услуг или туризма	2221	459		15
29	G07C 5	Регистрация или индикация работы транспортных средств				20
30	G08B 1	Сигнальные устройства, отличающиеся только способом передачи сигналов		505		
31	G08B 13	Сигнализация о краже, взломе и т. п.		288		
32	G08B 21	Сигнализация, реагирующая на один определенный нежелательный или ненормальный режим работы, не отнесенная к другим группам	1115	356		
33	G08B 23	Сигнализация, реагирующая на незаданные заранее, нежелательные или ненормальные условия		210		
34	G08B 25	Системы подачи сигналов тревоги с передачей на центральную станцию сигналов, определяющих местоположение пункта, в котором возникли условия, вызвавшие появление сигнала тревоги, например пожарные или полицейские телеграфные системы	1040			32
35	G08G 1	Системы регулирования движения дорожного транспорта	4445	945	1634	55
36	G09B 29	Географические карты; планы; таблицы; диаграммы, например маршрутные графики				18
37	G09G 5	Схемы или устройства управления, общие для электронно-лучевых и других визуальных индикаторов		281		
38	H01Q 1	Элементы конструкции антенн и связанные с ними устройства	881	352		10
39	H04B 1	Элементы передающих систем, не предусмотренные только одной из групп H04B 3/00 - 13/00; элементы передающих систем, в которых используемая для передачи среда несущественна	2250	1070	638	57
40	H04B 7	Системы радиосвязи, т. е. системы с использованием излучения	2214	1120	608	92
41	H04J 3	Многоканальные системы с временным разделением каналов		211		
42	H04L 7	Устройства для синхронизации приемника с передатчиком				11
43	H04L 9	Устройство для секретной или скрытой связи		243		

Таблица. 2. Окончание

№	Код МПК группы	Наименование группы	Мир	США	Китай	Россия
44	H04L 12	Сети переключения сигналов (передачи данных)	1418	670		32
45	H04L 29	Устройства, установки, цепи или системы, не отнесенные ни к одной из групп H04L 1/00–27/00	1861	561	1377	20
46	H04M 1	Вспомогательное оконечное оборудование подстанций, например для использования абонентами	1958	871	818	37
47	H04M 3	Автоматические и полуавтоматические телефонные станции		528		
48	H04M 11	Системы телефонной связи, комбинированные с другими электрическими системами	1115	519		25
49	H04N 5	Элементы телевизионных систем	1373	492		
50	H04N 7	Телевизионные системы	1553	606	706	
51	H04Q 7	Избирательные устройства, к которым абонентские аппараты подключены через радиолнии или линии с индуктивной связью	1553	589		40
52	H04W 4	Услуги или возможности, специально предназначенные для беспроводных сетей связи	4210	1809	1707	68
53	H04W 8	Управление сетевыми данными		276		16
54	H04W 1	Устройства безопасности, например безопасности доступа или обнаружения мошеннического доступа; идентификация, например подтверждение личности пользователя или авторизация; защита конфиденциальности или анонимности		199		11
55	H04W 16	Планирование сетей, например зоны обслуживания или инструменты планирования трафика; развертывание сетей, например распределение ресурса или структуры сот				15
56	H04W 24	Устройства контроля, мониторинга или тестирования	1329	1009		29
57	H04W 36	Устройства передачи вызова от одной базовой станции другой или повторного выбора		211		13
58	H04W 48	Ограничение доступа; выбор сети; выбор точки доступа		232		27
59	H04W 52	Управление мощностью, например ТРС (Управление мощностью Передачи), сохранение мощности или классов мощности				12
60	H04W 56	Устройства синхронизации				17
61	H04W 64	Определение местоположения пользователей или терминалов для управления сетью, например, мобильное управление	1597	781		56
62	H04W 72	Управление местным ресурсом, например выбор или распределение беспроводных ресурсов или составление графика беспроводного трафика				
63	H04W 84	Топологии сети	900	313		28
64	H04W 88	Устройства, специально предназначенные для сетей беспроводной связи, например терминалы, базовые станции или устройства точек доступа	1589	540	750	32
65	H04W 92	Интерфейсы, специально предназначенные для сетей беспроводной связи				13
66	G01V 1	Сейсмология; сейсмическая или акустическая разведка				25
67	G01V 3	Разведка или обнаружение с помощью электрических или магнитных средств; измерение характеристик магнитного поля Земли, например магнитного склонения или девиации				15
68	G01W 1	Метеорология				13

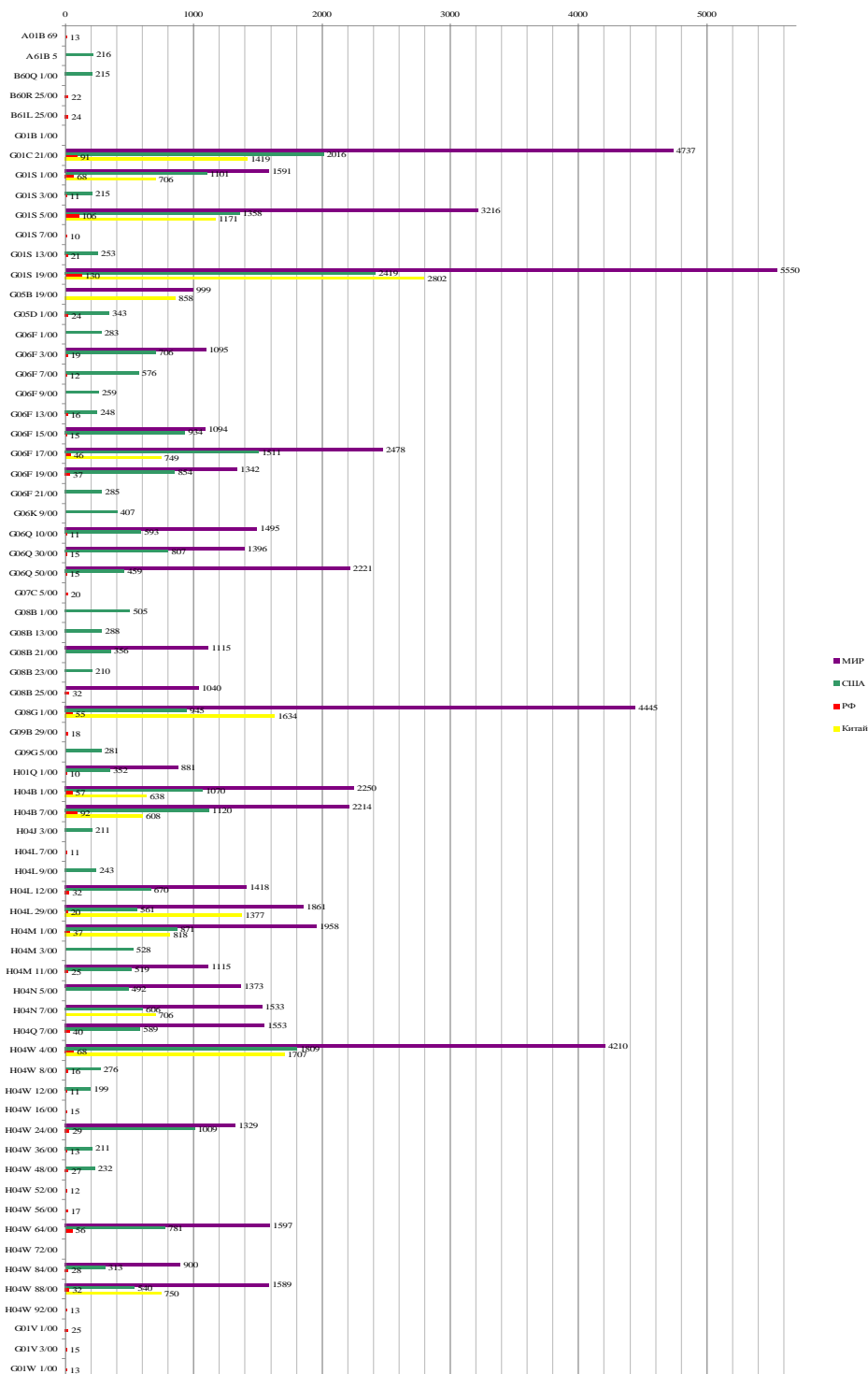


Рисунок 16. Количество патентов в ведущих группах, опубликованных на территории России, США, Китая и мира

Динамика патентования ведущих групп в США в период с 2000 по 2014 гг. показана на рис. 17, где легко увидеть рост числа патентов в следующих группах.

*G01S-19* — спутниковые радионавигационные системы позиционирования; определение местоположения, скорости или углового пространственного положения с использованием сигналов, переданных такими системами.

*G01C-21* — навигация; навигационные приборы.

*H04W-4* — услуги или возможности, специально предназначенные для беспроводных сетей связи.

*G06F-17* — устройства или методы цифровых вычислений или обработки данных, специально предназначенные для специфических функций.

*G06Q-30* — торговля, например шоппинг или электронная торговля.

*H04W-24* — устройства контроля, мониторинга или тестирования.

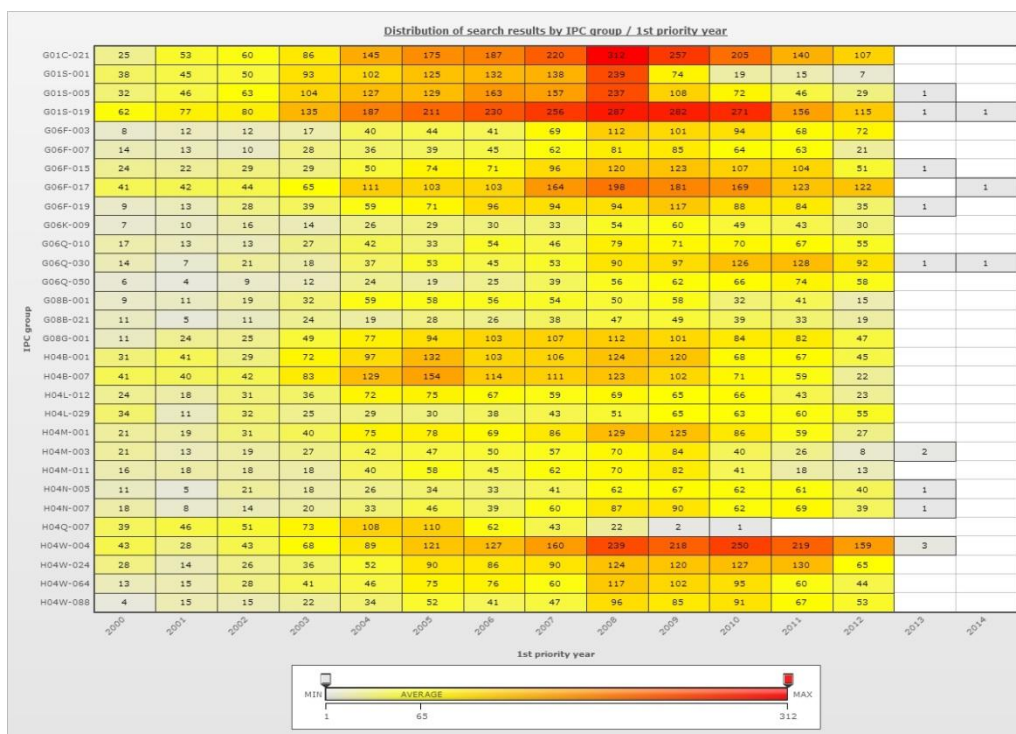


Рисунок 17. Группы — год приоритета (США)

Результаты анализа ведущих подклассов МПК в патентных выборках по территориям России и США приведены в табл. 3 (оранжевым цветом выделены подклассы, в которых отсутствуют патенты) и на рис. 18.

Таблица 3. Ведущие подклассы в выборках патентов по GNSS/GPS, опубликованных в России и США

Код класс/подкласс	Наименование класса и подкласса	США	РФ
A01	Сельское хозяйство; лесное хозяйство; животноводство; охота; отлов животных; рыболовство и рыбоводство		
A01B	Обработка почвы в сельском и лесном хозяйствах; узлы, детали и принадлежности сельскохозяйственных машин и орудий вообще	82	19
A01C	Посадка; посев; удобрение		9
A01D	Уборка урожая; жатва		13
A61	Медицина и ветеринария; гигиена		
A61B	Диагностика; хирургия; опознание личности	241	
A63	Спорт; игры; массовые развлечения		
A63B	Снаряды и устройства для физических упражнений, гимнастики, плавания, альпинизма, фехтования; игры с мячами; тренировочные устройства	170	11
A63F	Карточные игры, игры на досках, игры типа рулетки; комнатные игры с небольшими движущимися игральными предметами; видеоигры; игры, не отнесенные к другим рубрикам	170	
B60	Транспортные средства (общие вопросы)		
B60K	Расположение или монтаж силовых установок и трансмиссий транспортных средств; расположение или монтаж нескольких различных первичных двигателей; вспомогательные приводы; контрольно-измерительные приборы и панели управления; устройства и приспособления силовых установок, связанные с охлаждением, забором воздуха, выхлопом газов или подачей топлива в транспортных средствах	132	10
B60L	Электрооборудование транспортных средств с электротягой; подача электроэнергии к вспомогательному оборудованию транспортных средств с электротягой; электродинамические тормозные системы для транспортных средств вообще; магнитные подвески или левитационные устройства для транспортных средств; мониторинг рабочих параметров транспортных средств с электротягой; электрические предохранительные устройства для транспортных средств с электротягой	106	9
B60P	Транспортные средства, приспособленные для грузовых перевозок или транспортировки, перевозки и размещения обычных или специальных грузов или изделий		6
B60Q	Размещение сигнальных или осветительных устройств, их установка, крепление или схемы их размещения для транспортных средств вообще	239	
B60R	Транспортные средства, оборудование или конструктивные элементы транспортных средств, не отнесенные к другим подклассам	420	38
B60W	Комбинированное управление узлами транспортного средства разного типа или с разными функциями; системы управления, специально предназначенные для гибридных транспортных средств; системы управления дорожными транспортными средствами с иными целями, чем управление определенным узлом	203	9
B61	Рельсовые транспортные средства		
B61K	Вспомогательное железнодорожное оборудование		6
B61L	Управление движением на железных дорогах; средства техники безопасности на железнодорожном транспорте		34
B62	Безрельсовые наземные транспортные средства		
B62D	Самоходные транспортные средства; прицепы	116	
B63	Суда и прочие плавучие средства; оборудование для них		
B63B	Корабли или прочие плавучие суда; оборудование для судов		11
B63C	Оснащение стапелей и доков, постройка и вывод судов из доков и слипов; спасательные средства на воде; водолазное оборудование; устройства для спасения и обнаружения объектов, находящихся под водой		6
B63H	Судовые движители и управление судами		8
B64	Воздухоплавание; авиация; космонавтика		
B64C	Самолеты; вертолеты		7
B64D	Оборудование летательных аппаратов; летные костюмы; парашюты; монтаж и размещение силовых установок и систем передачи энергии от двигателя	90	6
B65	Транспортировка; упаковка; хранение; манипулирование тонким или нитевидным материалом		



Таблица 3. Продолжение

Код класс/ подкласс	Наименование класса и подкласса	США	РФ
B65G	Устройства для хранения или транспортировки, например конвейеры для загрузки или разгрузки опрокидыванием, конвейерные системы для магазинов или пневматические трубчатые конвейеры		7
B66	Подъем; перемещение; толкание или буксировка		
B66C	Подъемные краны; грузоподъемные элементы, используемые в кранах, кабестанах, лебедках и т. п.		8
E01	Дорожное строительство, строительство железных дорог и мостов		
E01B	Верхнее строение пути; инструменты для этого; устройства для укладки и ремонта рельсовых путей всех типов		6
E21	Бурение грунта или горных пород; горное дело		
E21B	Бурение грунта или горных пород; добыча нефти, газа, воды, растворимых или плавких веществ или полезных ископаемых в виде шлама из буровых скважин		7
G01	Измерение; испытание		
G01B	Измерение длины, толщины или подобных линейных размеров; измерение углов; измерение площадей; измерение неровностей поверхностей или контуров	117	
G01C	Измерение расстояний, горизонтов или азимутов; топография; навигация; гироскопические приборы; фотограмметрия или видеogramметрия	2283	114
G01M	Проверка статической и динамической балансировки машин или конструкций; испытания различных конструкций или устройств, не отнесенные к другим подклассам	135	9
G01N	Исследование или анализ материалов путем определения их химических или физических свойств	168	21
G01P	Измерение линейной или угловой скорости, ускорения, замедления или силы ударов (толчков); индикация наличия или отсутствия движения; индикация направления движения	122	
G01R	Измерение электрических и магнитных величин	173	13
G01S	Радиопеленгация; радионавигация; измерение расстояния или скорости с использованием радиоволн; определение местоположения или обнаружение объектов с использованием отражения или переизлучения радиоволн; аналогичные системы с использованием других видов волн	3379	194
G01V	Геофизика; гравитационные измерения; обнаружение скрытых масс или объектов; кабельные наконечники	206	49
G01W	Метеорология		13
G02	Оптика		
G02B	Оптические элементы, системы или приборы	127	
G03	Фотография; кинематография; аналогичное оборудование, использующее волны иные, чем оптические; электрография; голография		
G03B	Аппараты или устройства для получения фотоснимков или для их проецирования или просмотра; аппараты или устройства, в которых применяется аналогичная техника с использованием волн иных, чем оптические волны; принадлежности для них	118	
G05	Управление; регулирование		
G05B	Регулирующие и управляющие системы общего назначения; функциональные элементы таких систем; устройства для контроля или испытания таких систем или элементов	268	9
G05D	Системы управления или регулирования неэлектрических величин	430	31
G06	Обработка данных; вычисление; счет		
G06F	Обработка цифровых данных с помощью электрических устройств	4002	105
G06G	Аналоговые вычислительные машины	158	9
G06K	Распознавание данных; представление данных; воспроизведение данных; манипулирование носителями информации; носители информации	669	12
G06N	Компьютерные системы, основанные на специфических вычислительных моделях	84	
G06Q	Системы обработки данных или способы, специально предназначенные для административных, коммерческих, финансовых, управленческих, надзорных или прогностических целей; системы или способы, специально предназначенные для административных, коммерческих, финансовых, управленческих, надзорных или прогностических целей, не предусмотренные в других подклассах	1611	37



Таблица 3. Окончание

Код класс/ подкласс	Наименование класса и подкласса	США	РФ
G06T	Обработка или генерация данных изображения, вообще	284	11
G07	Контрольные устройства		
G07C	Устройства для регистрации времени прихода и ухода рабочих и служащих; регистрация или индикация работы машин; генерирование случайных чисел; устройства для голосования и лотерейные устройства; системы; устройства или аппарата-ра для контроля, не предусмотренные в других подклассах	206	23
G07F	Монетные или подобные им автоматы	91	
G08	Сигнализация		
G08B	Сигнальные устройства или устройства вызова; командные телеграфные аппараты; системы тревожной сигнализации	1202	49
G08C	Системы для передачи измеряемых переменных величин, управляющих или подобных сигналов	204	10
G08G	Системы регулирования движения транспортных средств	1027	59
G09	Средства обучения; тайнопись; дисплеи; рекламное и выставочное дело; печати и опечатывание		
G09B	Учебные и наглядные пособия; пособия для обучения или общения со слепыми, глухими или немыми; макеты; планетарии; глобусы; карты; диаграммы	242	28
G09F	Наглядное представление; реклама; вывески; ярлыки или пластинки с заводской маркой; печати		9
G09G	Схемы или устройства управления индикаторными приборами с использованием статических средств для представления переменной информации	310	11
G10	Музыкальные инструменты; акустика		
G10L	Анализирование или синтезирование речи; распознавание речи; обработка речи или голоса; кодирование или декодирование речи или звука	122	
H01	Основные элементы электрического оборудования		
H01L	Полупроводниковые приборы; электрические приборы на твердом теле, не отнесенные к другим классам или подклассам	122	
H01Q	Антенны	477	16
H02	Производство, преобразование и распределение электрической энергии		
H02J	Схемы или системы питания электросетей и распределения электрической энергии; системы накопления электрической энергии	149	
H04	Техника электрической связи		
H04B	Передача сигналов	2107	135
H04H	Широковещание	203	15
H04J	Многоканальные системы связи	302	22
H04K	Секретная связь; создание искусственных помех	103	
H04L	Передача цифровой информации, например телеграфная связь	1517	63
H04M	Телефонная связь	1545	62
H04N	Передача изображений, например телевидение	1025	15
H04Q	Избирательные устройства	785	49
H04W	Сети беспроводной связи	3282	130
H05	Специальные области электротехники, не отнесенные к другим классам		
H05K	Печатные схемы; корпуса или детали электрических приборов; изготовление блоков элементов электрической аппаратуры	120	6

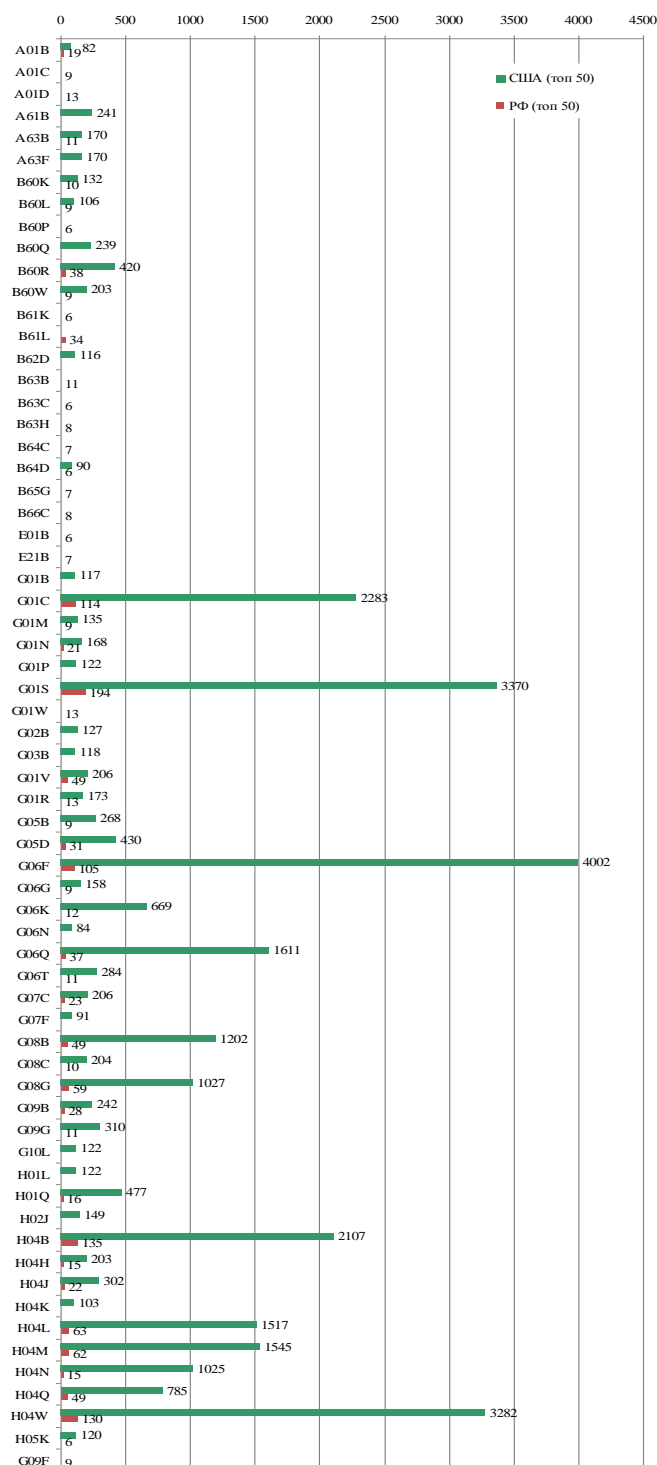


Рисунок 18. Число патентов в ведущих подклассах в выборках по России и США

Наиболее перспективные в США подклассы МПК (с наибольшим числом публикаций патентов за последние двадцать лет) приведены на рис. 19. К ним относятся следующие.

*G06F* — обработка цифровых данных с помощью электрических устройств.

*G01S* — радиопеленгация; радионавигация; измерение расстояния или скорости с использованием радиоволн; определение местоположения или обнаружение объектов с использованием отражения или переизлучения радиоволн; аналогичные системы с использованием других видов волн.

*H04W* — сети беспроводной связи.

*G01C* — измерение расстояний, горизонтов или азимутов; топография; навигация; гироскопические приборы; фотограмметрия или видеogramметрия.

*H04B* — передача сигналов.

*G06Q* — системы обработки данных или способы, специально предназначенные для административных, коммерческих, финансовых, управленческих, надзорных или прогностических целей; системы или способы, специально предназначенные для административных, коммерческих, финансовых, управленческих, надзорных или прогностических целей, не предусмотренные в других подклассах.

*H04M* — телефонная связь.

*H04L* — передача цифровой информации, например телеграфная связь.

*G08B* — сигнальные устройства или устройства вызова; командные телеграфные аппараты; системы тревожной сигнализации.

*G08G* — системы регулирования движения транспортных средств.

*H04N* — передача изображений, например телевидение.

*G06K* — распознавание данных; представление данных; воспроизведение данных; манипулирование носителями информации; носители информации.

## **6. Позиционирование патентообладателей по показателям сходства и количества изобретений**

Выявление и анализ областей патентования технологий GNSS/GPS отечественными и зарубежными организациями проводились по патентам, опубликованным на территории России в последние десять лет. Подборка патентов за указанный период была осуществлена с использованием патентного ресурса Questel-Orbit и системы Федерального института промышленной собственности (ФИПС). В результате было выявлено и проанализировано 236 патентов. В процессе анализа для каждого патента выявлялся год публикации, класс, подкласс, группа и подгруппа по МПК, патентообладатель, области применения и достигаемый технический результат — цель изобретения. Патентообладатели упорядочены по классам, подклассам, группам и подгруппам МПК.

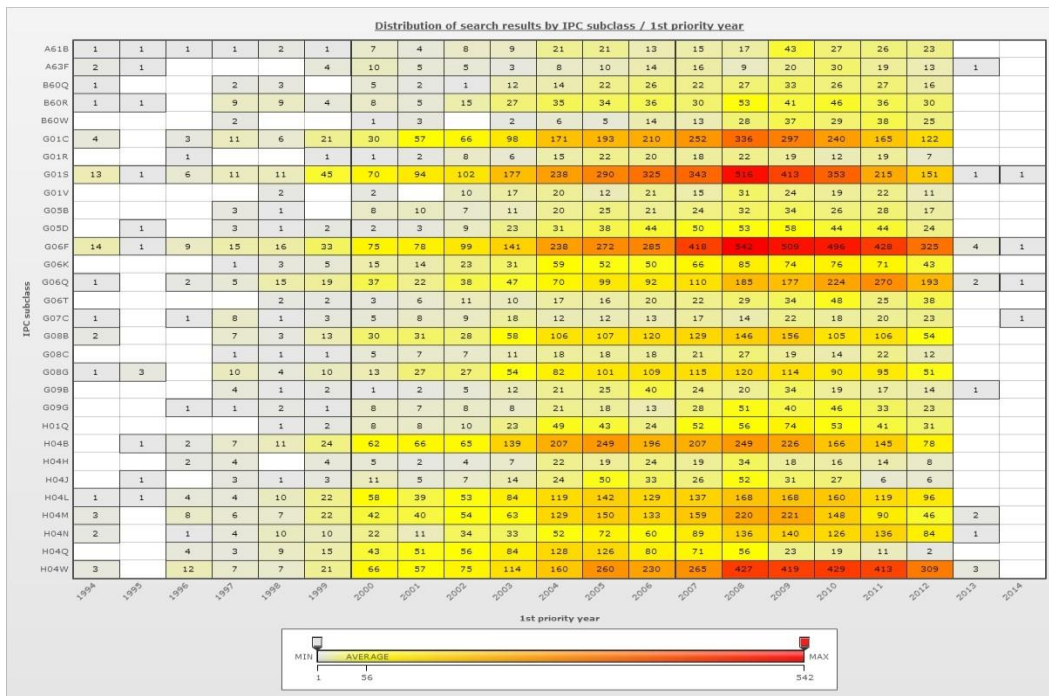


Рисунок 19. Подклассы — год приоритета (США)

Такой способ систематизации показывает потенциальных конкурентов, которые патентуют технологии GNSS/GPS в одинаковых патентных классах, подклассах, группах и подгруппах. Классы с наибольшим числом патентообладателей показаны на рис. 20.

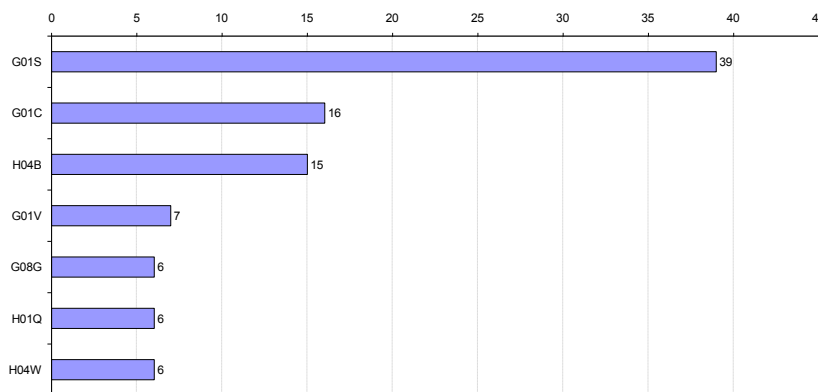


Рисунок 20. Число патентообладателей в классах

На основе систематизированной информации можно установить общее число классов МПК, патентуемых на территории РФ: классов — 29, подклассов — 63 (из них 50 подклассов охватывают организации, а 27 — физические лица), групп — 116, подгрупп — 194. Для каждого класса, подкласса, группы, подгруппы были построены матрицы соответствия патентообладателям. Анализ этих матриц показал, что диапазон охвата единичными организациями и физическими лицами составляет: для подклассов — от одного до восьми, для групп — от одной до двенадцати, для подгрупп — от одной до двадцати одной. Диапазон охвата характеризует уровень диверсификации организаций в различных технологических областях. Число патентообладателей в одном классе свидетельствует о важности и актуальности этого направления. Его можно также рассматривать как некий индикатор уровня конкуренции (научно-технологической и/или рыночной). Следует заметить, что актуальные для отрасли направления могут иметь низкий уровень конкуренции на стадии становления, как правило, в течение небольшого периода.

Представляет также интерес сопоставление категорий патентообладателей по общим для них патентным классам. Например, из 63 подклассов только 14 (22%) являются общими для патентообладателей-организаций и патентообладателей — физических лиц, из чего следует, что физические лица разрабатывают технологические решения, которые скорее будут не конкурировать, а дополнять технологические решения сильных рыночных игроков в лице организаций. Взаимно выгодное «дополнение» может быть реализовано через процедуру лицензирования патентов. Сопоставление российских организаций-патентообладателей с иностранными дает около 20% общих подклассов, что говорит о достаточно большом разнообразии отечественных приложений ГЛОНАСС, где пока нет иностранных патентов на нашей территории. Большие доли иностранных правообладателей имеют место в подклассах G01C, G01S, H04B, H01Q H04W, которые охватывают самые существенные черты спутниковой навигации — спутниковые системы позиционирования, навигационные приборы, технологии передачи сигналов, антенны, беспроводную связь.

Позиционирование патентообладателей проводилось по показателям относительного сходства наименований и количества областей, в которых патентообладатели-организации (физические лица не рассматривались) патентовали изобретения на территории России.

Область патентования определялась как подкласс МПК. Категория «подкласс» наиболее информативна для проведения подобного анализа. Анализируя подклассы можно, с одной стороны, достаточно полно отразить широту деятельности организации по уровню разнообразия прикладных областей, а с другой стороны — получить достаточно детальное представление о функционально-конструктивных осо-

бенностях патентуемых технических решений. Описания подклассов отражают принципиальные отличительные признаки, характеризующие области применения и функционально-конструктивные особенности патентуемых изобретений. В описаниях классов МПК дан недостаточный, а в описаниях групп и подгрупп используется избыточный уровень конкретизации изобретений для получения достаточно информативной карты позиционирования организаций-патентообладателей.

Характеристика организаций-патентообладателей по количеству областей (в частности, подклассов), в которых ими патентуются изобретения, дает возможность оценить уровень диверсификации их патентной деятельности. Уровень диверсификации характеризует в определенной степени уровень научно-технологического потенциала организации. Если организация патентует свои изобретения в большом количестве областей, то можно предположить, что она обладает достаточно широким спектром стратегических технологий и уровень ее конкурентоспособности на рынке будет в перспективе высоким.

Относительный уровень сходства показывает, насколько сходен (близок) некоторый объект из рассматриваемого множества со всеми другими объектами данного множества по определенному набору признаков. В данном случае относительное сходство организаций-патентообладателей определялось по множеству подклассов МПК. Организации с высоким уровнем относительного сходства имеют патенты в подклассах, которые присутствуют у значительного числа других организаций. Чем больше организаций патентуют изобретения в одном подклассе, тем выше уровень потенциальной конкуренции между ними. Следовательно, показатель относительного сходства организаций-патентообладателей по подклассам МПК позволяет судить об уровне существующей или грядущей конкуренции в рассматриваемом секторе. Организация с высоким показателем относительного сходства функционирует в среде с высоким уровнем конкуренции, и, наоборот, предприятие, обладающее уникальными технологиями, имеет низкое значение относительного сходства и функционирует в среде с невысоким уровнем конкуренции.

Карта позиционирования организаций-патентообладателей по показателям относительного сходства наименований и количества подклассов МПК приведена на рис. 21. По оси абсцисс отложены значения относительного сходства, а по оси ординат — число подклассов и уровни диверсификации. Все 98 организаций объединены в 35 групп и 15 кластеров по показателю относительного сходства.

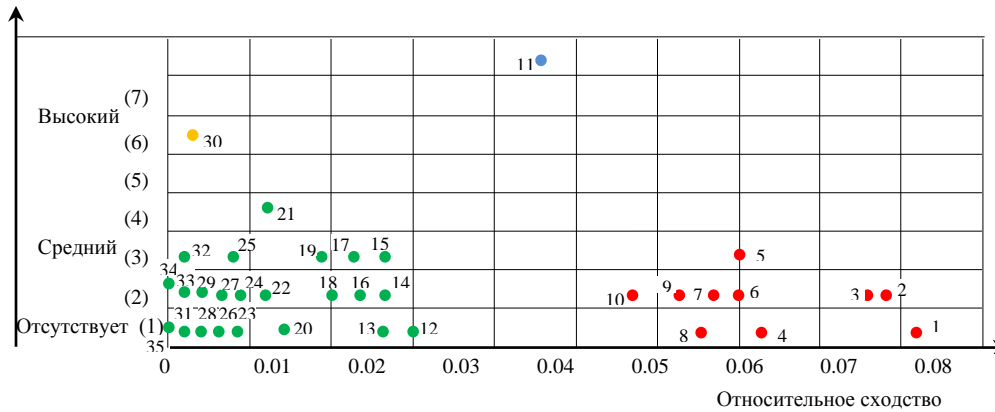


Рисунок 21. Карта позиционирования предприятий по уровню диверсификации и относительному сходству

Алгоритм построения карты позиционирования.

1. Для каждой организации определяются номенклатура и количество подклассов МПК, по которым она имеет патентные публикации на территории России. В данном случае общее число выявленных неповторяющихся подклассов составляет 63. Множество всех неповторяющихся подклассов образует множество признаков, которые используются для определения мер сходства между организациями. Количество подклассов МПК в патентах одной организации характеризует уровень диверсификации ее научно-технологической и патентной деятельности.

2. Выполняется попарное сравнение организаций и для каждой пары рассчитывается мера сходства, например, по формуле Чекановского-Серенсена

$$C(S_i, S_j) = \frac{2m(S_i \cap S_j)}{m(S_i) + m(S_j)},$$

где  $S_i$ ,  $S_j$  — множества подклассов МПК в патентах организаций  $i$  и  $j$  соответственно;  $m(S_i)$  — мощность множества  $S_i$  [3].

3. Полученные значения мер сходства заносятся в матрицу сходства организаций.

4. Вычисляется правый главный собственный вектор матрицы сходства, значения которого представляют уровни относительного сходства рассматриваемых организаций.

5. Отдельные организации объединяются в группы и кластеры, представленные в табл. 4, где выделено 35 групп. Организации, включенные в группу, имеют одинаковые или очень близкие значения показателя относительного сходства и одинаковое число признаков — подклассов МПК. Кластеры формируются из групп

предприятий, имеющих одинаковое число признаков — подклассов. В табл. 4 сформировано 15 таких кластеров.

6. Строится карта позиционирования, на которой обозначаются группы предприятий (см. рис. 21). Карта позиционирования наглядно показывает, в какой области по уровню диверсификации патентной деятельности и уровню конкуренции (определяется по относительному сходству) находятся группы и кластеры организаций.

7. Выполняется описание выделенных групп и кластеров организаций. Описания сформированных кластеров приведены в табл. 4; они характеризуют среду (патентную), в которой находится предприятие. В одном кластере могут присутствовать одна или более групп. Группы в табл. 4 и на рис. 21 обозначены арабскими цифрами, но могут быть описаны характеристиками кластера, к которому принадлежат с добавлением семантики включенных в группу подклассов МПК. Следует заметить, что каждый из подклассов МПК может входить более чем в одну группу.

Карта позиционирования организаций является хорошим инструментом для формирования стратегий деятельности организаций в патентной, технологической, научной и рыночной областях. Расшифровка подклассов приведена в [2].

На карте позиционирования (см. рис. 21) можно выделить четыре типа организаций-патентообладателей, отличающихся уровнем диверсификации технологий, использующих спутниковые системы навигации GPS — ГЛОНАСС, и уровнем конкуренции между ними.

1 — организации, владеющие большим количеством принципиально отличающихся технологий и имеющие небольшое число конкурирующих организаций — патентообладателей данного вида технологий (к этому типу можно отнести организации, входящие в группу 30 кластера О и группу 21 кластера N (см. табл. 3)). Эти организации работают в зоне малого риска с точки зрения вытеснения их с рынка или поглощения другими организациями, функционирующими в сфере спутниковой навигации GPS — ГЛОНАСС.

2 — организации, владеющие большим количеством принципиально отличающихся технологий, но имеющие большое число конкурирующих организаций-патентообладателей с аналогичными технологиями (к этому типу можно отнести организации, входящие в группу 11 кластера F). Эти организации работают в достаточно рискованном сегменте рынка.

3 — организации, владеющие небольшим ассортиментом принципиально отличающихся технологий и имеющие небольшое число конкурентов с аналогичными технологиями (к этому типу можно отнести организации, входящие в группы 25, 32 — кластер М; группы 15, 17, 19 — кластер I; группы 20, 24, 27, 29, 33 — кластер L; группы 14, 16, 18 — кластер H; группы 34, 35 — кластер P; группы 20, 23,



27, 29, 31 — кластер К; группы 12, 13 — кластер G). Эти организации также работают в достаточно рискованном сегменте (аналогично организациям, относящимся ко второму типу), поскольку в перспективе могут проиграть в технологическом развитии более наукоемким и инновационно - диверсифицированным организациям первого и второго типа.

4 — организации, находящиеся в чрезвычайно рискованном сегменте рыночной и инновационной деятельности, обладающие малой диверсификацией технологической деятельности и имеющие большое число организаций-конкурентов с аналогичными технологиями (к этому типу можно отнести организации, входящие в группу 5 — кластер E; группы 6, 7, 9, 10 — кластер D; группы 8, 9 — кластер C; группы 2, 3 — кластер B, группу 1 — кластер A).

Таблица 4. Позиционирование кластеров предприятий по относительному уровню их сходства и уровню диверсификации охватываемых подклассов

Кластеры и группы предприятий	№ группы (относительный уровень сходства)	Подклассы, в которых работают предприятия
<b>Кластер А. Относительный уровень сходства — очень высокий; уровень диверсификации — отсутствует</b>		
1. Открытое акционерное общество «корпорация космических систем специального назначения «комета» (RU) 6. Общество с ограниченной ответственностью «Спирит-Телеком» (RU) 16. Федеральное государственное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого МО РФ (RU) 32. Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (RU) 39. Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт космического приборостроения» (ОАО «НИИ КП») (RU) 42. Учреждение Российской академии наук «Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук» (RU) 44. Общество с ограниченной ответственностью «ИТ и Н» (RU), Закрытое акционерное общество «Конверсионное производство «Альтаир-1» (RU) 47. Открытое акционерное общество «Навигационно-информационные системы» (RU) 53. Закрытое акционерное общество «БИНКОС» (RU) 67. Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий — Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ») (RU) 68. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет» (RU) 75. Открытое акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» (RU) 78. ТАЛЬ (FR) 81. АСТРИУМ ГМБХ (DE) 84. ТЕЛЕСПАЦИО С.п.А. (IT) 85. СЕЛЕКС 86. КОММЬЮНИКЕЙШНЗ С.П.А. (IT) 87. ДЕНСО КОРПОРЕЙШН (JP)	<b>1 (0.091)</b>	<b>38. G01S</b>

Таблица 4. Продолжение

Кластеры и группы предприятий	№ группы (относительный уровень сходства)	Подклассы, в которых работают предприятия
91. ДАТАГРИД, ИНК. (US) 92. НАВКОМ ТЕКНОЛОДЖИ, ИНК. (US) 93. ТРИМБЛ НЭВИГЕЙШН ЛИМИТЕД (US) 95. КОНКРЭЙНС ФИНЛЭНД ОИ (FI) 97, 98. Патентообладатель(и): МСтар Семикондактор, Инк. (KY), МСтар Софтвез Ар энд Ди (Шэньчжень) Лтд. (CN), МСтар Франс САС (FR), МСтар Семикондактор, Инк. (TW)		
<b>Кластер В. Относительный уровень сходства — очень высокий; уровень диверсификации — низкий</b>		
2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной астрономии Российской академии наук (RU) 5. Общество с ограниченной ответственностью «Спирит Корп» (RU) 38. Закрытое акционерное общество «ВНИИРА-Навигатор» (RU) 46. Закрытое акционерное общество «Конструкторское бюро навигационных систем» (ЗАО «КБ НАВИС») (RU)	2 (0.087)	38. G01S 56. H04B
51. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутское высшее военное авиационное инженерное училище (военный институт)» Министерства обороны Российской Федерации (RU) 99. Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (RU)	3 (0.087)	34. G01C 38. G01S
<b>Кластер С. Относительный уровень сходства — высокий; уровень диверсификации — низкий</b>		
41. Закрытое акционерное общество «Научно-производственная фирма Микран» (RU)	4 (0.072)	38. G01S 52. H01Q
27. Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное предприятие «ОПТИКС» (RU) . Иванов Вячеслав Элизбарович (RU)	8 (0.066)	38. G01S 41. G01W
<b>Кластер D. Относительный уровень сходства — высокий; уровень диверсификации — низкий</b>		
94. Нокia Корпорейшн (FI)	6 (0.068)	38. G01S 56. H04B 62. H04W
3 Российская Федерация от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (RU)	7 (0.068)	33. G01B 38. G01S 56. H04B
86. САГЕМ ДЕФЕНС СЕКЬЮРИТЕ (FR)	9 (0.063)	34. G01C 38. G01S 45. G06F
17. Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова» (ФГУП «ВНИИА») (RU)	10 (0.057)	38. G01S 40. G01V 55. H03F
<b>Кластер Е. Относительный уровень сходства — высокий; уровень диверсификации — средний</b>		
56. Открытое акционерное общество «Российский институт радионавигации и времени» (RU)	5 (0.070)	34. G01C 38. G01S 56. H04B 63. H05K

Таблица 4. Продолжение

Кластеры и группы предприятий	№ группы (относительный уровень сходства)	Подклассы, в которых работают предприятия
<b>Кластер F. Относительный уровень сходства — средний; уровень диверсификации — очень высокий</b>		
11. Открытое акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (ОАО «Российские космические системы») (RU)	<b>11 (0.048)</b>	<b>17. B61L 34. G01C 36. G01M 38. G01S 45. G06F 46. G06G 50. G08G 56. H04B</b>
33. Открытое акционерное общество «Авангард» (RU)		<b>14. B60R 34. G01C 38. G01S 40. G01V 48. G07C 49. G08B 50. G08G</b>
89. КВЭЛКОММ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)		<b>34. G01C 38. G01S 50. G08G 56. H04B 58. H04J 59. H04L 61. H04Q 62. H04W</b>
<b>Кластер G. Относительный уровень сходства — низкий; уровень диверсификации — отсутствует</b>		
10. Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственный центр автоматизации и приборостроения имени академика Н. А. Пилюгина» (ФГУП «НПЦАП») (RU) 22. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (RU) 23. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет (ТГУ) (RU) 35. Открытое акционерное общество «СУПЕРТЕЛ» (RU) 36. Учреждение Российской академии наук Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (RU) 48. Открытое акционерное общество «Концерн «Созвездие» (RU) 58. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (МИИГАиК) (RU)	<b>12 (0.030)</b>	<b>34. G01C</b>
40. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский авиационный институт (государственный технический университет) (МАИ) (RU) 45. Открытое акционерное общество «Ижевский радиозавод» (RU)	<b>13 (0.026)</b>	<b>56. H04B</b>
<b>Кластер H. Относительный уровень сходства — низкий; уровень диверсификации — низкий</b>		
76. ЮОПИАН СПЕЙС ЭЙДЖЕНСИ (FR)	<b>14 (0.026)</b>	<b>56. H04B 59. H04L</b>
54. Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное предприятие «Полет» (RU) 55. Закрытое акционерное общество «НПО Космического Приборостроения» (RU)	<b>16 (0.022)</b>	<b>49. G08B 56. H04B 23. B64G 56. H04B</b>
64. Общество с ограниченной ответственностью «Технологическая лаборатория» (RU)	<b>18 (0.022)</b>	<b>56. H04B 57. H04H</b>

Таблица 4. Продолжение

Кластеры и группы предприятий	№ группы (относительный уровень сходства)	Подклассы, в которых работают предприятия
<b>Кластер I. Относительный уровень сходства — низкий; уровень диверсификации — низкий</b>		
70. Общество с ограниченной ответственностью «ТОЧНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА» (RU)	<b>15</b> <b>(0.024)</b>	<b>29. E21B</b> <b>34. G01C</b> <b>40. G01V</b>
8. Закрытое акционерное общество «АЭРО-КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ» (RU)	<b>17</b> <b>(0.022)</b>	<b>17. B61L</b> <b>50. G08G</b> <b>56. H04B</b>
59. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева (национальный исследовательский университет)» (СГАУ) (RU)	<b>19</b> <b>(0.019)</b>	<b>23. B64G</b> <b>34. G01C</b> <b>39. G01T</b>
<b>Кластер K. Относительный уровень сходства — очень низкий; уровень диверсификации — отсутствует</b>		
4. Открытое акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Салют» (RU) 12. Общество с ограниченной ответственностью научно-производственная фирма «Электрон» (RU) 28. Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт космического приборостроения» (ОАО "НИИ КП") (RU) 66. Общество с ограниченной ответственностью «Топкон Позиционинг Системс» (RU) 96. ООО «ТОПКОН ПОЗИЦИОНИНГ СИСТЕМС СНГ» (RU)	<b>20</b> <b>(0.014)</b>	<b>52. H01Q</b>
13. Закрытое акционерное общество «Комплексный технический сервис» (RU) 31. Учреждение Российской академии наук Институт автоматизации и электротехники Сибирского отделения РАН (RU), Закрытое акционерное общество «СОФТЛАБ-НСК» (RU) 49. Учреждение Российской академии наук Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН (RU) 52. Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Сибирский федеральный университет (СФУ) (RU)		<b>40. G01V</b>
19. ООО Научно-производственное предприятие «Энергоконсалт» (RU) 43. ООО Научно-производственное предприятие «Энергоконсалт» (RU) 57. Институт солнечно-земной физики СО РАН (RU) 71. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Иркутский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ИрГТУ») (RU)	<b>23</b> <b>(0.009)</b>	<b>37. G01R</b>
65. Российская Федерация в лице Министерства сельского хозяйства РФ (RU), Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства (ГНУ ВИМ Россельхозакадемии) 88. УАН ПАСС ИМПЛЕМЕНТС ИНК. (CA) 90. ДИР ЭНД КОМПАНИ (US)	<b>26</b> <b>(0.007)</b>	<b>1. A01C</b>
24. Открытое акционерное общество Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (ОАО «ВНИКТИ») (RU) 34. Федеральное государственное унитарное предприятие «Таганрогский научно-исследовательский институт связи» (ФГУП «ТНИИС») (RU) 61. ОО Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы (RU)		<b>48. G07C</b>
37. ФГУ 16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт Министерства обороны Российской Федерации имени маршала войск связи А. И. Белова (RU)		<b>59. H04L</b>
14. Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный космический научно-производственный центр имени М. В. Хруничева» (ФГУП «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева») (RU)	<b>28</b> <b>(0.005)</b>	<b>50. G08G</b>

Таблица 4. Продолжение

Кластеры и группы предприятий	№ группы (относительный уровень сходства)	Подклассы, в которых работают предприятия
18. Общество с ограниченной ответственностью «БГТ-Про» (RU)	31 (0.002)	14. B60R
20. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ДВГУПС) (RU)		11. B60M
50. Государственное учреждение «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ГУ «ААНИИ») (RU)		33. G01B
82. НОКИА СИМЕНС НЕТВОРКС ГМБХ УНД КО. КГ (DE)		58. H04J
83. ТОМТОМ ИНТЕРНЭШНЛ Б. В. (NL)		47. G06Q
<b>Кластер L. Относительный уровень сходства — очень низкий; уровень диверсификации — низкий</b>		
63. Общество с ограниченной ответственностью «АиЛайн Кэмпьюникейшнс СНГ» (RU)	22 (0.011)	59. H04L 62. H04W
62. Закрытое акционерное общество «ГОЛЛАРД» (RU)	24 (0.009)	45. G06F 59. H04L
9. Федеральное государственное казенное учреждение «27 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации (RU)	27 (0.005)	60. H04M 62. H04W
79. АГРОКОМ ГмбХ & Ко. Аграрсистем КГ (DE)		2. A01F 50. G08G
80. СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)	29 (0.005)	45. G06F 47. G06Q
21. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Омский государственный университет путей сообщения (RU)	33 (0.002)	11. B60M 19. B63C
60. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тульский государственный университет» (ТулГУ) (RU)		25. C08C 41. G01W
<b>Кластер M. Относительный уровень сходства — очень низкий; уровень диверсификации — низкий</b>		
29. Общество с ограниченной ответственностью «Кодос-Б» (RU)	25 (0.008)	14. B60R 49. G08B 62. H04W
15. Акционерное общество «Национальная компания «Казакстан арыш Сапары» (KZ)	32 (0.002)	23. B64G 42. G04B 43. G04R
<b>Кластер N. Относительный уровень сходства — очень низкий; уровень диверсификации — низкий</b>		
7. Открытое акционерное общество «Завод им. В.А. Дегтярева» (RU)	21 (0.012)	12. B60N 13. B60P 32. F41H 34. G01C
<b>Кластер O. Относительный уровень сходства — очень низкий; уровень диверсификации — высокий</b>		
26. Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (RU)	30 (0.004)	16. B61K 17. B61L 26. E01B 28. E04G 36. G01M 62. H04W

Таблица 4. Окончание

Кластеры и группы предприятий	№ группы (относительный уровень сходства)	Подклассы, в которых работают предприятия
<b>Кластер Р. Относительный уровень сходства — отсутствует; уровень диверсификации — отсутствует (для 35) и низкий (для 34)</b>		
30. Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственное предприятие «Исток» (ФГУП «НПП «Исток») (RU)	<b>35 (0)</b>	<b>53. H01S</b>
72. Открытое акционерное общество «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ») (RU)		<b>15. B61D</b>
73. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН) (RU)		<b>51. G09B</b>
74. Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский электротехнический институт имени В. И. Ленина» (RU)		<b>54. H02H</b>
<b>77. ФМС ТЕКНОЛОЖИ СА (FR)</b>		<b>24. B67D</b>
25. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)» (RU)	<b>34 (0)</b>	<b>27. E02F</b> <b>44. G05D</b>
69. Общество с ограниченной ответственностью «ТОЧНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА» (RU)		<b>5. A61B</b> <b>10. B60K</b>

## 7. Выводы

1. Международный патентный ресурс Qustel-Orbit позволил выявить состояние инновационной активности и патентования в сфере спутниковой навигации GPS — ГЛОНАСС за весь период патентования изобретений в мире до 2014 г. Установлено, что в мире за указанный период было выдано 74 439 патентных документов, из которых на сегодняшний день действует (т. е. имеют юридическую силу) 53 817 документов (72% от общего числа выданных за весь период патентов).

2. Динамика публикаций патентов в области GPS — ГЛОНАСС имеет возрастающий тренд. Изобретения, основанные на использовании систем GPS — ГЛОНАСС имеют широкий спектр областей практического применения. На территории РФ такие системы используются в 63 принципиально отличающихся областях.

3. В рассматриваемой области наибольшее число патентов опубликовано в Китае, США, Корее. Россия занимает одиннадцатую позицию в данном рейтинге.

4. Ведущими правообладателями являются производители электроники и телекоммуникационного оборудования из Кореи, Японии, США. Это такие компании, как Samsung Electronics, LG Electronics, QUALCOMM.

5. С использованием патентного ресурса Qustel-Orbit и системы Федерального института промышленной собственности (ФИПС) выявлено 236 патента в области GPS — ГЛОНАСС, действующих на территории РФ. На основе этой информации разработана систематика патентообладателей по классам, подклассам, группам и

подгруппам МПК, позволяющая устанавливать потенциальных конкурентов, которые патентуют технологии GNSS/GPS — ГЛОНАСС в одинаковых классах.

Выявлены подклассы с наибольшим числом патентообладателей. К таким подклассам относятся G01S, G01C, H04B, G01V, G08G, H01Q, H04W.

6. Разработана методика позиционирования патентообладателей по показателям сходства и числа принципиально отличающихся изобретений, относящихся к различным подклассам МПК.

В соответствии с разработанной методикой проведено позиционирование патентообладателей в области GPS — ГЛОНАСС на территории РФ.

7. Выявлены организации-патентообладатели, непосредственно связанные с железнодорожным транспортом. Установлено, что эти организации владеют небольшим ассортиментом принципиально отличающихся технологий GPS — ГЛОНАСС и имеют небольшое число конкурентов на территории РФ. Основными технологическими конкурентами для последних являются российские организации, которые скорее нужно рассматривать как потенциальных стратегических партнеров при создании в будущем инновационных технологий на основе GPS — ГЛОНАСС для железнодорожного транспорта.

## Литература

[12] <http://www.orbit.com>

[13] <http://www.fips.ru>

[14] Андрейчиков А. В. Андрейчикова О. Н. Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике: Модели многокритериального анализа деятельности инновационных организаций. — М. : Книжный дом «Либроком», 2013. 360 с.

### **Авторы:**

*Александр Валентинович Андрейчиков* — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Менеджмент качества» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ)

*Ольга Николаевна Андрейчикова* — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Центральный экономико-математический институт РАН; профессор кафедры экономики интеллектуальной собственности, Московский физико-технический институт (государственный университет)



## Patent landscape of satellite navigation

*A. V. Andreichikov\*, O. N. Andreichikova\*\**

*\*Moscow State University of Railway Engineering  
Obraztsova Str., 15, Moscow, Russia 127994*

*\*\*Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences  
Nakhimovsky prospekt, 47, Moscow, Russia 117418*

*e-mail: alexandrol@mail.ru*

*Abstract.* The paper describes patent landscape of the GPS-GLONASS satellite navigation created with use the international patent resource Qustel-Orbit. The inventions based on the use of GPS-GLONASS, have a wide range of applications. The greatest number of patents in this field was published in China, United States and Korea. Russia occupies the eleventh position in this ranking. A new approach to positioning the patent holders is proposed on the base of the following indicators: the number of patent families and the similarity of patent portfolio of patenters. The example of the positioning patent holders in the field of GPS-GLONASS on the territory of the Russian Federation is brought.

*Key words:* satellite navigation; GPS; GLONASS; patent landscape; patent; patent holder; patent holders positioning.

## References

- [1] <http://www.orbit.com>
- [2] <http://www.fips.ru>
- [3] *Andreychikov A. V. Andrejchikova O. N. (2013) Sistemnyj analiz i sintez strategicheskikh reshenij v innovatike: Modeli mnogokriterial'nogo analiza dejatel'nosti innovacion-nyh organizacij. Moscow, Librokom. [In Rus]*

## Дифференциальные метрики оценки библиометрических показателей доменов ИКТ

А. Абдильманова\*, Р. Алыгулиев\*\*, Р. Мухамедиев\*,\*\*\*

\*Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК  
050010 Казахстан, Алматы, ул. Пушкина 125

\*\*Институт информационных технологий  
НАН Азербайджана  
AZ1141 Азербайджан, Баку, ул. Б. Вагабзаде, 9А

\*\*\*Казахстанско-британский технический университет  
050000 Казахстан, Алматы, ул. Толе-би, 59

e-mail: r.aliguliyev@gmail.com, abdilmановаa@gmail.com, ravil.muhamedyev@gmail.com

*Аннотация.* В работе предлагаются дифференциальные метрики оценки динамики изменения основных библиометрических показателей (количества статей и цитат) доменов информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Рассматриваются такие области исследований как Big Data, Computational Biology, Cloud Computing, Cyber-Physical Systems, Embedded Systems, Information Security, Internet of Things, Human-Machine Systems, Mobile Computing, Machine Learning, Machine-to-Machine, Multi-Agent Systems, Neural Networks, Robotics, Visualization, Augmented Reality, SDN, 5G, e-Governance, Smart City, Smart Grid. В дополнение к известным показателям предлагаются два вида интегрированных показателей, основанных на использовании производных. Выполнен расчет показателей и приведены графики их изменения во времени. Предложенные индикаторы позволяют более явно выразить изменения в динамике библиометрических показателей, что может быть важно для оценки перспективности направлений исследований.

*Ключевые слова:* ИКТ, библиометрический анализ, наукометрия.

### 1. Введение

Современные информационные системы высокого уровня строятся с использованием множества взаимосвязанных технологий: машинное обучение, мультиагентные системы, системы сбора и обработки данных, включая большие данные, облачные и кластерные системы, геоинформационные системы и т. д. Область исследований, описываемая общим термином информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) характеризуется исключительным динамизмом, быстрым появлением новых понятий и изменением устоявшихся направлений исследований. В последние годы домен ИКТ пополнился новыми направлениями исследований, к

числу которых относятся *Big Data, Bioinformatics (Computational Biology), Cloud Computing, Cyber-Physical Systems, Embedded Systems, Information Security, Internet of Things, Human-Machine Systems, Mobile Computing, Machine Learning, Machine-to-Machine, Multi-Agent Systems, Neural Networks, Robotics, Visualization, Augmented Reality, SDN, 5G, e-Governance, Smart City, Smart Grid* и др.

Выбор указанных доменов в вышеприведенном перечне относительно субъективен. Часть этих концепций относится к научным исследованиям, другие, по существу, являются технологиями. В табл. 1 показано ежегодное число публикаций в каждой из упомянутых областей. Таблица построена по данным базы научных публикаций *EBSCO (Library, Information Science & Technology Abstracts, Academic Search Complete)*. Колонка 1 таблицы содержит ключевые слова, использованные в процессе поиска.

Таблица 1. Ежегодное число публикаций в новых доменах ИКТ по данным EBSCO

Область исследований (Ключевые слова)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Augmented Reality	4010	4490	4760	5230	6050	8320	10 900	12 900	13 200	21 400
AR	1320	1530	1710	1820	2240	3260	3870	4430	4870	3200
Big Data	408	428	486	727	1060	1320	2330	7870	21 200	35 600
Bioinformatics	180 000	190 000	214 000	239 000	248 000	233 000	185 000	129 000	78 600	73 000
Computational Biology	14 000	16 500	18 700	21 800	26 600	30 500	37 400	41 500	35 800	33 100
Cloud Computing	1220	963	1330	3990	11 600	21 500	32 000	42 900	43 200	41 100
Cyber-Physical Systems	7	51	65	257	421	833	1510	2370	3390	2670
CPS		8	12	36	60	131	289	427	646	414
Embedded Systems	12 900	14 900	17 400	17 800	19 600	21 600	21 700	<b>22 300</b>	22 100	16 000
Information Security	15 600	20 200	23 700	28 700	35 100	<b>36 600</b>	37 800	35 900	<b>33 100</b>	23 000
InfoSec	295	335	319	335	334	392	462	453	<b>474</b>	323
Internet of Things	168	339	393	797	1140	3010	6300	10 100	<b>12 600</b>	8820
IoT			9	99	142	667	1780	3050	<b>3920</b>	3200
Human-Machine Systems	488	458	594	590	864	878	811	1080	<b>1420</b>	828
Mobile Computing	14 600	16 300	20 700	28 300	32 200	35 000	34 400	<b>37 700</b>	30 000	28 000
Machine Learning	47 000	58 300	64 600	70 900	79 600	83 700	83 000	69 500	55 400	<b>96 500</b>
Machine-to-Machine	1500	1330	1420	1480	1880	2100	2820	4050	<b>4470</b>	2710
Multi-Agent Systems	7670	8440	8940	9410	11 000	10 400	10 900	11 300	<b>11 700</b>	8000
Neural Networks	78 700	91 000	86 000	104 000	96 400	<b>105 000</b>	82 700	85 400	62 500	93 300
Robotics	52 500	63 000	62 900	66 700	70 400	<b>70 300</b>	61 300	54 600	42 600	43 600
Visualization	77 700	83 500	87 700	91 400	90 800	88 400	76 900	76 200	78 600	<b>95 300</b>
Intelligent Transport System	610	937	801	670	753	869	878	942	<b>974</b>	532
Self-Organized Network	198	272	274	312	367	359	394	<b>409</b>	399	259
E-Government	1790	1670	2000	2110	2320	2670	2960	<b>3320</b>	3290	1920
Software Define Networks	3	4	1	6	4	24	52	288	<b>836</b>	810
5G, IMT-Advanced			46	48	59	66	83	110	169	<b>206</b>

Анализ понятий области исследований ИКТ путем определения количества публикаций в упомянутых субдоменах позволяет выявить наиболее крупные с точки зрения количества публикаций области исследований и оценить динамику их

роста. Оценивая приведенные данные можно отметить существенный рост числа публикаций в доменах *Big Data*, *Augmented Reality*. Наблюдается «второе рождение» машинного обучения и визуализации, рост *5G (IMT-Advanced)*, *Internet of Things* и некоторое снижение интереса в областях *Cloud Computing* и «классическая» робототехника.

Однако выявление закономерностей по количеству публикаций дает только самую общую оценку перспективности того или иного направления исследований. Кроме того, значительное число новых результатов получают на стыке доменов. С этой целью представляется важным оценить относительный объем оцениваемых доменов исследований и динамику изменения их наукометрических показателей.

Данные, показанные в табл. 1, получены в ноябре 2014 года [1]. В работах [2, 3] показаны более поздние данные и проведена определенная формализация для построения семантической сети понятий ИКТ. Работы [4, 5, 6] вводят понятия меры сходства и силы связей между понятиями, которые можно использовать для дальнейшей формализации.

В настоящей работе проводится формализация оценок динамики изменения их наукометрических показателей, позволяющие дать более точную интегрированную оценку того или иного направления исследований.

Работа состоит из трех основных разделов. Во втором разделе вводятся метрики «перспективности» областей исследований ИКТ. В третьем разделе, приводятся результаты применения предложенных метрик, полученные по данным библиометрических баз EBSCO и ScienceDirect. В заключении обсуждаются полученные результаты.

## 2. Метрики перспективности направлений исследований

Оценка динамики изменения публикационной активности, а вместе с ней и «перспективности» отдельных доменов исследований требует определенной формализации.

Не формально, перспективность того или иного научного направления является отражением его востребованности сейчас или в будущем. Перспективность – мера получения значимых научных результатов. Можно сказать, что перспективность является некоторой функцией востребованности:

$$\text{Перспективность} = f(\text{Востребованность}).$$

Востребованность, как и перспективность, понятие, которое сложно определить точно. Востребованность зависит от экономических, социальных, психологических и т. п. факторов. Оценка востребованности осуществляется авторами публикаций, которые выполняют научные исследования в той или иной области. Иными словами, востребованность, некоторая функция интереса авторов, который с точки

зрения наукометрии проявляется в количестве публикаций по данному направлению и в количестве цитирований статей из этой области. Это достаточно очевидно и означает, что чем больше публикаций и цитат, тем более востребовано данное направление исследований. С другой стороны, перспективность научного направления отражается также динамикой изменения количества научных публикаций и динамикой изменения числа цитирований. Поскольку, если не учитывать динамику изменений, то можно принять за перспективные и те направления, которые уже исчерпали себя с точки зрения получения новых научных результатов. Для оценки этой динамики можно воспользоваться показателем совокупного среднегодового темпа роста (Compound Annual Growth Rate — CAGR), который вычисляется в соответствии со следующим выражением:

$$\text{CAGR} = \left( \frac{\text{Ending Value}}{\text{Beginning Value}} \right)^{\frac{1}{T-1}} - 1, \quad (1)$$

где  $T$  — количество периодов. Очевидно, что те научные области, которые демонстрируют рост данного показателя по числу публикаций и по числу цитирований могут быть отнесены к перспективным.

Однако данный показатель демонстрирует, как будет показано ниже, довольно плавное изменение, затрудняющее выявление закономерностей изменения динамики и, кроме этого, вычисляется отдельно для публикаций и цитирований. Поэтому представляется полезным ввести некоторый интегрированный показатель для более выраженной оценки динамики изменения. С этой целью определим следующие дифференциальные показатели перспективности научного направления, определяемого заданным поисковым термином

$$D1_i = f_1 \left( n_i, \frac{dn_i}{dt}, \frac{dc_i}{dt} \right),$$
$$D2_i = f_2 \left( n_i, \frac{d^2n_i}{dt^2}, \frac{d^2c_i}{dt^2} \right).$$

Другими словами, показатель перспективности  $D1_i$  есть функция, зависящая от числа публикаций  $n_i$ , скорости изменения числа публикаций  $dn_i/dt$  (производная по времени) и цитирований  $dc_i/dt$  в данной области исследований.

Показатель  $D2_i$  — функция, зависящая от числа публикаций  $n_i$ , ускорения изменения числа публикаций  $d^2n_i/dt^2$  и цитирований  $d^2c_i/dt^2$  в данной области исследований.

Функции  $f_1$  и  $f_2$  — агрегируют тем или иным образом вклад цитирований и публикаций. В частном случае, агрегирование можно выполнить с помощью взвешенного суммирования. Тогда, для отдельной наукометрической базы данных  $j$ ,

показатели перспективности научных исследований в области  $i$  в момент времени  $t_k$ , можно определить выражениями

$$D1_i^j(t_k) = \alpha n_i^j(t_k) + \beta \cdot \frac{dn_i^j(t_k)}{dt} + \gamma \cdot \frac{dc_i^j(t_k)}{dt}, \quad (2)$$

$$D2_i^j(t_k) = \alpha' n_i^j(t_k) + \beta' \cdot \frac{d^2 n_i^j(t_k)}{dt^2} + \gamma' \cdot \frac{d^2 c_i^j(t_k)}{dt^2}. \quad (3)$$

где  $\alpha, \beta, \gamma, \alpha', \beta', \gamma'$  — некоторые эмпирические коэффициенты, регулирующие «весомость» вклада числа публикаций, скорости и ускорения изменения числа публикаций  $n_i$  и скорости и ускорения изменения числа цитирований  $c_i$ , соответственно. Отметим, что поскольку вторая производная функции может быть вычислена с использованием первой производной

$$\frac{d^2 f}{dx^2} = \frac{d(df/dx)}{dx},$$

то выражение (3) можно представить как

$$D2_i^j(t_k) = \alpha' n_i^j(t_k) + \beta' \cdot \frac{d(dn_i^j(t_k)/dt)}{dt} + \gamma' \cdot \frac{d(dc_i^j(t_k)/dt)}{dt}. \quad (4)$$

Для более ясной оценки динамики изменения публикационной активности, особенно в в доменах с большим числом публикаций, параметры  $\alpha$  и  $\alpha'$  можно приравнять к 0. В этом случае,

$$D1_i^j(t_k) = \beta \cdot \frac{dn_i^j(t_k)}{dt} + \gamma \cdot \frac{dc_i^j(t_k)}{dt}, \quad (5)$$

$$D2_i^j(t_k) = \beta' \cdot \frac{d(dn_i^j(t_k)/dt)}{dt} + \gamma' \cdot \frac{d(dc_i^j(t_k)/dt)}{dt}. \quad (6)$$

Формулы (1), (5) и (6) использованы в дальнейших расчетах.

### 3. «Перспективность» субдоменов ИКТ

Для расчета описанных выше показателей CAGR, D1 и D2 выполнен поиск в библиометрических базах данных. В табл. 2 и 3 показаны результаты поиска в базе ScienceDirect. Отметим, что данные за 2016 год приведены на середину года. Графики в табл. 4 построены по данным табл. 2.

Таблица 2. Динамика изменения количества публикаций  
в доменах ИКТ по данным ScienceDirect

Domain	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Augmented Reality	1137	1355	1379	1494	1459	1571	1779	1984	2348	2453	2790	2458
Big Data	18501	21216	23489	25098	26886	27521	31395	34400	38617	43535	50701	48974
Bioinformatics	3337	3800	4201	4598	5127	5483	5740	6915	7714	8613	9731	9065
Cloud computing	1663	1818	2000	2098	2369	2581	3463	4007	5266	5869	7118	6940
Cyber-Physical systems	194	187	270	229	234	267	486	479	796	1040	1290	1284
Embedded systems	23671	27234	28237	29803	37599	32764	35655	38545	42736	45403	50469	46875
Information Security	8740	9649	11234	11184	11717	12479	14005	15549	17871	20150	22557	21208
Internet of things	2945	3051	3953	3689	3481	3909	3967	4322	4567	5150	6276	5622
Human-machine systems	6280	7349	7689	8027	8571	8904	9798	11227	12659	13750	16188	15457
Mobile computing	3523	4009	4566	4867	4967	5088	6049	6642	7724	8491	9753	8883
Machine Learning	5025	5914	6355	6824	7291	7378	8500	9566	10720	12104	14777	14242
Machine to machine	24644	28150	28930	30158	32302	31884	36139	39279	43918	47746	54137	51479
Multi agent systems	10098	10843	11897	12885	13472	14260	15766	17690	20006	21417	23704	22605
Neural Networks	8876	10088	10255	11442	13153	11910	13625	14572	15598	16844	19012	17939
Robotics	3191	3727	3702	4783	5120	5121	6080	6806	7029	7894	8418	7377
Visualization	14030	15113	15627	16751	17980	18384	20007	21969	23441	25114	27892	26197
Intelligent transport systems	835	924	1050	1073	1107	1153	1403	1641	2138	2176	2466	2393
E-Governance	1809	2227	2321	2738	3116	3327	3727	4526	5540	6651	7653	6788
Software Defined Networking	9059	10949	11787	12727	14313	14869	16899	19123	22089	24633	27278	26434
5G	8413	10425	11509	12795	19782	15093	16301	17067	18982	20160	21585	20239
Smart city	821	935	1093	1132	1195	1352	1547	1917	2179	2748	3540	3846
Smart grid	447	505	619	694	850	1077	1588	1892	2366	3075	4074	4023

Таблица 3. Динамика изменения количества цитирований  
в доменах ИКТ по данным ScienceDirect

Domain	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Augmented Reality	119	116	134	161	174	229	254	313	442	445	611	615
Big Data	665	817	933	1076	1191	1354	1554	1857	2396	2984	4137	5007
Bioinformatics	2414	3126	3649	4220	4721	5219	5745	6720	7976	8320	9590	9271
Cloud computing	95	107	139	147	166	248	478	696	1091	1464	2105	2433
Cyber-Physical systems	11	15	29	31	21	37	73	107	73	297	456	552
Embedded systems	1417	1714	2078	2323	2808	2996	3510	4169	5035	5667	6989	7682
Information Security	1121	1252	1711	1702	2121	2282	2849	3438	4082	4565	5078	5446
Internet of things	366	396	511	488	559	554	728	921	1138	1425	1506	1759
HUMAN-machine systems	1278	1486	1677	1957	2201	2328	2709	3161	3671	3897	4559	4675
Mobile computing	621	798	1070	1299	1377	1479	2041	2394	2708	2904	3582	3596
Machine Learning	1954	2538	2899	3530	4220	4176	5205	5914	6703	7489	8982	9301
Machine to machine	6741	7910	8465	9688	10783	10633	12569	14304	15925	17111	19747	20082
Multi agent systems	1363	1680	1848	2243	2509	2768	3380	4097	4807	5741	6732	7138
Neural Networks	5911	6930	7797	9120	10360	10163	12384	13590	15455	16691	19363	20026
Robotics	1557	1822	2015	2595	2851	2962	3522	4150	4488	4852	5364	5045
Visualization	3862	4155	4568	5271	5501	5906	6534	7074	7906	8558	9855	9952
Intelligent transport systems	137	216	230	286	343	397	550	761	931	1085	1207	1209
E-Governance	872	1150	1340	1685	1988	2244	2650	3293	4235	4955	5971	5961
Software Defined Networking	92	163	196	220	283	311	354	500	643	721	858	967
5G	69	86	78	89	113	93	100	134	133	134	170	240
Smart city	127	168	199	222	214	278	346	472	633	878	1296	1590
smart grid	29	48	54	77	95	145	298	548	803	1458	2062	2577



Таблица 4. Изменение количества публикаций в доменах ИКТ по данным ScienceDirect



Расчет производной выполнен численным методом в соответствии с выражением

$$f'(x_0) \approx \frac{(f(x_0 + \Delta x) - f(x_0 - \Delta x))}{2\Delta x},$$

где  $x_0$  — текущий год;  $\Delta x = 1$  (минимальный период получения данных — 1 год). В связи с особенностями вычисления производной показатель D1 может быть получен за период с 2006 по 2014 год, а D2 — с 2007 по 2013. В табл. 5 и 6 в качестве иллюстрации приведены результаты расчетов CAGR, D1, D2 в домене Machine Learning. Результаты расчетов по остальным доменам показаны в виде графиков.

Таблица 5. Исходные данные и результаты расчета показателей CAGR в домене Machine learning

Machine Learning					
Year	Amount of papers (n)	T	Amount of Citations (c)	CAGR(citations)	CAGR(Papers)
2005	5025	2	1954		
2006	5914	3	2538	13,968	8,485732836
2007	6355	4	2899	14,053	8,141692649
2008	6824	5	3530	15,934	7,9507684
2009	7291	6	4220	16,648	7,728399193
2010	7378	7	4176	13,494	6,610610617
2011	8500	8	5205	15,023	7,798281407
2012	9566	9	5914	14,847	8,380035469
2013	10720	10	6703	14,679	8,783262598
2014	12104	11	7489	14,380	9,189099647
2015	14777	12	8982	14,874	10,30276075

Таблица 6. Результаты расчета показателей D1 и D2 по данным домена Machine Learning

Year	dn/dt	dc/dt	D1 (Speed)	D2 (Acceleration)
2005				
2006	665	472,5	98,1	
2007	455	496	83,5	-50,6
2008	468	660,5	100,2	-97,15
2009	277	323	52,8	29,4
2010	604,5	492,5	95,1	408,7
2011	1094	869	170,1	240,675
2012	1110	749	160,0	57,775
2013	1269	787,5	176,3	425,975
2014	2028,5	1139,5	270,5	
2015				

Графики в табл. 7 иллюстрируют динамику изменения показателей D1 и D2 в доменах ИКТ. В связи с тем, что D1 — фактически означает скорость изменения, а D2 — ускорение прироста числа публикаций и цитирований, на графиках они обозначены как Speed и Acceleration, соответственно.

Таблица 7. Графики оценки динамики и изменений скорости и ускорения по доменам

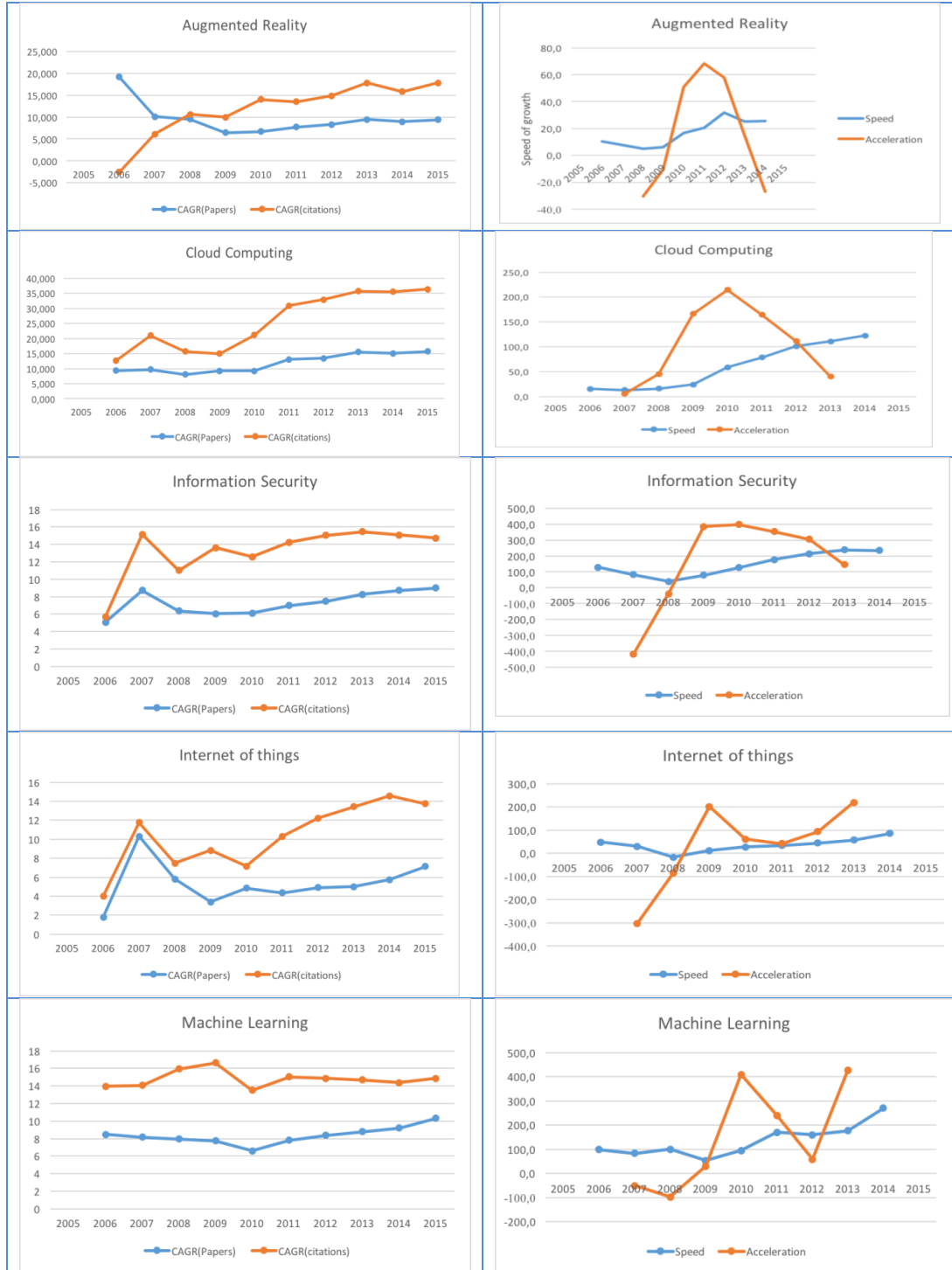
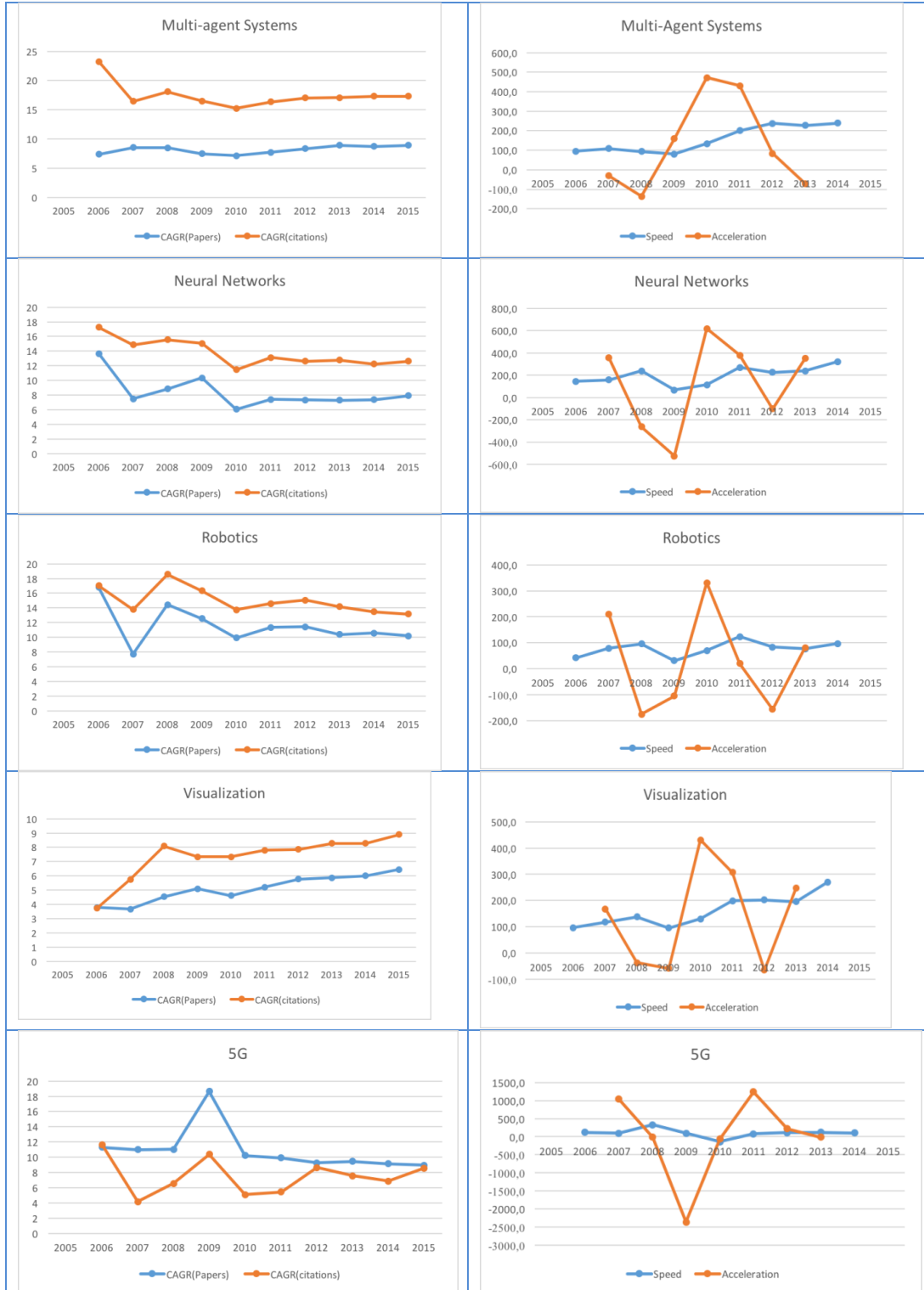


Таблица 7. Окончание



## 4. Заключение

В настоящее время количество публикаций во всех рассматриваемых семантических разделах ИКТ демонстрирует устойчивый рост. Поэтому для количественного анализа динамики указанного роста наряду с CARG нами предложены дифференциальные показатели оценки «перспективности» D1 и D2.

При этом, если показатель D1 отражает скорость роста научных публикаций, то использование показателя D2 позволяет выявить периоды снижения скорости прироста научных публикаций и цитирований статей. Отрицательное значение показателя свидетельствует как раз о замедлении прироста. На представленных данных можно заметить интересную закономерность для большинства новых доменов, когда после первоначального роста наблюдается замедление и затем повторное ускорение (домен Big Data, Augmented Reality, Cyber-physical systems, Information Security, Internet of things, Human-Machine Systems, Mobile Computing, Machine Learning, Machine-to-machine, Multi-agent systems, Intelligent transport systems, Software Defined Networking). Причины такого феномена нужно искать за пределами данного исследования, но, можно предположить, что указанная динамика характеризует глубину развития области исследования или, с другой стороны, освоение нового смысла исследователями и применение его в работах. Только для двух из представленных областей (Smart grid, Cloud Computing) наблюдается постоянный устойчивый прирост числа цитирований и публикаций (показатель D2 имеет только положительное значение за весь рассматриваемый период).

Некоторые домены (Neural Networks, Robotics, Visualisation), характеризуются повторным ускорением (Показатель D2 имевший несколько периодов отрицательное значение вновь становится положительным), причем для доменов Smart city и E-governance период «падения» один и тот же.

Очевидно, что рассматриваемые показатели не могут в полной мере характеризовать перспективность той или иной области исследования. Нужно согласиться с тезисом [7], что при выявлении векторов развития науки на макроуровне нельзя опираться исключительно на методы наукометрии, необходимо экспертное мнение. Но, как нам кажется, введенные показатели, учитывая их наглядность, могут использоваться для поддержки принятия решений экспертами.

Отметим, что величина показателей для отдельных направлений исследований зависит от общего числа публикаций в домене вследствие особенностей численного расчета производных. Возможно будет полезной нормализация показателей. Кроме этого, из-за особенностей численного дифференцирования и годового периода сбора данных нет возможности вычислить данные показатели за последний год–два, что может быть весьма критично для новых доменов исследований.

Отдельного внимания заслуживает вопрос, в какой момент предлагаемые меры могут стать нерелевантными. Можно предположить, что данные показатели наиболее продуктивны при сравнении относительно небольших по объему публикаций направлений исследований (например, в диапазоне 1000-10000 статей в год), поскольку при увеличении, область исследований неизбежно сегментируется и в ней появляются новые направления.

В целом, описанные показатели позволяют агрегировать два (при необходимости и более) библиометрических показателя и получать интегрированную оценку наглядно демонстрирующую динамику изменения исследуемого домена.

**Благодарности.** Работа выполнена при частичной поддержке гранта 0168 ГФ4 министерства образования и науки РК и поддержке Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики — Грант № EIF-2014-9(24)-KETPL-14/02/1.

## Литература

- [1] *Muhamedyev R. I., Kalimoldaev M. N., Uskenbayeva R. K.* Semantic network of ICT domains and applications // *Proceedings of the 2014 Conference on Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia.* — New York, 2014. P. 178–186.
- [2] *Muhamedyev R. I. etc.* Revelation of new ICT domains for upcoming Kazakhstan's participation // *Proceedings of the 2014 Conference on Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia.* — New York, 2015. P. 179–188.
- [3] *Muhamedyev R. I., Amirgaliyev Y. N., Kalimoldayev M. N., Khamitov A. N., Abdilmanova A.* Selection of the most prominent lines of research in ICT domain // *Proceedings of the 2015 Twelve International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO).* — IEEE, 2015. P. 36–42.
- [4] *Aliguliyev R. M., Aliguliyev R.M.* Evolutionary algorithm for extractive text summarization // *Intelligent Information Management.* 2009. Vol. 1. No. 1. P. 128–138.
- [5] *Cilibrasi R. L., Vitányi P. M. B.* The Google similarity distance // *IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering.* 2007. Vol. 19. No. 3. P. 370–383.
- [6] *Aliguliyev R. M.* A new sentence similarity measure and sentence based extractive technique for automatic text summarization // *Expert Systems with Applications.* 2009. Vol. 36. No. 4. P. 7764–7772.
- [7] *Руководство по наукометрии: индикаторы развития науки и технологии : монография / Акоев М., Маркусова В.А, Писляков В.В.; под ред. М.А. Акоева.* — Екатеринбург: Изд-во урал. ун-та, 2014.

***Авторы:***

*Айнур Алмазовна Абдильмановна* — магистрант Международного университета информационных технологий, Алматы, Казахстан

*Рамиз Магамед оглу Алыгулиев* — доктор технических наук, заведующий отделом, Институт доктор технических наук, руководитель департамента, Институт информационных технологий НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

*Равиль Ильгизович Мухамедиев* — доктор инженерных наук, профессор кафедры управления информационными системами, Казахстанско-британский технический университет, главный научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий МОН РК, Алматы, Казахстан



## Differential metrics for evaluation of bibliometric indicators of ICT domains

A. Abdilmanova\*, R. Aliguliyev\*\*, R. Muhamedyev\*\*\*

\*Institute of Information and Computer Technologies  
Pushkina str., 125 Almaty, Kazakhstan 050010

\*\* Institute of Information Technology of Azerbaijan National Academy of Sciences  
B. Vahabzade str., 9A, Baku, Azerbaijan AZ1141

\*\*\*Kazakh-British Technical University  
Tole-bi str., 59, Almaty, Kazakhstan 050000

e-mail: r.aliguliyev@gmail.com, , abdilmanovaa@gmail.com, ravil.muhamedyev@gmail.com

*Abstract.* The work proposes differential metric assessment of the dynamics of changes of bibliometric indicators (number of papers and citations) of information communication technologies (ICT) domains. Research areas like: Big Data, Computational Biology, Cloud Computing, Cyber-Physical Systems, Embedded Systems, Information Security, Internet of Things, Human-Machine Systems, Mobile Computing, Machine Learning, Machine-to-Machine, Multi-Agent Systems, Neural Networks, Robotics, Visualization, Augmented Reality, SDN, 5G, e-Governance, Smart City, Smart Grid have been considered. In addition to the familiar indicators, two types of integrated indicators, which are based on the use of derivatives, have been proposed. There are given calculations of indicators and their graphs which illustrate changes over time. The proposed indicators can clearly express the changes in the dynamics of bibliometric indicators, which may be important to assess the prospects of research areas.

*Key words:* ICT, bibliometric analysis, scientometrics.

## References

- [1] Muhamedyev R. I., Kalimoldaev M. N., Uskenbayeva R. K. (2014) Semantic network of ICT domains and applications. In Proc. 2014 Conference on Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia. New York, p. 178–186.
- [2] Muhamedyev R. I. etc. (2015) Revelation of new ICT domains for upcoming Kazakhstan's participation. In Proc. 2015 Conference on Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia. New York, p. 179–188.
- [3] Muhamedyev R. I. etc. (2015) Selection of the most prominent lines of research in ICT domain. In Proc. 2015 Twelve International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO), p. 36–42.
- [4] Aliguliyev R. M., Aliguliyev R.M. (2009) *Intelligent Information Management*, **1**(1):128–138.
- [5] Cilibrasi R. L., Vitányi P. M. B. (2007) *IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering*, **19**(3):370–383.
- [6] Aliguliyev R. M. (2009) *Expert Systems with Applications*, **36**(4):7764–7772.
- [7] Akoev M. etc. (2014) *Scientometrics Guide: Indicators Of The Development Of Science And Technology*. Ekaterinburg, Ural Univ.

## Решение задачи двумерной упаковки методом вариационного генетического алгоритма

*А. И. Дивеев, Е. Ю. Шмалько*

*Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»  
Российской академии наук,  
119333, Москва, ул. Вавилова, 44*

*Российский университет дружбы народов,  
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6*

*e-mail: aidiveev@mail.ru, e.shmalko@gmail.com*

*Аннотация.* Представлен новый подход к применению генетических алгоритмов для решения комбинаторных задач. Основная трудность в применении ГА заключается в проверке корректности новых возможных решений, полученных в результате рекомбинации. Представленный в работе метод вариационного генетического алгоритма позволяет избежать указанных трудностей, так как реализует генетические операции на множестве малых вариаций базисного решения. В работе приведено описание алгоритма и его применение в задаче двумерной упаковки.

*Ключевые слова:* генетический алгоритм, комбинаторные задачи, упаковка, вариации, базисное решение.

### 1. Введение

Многообразие задач комбинаторной оптимизации, таких как упаковки и раскройки, а также смежных задач маршрутизации, составления расписаний и др., представляют собой проблему как теоретического, так и практического плана. Причина растущего интереса к этим задачам со стороны производителей состоит в их безусловно большом прикладном значении, а со стороны исследователей в разнообразии и сложности, связанной с поиском достаточно точного решения в пространстве большой размерности.

Вопрос об эффективном применении точных комбинаторных методов решения задач дискретной оптимизации большой размерности остается открытым до сих пор. Сегодня для решения NP-трудных комбинаторных задач с успехом применяются современные эвристические методы локального поиска. Бурное развитие этих методов началось с появления так называемых метаэвристик [1–3], то есть общих схем построения алгоритмов, которые могут быть применены практически к любой задаче дискретной оптимизации. Это связано, прежде всего, с тем, что изменился общий взгляд на построение локальных алгоритмов. Требование монотонного улучшения по целевой функции больше не является доминирующим. Как отмеча-

ется в [2], наиболее мощные алгоритмы допускают произвольное ухудшение по целевой функции.

Первыми среди сложных метаэвристик для дискретных задач упаковки-раскройки стали применяться генетические алгоритмы. Впервые нестандартные идеи генетических алгоритмов были применены к решению оптимизационных задач в середине 70-х гг. [4, 5]. Примерно через 10 лет появились первые теоретические обоснования этого подхода [6, 7]. На сегодняшний день генетические алгоритмы доказали свою конкурентоспособность при решении многих NP-трудных задач [8, 9] и особенно в практических приложениях, где математические модели имеют сложную структуру и применение стандартных методов типа ветвей и границ, динамического и линейного программирования крайне затруднено.

Противники эволюционных подходов заметят, что применение локального спуска позволяет генетическому алгоритму сосредоточиться только на локальных оптимумах. Однако экспериментальные исследования распределения локальных оптимумов свидетельствуют о высокой концентрации их в непосредственной близости их от глобального оптимума [10, 11]. Это наблюдение известно как гипотеза о существовании «большой долины»: в среднем локальные оптимумы расположены гораздо ближе к глобальному оптимуму, чем к случайно выбранной точке. Их распределение в области допустимых решений не является равномерным. Они концентрируются в районе глобального оптимума, занимая область небольшого диаметра [2]. Эта гипотеза отчасти объясняет работоспособность и эффективность генетических алгоритмов.

В настоящей работе мы представляем новый подход на основе генетического алгоритма к решению NP-сложной задачи упаковки. Применение генетического алгоритма к решению NP-сложных оптимизационных задач затруднено реализацией генетических операций на кодах возможных решений. Наибольшую сложность при реализации вызывает основная операция генетического алгоритма — скрещивание. Выполнение операции скрещивания в классическом варианте реализации, когда к части кода одного возможного решения механически добавляют часть кода другого возможного решения, чаще всего приводит к получению «неправильного» кода, не соответствующего никакому возможному решению. В этих случаях исследователи вырабатывают правила исправления кода в соответствии с решаемой задачей. Процедуры проверки и исправления кода часто существенно замедляют работу генетического алгоритма и нарушают принцип наследования в результате значительного изменения кода нового возможного решения.

В качестве примера можно рассмотреть большое количество работ по применению генетического алгоритма для решения задачи упаковки [12–16]. В задаче вместе с номерами укладываемых предметов в коде возможного решения иногда

присутствует информация о правилах упаковки [15], что не исключает возникновения проблемы повтора номеров укладываемых предметов в кодах новых возможных решений после выполнения операции скрещивания. Для исправления кода была придумана процедура «жадного» скрещивания [17], которая включала нахождение повторяющегося числа, ближайших неповторяющихся чисел, вычисление оценок значений целевой функции с этими числами и замену повторяющегося числа на лучшее по значению целевой функции неповторяющееся число. Перечисленные этапы исправления кода значительно превосходят по вычислительным затратам саму операцию скрещивания, особенно при наличии в коде нового возможного решения нескольких повторяющихся чисел.

В задачах с более сложными кодами возможных решений возникновение коллизий в кодах новых возможных решений после выполнения операции классического скрещивания неизбежно. Чем сложнее код возможного решения, тем сложнее получить новые возможные решения с помощью операции скрещивания без нарушений правил кодирования.

В работе мы приводим универсальный способ построения генетических алгоритмов для решения NP-трудных задач с кодами возможных решений любой сложности. Подход основан на использовании принципа малых вариаций базисного решения [18]. Суть принципа состоит в определении малых вариаций (мутаций) кода возможного решения рассматриваемой задачи и поиске оптимального решения с помощью генетического алгоритма на множестве малых вариаций кода одного базисного решения. Малые вариации всегда приводят к правильному коду возможного решения. Все генетические операции выполняем на упорядоченных множествах малых вариаций. Результатом генетических операций всегда будет правильный код возможного решения. В работе приводим описание универсального вариационного генетического алгоритма на основе принципа малых вариаций базисного решения для решения задачи двумерной упаковки.

## 2. Постановка задачи

Рассмотри задачу двумерной ортогональной упаковки.

Задано множество номеров предметов

$$I_n = (1, \dots, n), \quad (1)$$

Задано упорядоченное множество габаритов предметов в виде пар положительных чисел

$$A = (\mathbf{a}^1 = [a_1^1 \ a_2^1]^T, \dots, \mathbf{a}^n = [a_1^n \ a_2^n]^T), \quad (2)$$

$$a_1^i > 0, \ a_2^i > 0, \ i = 1, \dots, n.$$

Заданы габариты контейнера или размеры области, куда необходимо укладывать предметы

$$x^-, x^+, y^-, y^+, x^- < x^+, y^- < y^+. \quad (3)$$

Необходимо найти упорядоченное подмножество номеров в (1)

$$\begin{aligned} N \subseteq I_n, \quad N = (i_1, \dots, i_k), \\ k \leq n, \quad i_j \neq i_l, \quad i_j, i_l \in I_n \end{aligned} \quad (4)$$

и месторасположение контейнеров в виде пар координат, например верхних левых углов предметов,

$$B = (\mathbf{v}^1 = [v_1^1 \quad v_2^1]^T, \dots, \mathbf{v}^k = [v_1^k \quad v_2^k]^T), \quad (5)$$

которые должны удовлетворять габаритным ограничениям

$$x^- \leq v_1^j \leq x^+, \quad y^- \leq v_2^j \leq y^+, \quad v_1^l + a_1^{i_l} \leq x^+, \quad v_2^l - a_2^{i_l} \geq y^-, \quad (6)$$

где  $j = 1, \dots, k$ ;  $i_l \in N$ .

Уложенные предметы должны также удовлетворять условию отсутствия пересечений между собой:

$$(v_1^l + a_1^{i_l} \leq v_1^j) \vee (v_1^l \geq v_1^j + a_1^{i_j}) \vee (v_2^l \leq v_2^j - a_2^{i_j}) \vee (v_2^l - a_2^{i_l} \geq v_2^j), \quad (7)$$

где  $l \neq j$ ;  $l, j \in \{1, \dots, k\}$ .

Критерием оптимизации выбран минимум оставшейся в контейнере площади

$$f_0(N) = (x^+ - x^-)(y^+ - y^-) - \sum_{j=1}^k a_1^{i_j} a_2^{i_j} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Для решения задачи выберем стратегию укладки. Укладывать контейнеры будем слева направо, снизу вверх. При укладке каждого контейнера вычисляем место укладки в виде наименьших значений по координатам  $x$  и  $y$ .

Решение задачи ищем с помощью вариационного генетического алгоритма.

### 3. Вариационный генетический алгоритм

Пространство поиска, или пространство кодов возможных решений, определяем с помощью базисного решения, закодированного в виде матрицы сетевого оператора, и наборов векторов малых вариаций базисного решения.

Задаем первое базисное решение

$$\tilde{\mathbf{y}}^0 \in \tilde{\Xi}_n, \quad (9)$$

где  $\tilde{\Xi}_n = \{\tilde{\mathbf{y}}^0, \tilde{\mathbf{y}}^1, \dots\}$  — множество допустимых кодов элементов ограниченной длины  $n$ .

Базисное решение выбираем случайно или на основании анализа задачи и свойств искомого оптимального решения.

Введем понятие малой вариации кода. Замена кода одного символа на другой допустимый символ является элементарной вариацией кода. Но не всегда замена одного символа в допустимом коде элемента приводит к новому допустимому коду. Иногда замена одного символа в допустимом коде элемента приводит к некорректному коду. Элементарной вариации недостаточно для получения из одного допустимого кода элемента другого допустимого кода.

Малой вариацией называем необходимый минимальный набор элементарных вариаций для получения из одного допустимого кода элемента другого допустимого кода. В некоторых случаях малая вариация состоит из одной элементарной вариации. В других случаях для получения нового допустимого кода элемента малая вариация включает несколько элементарных вариаций.

Для описания малой вариации введем вектор вариаций

$$\mathbf{w} = [w_1 \ \dots \ w_r]^T, \quad (10)$$

где размерность  $r$  вектора вариаций определена количеством необходимой для выполнения малой вариации  $\delta_i(\tilde{\mathbf{y}})$  информации;  $w_1$  — номер малой вариации,  $w_1 = i$ ;  $w_2$  — номер варьируемого символа в коде элемента  $\tilde{\mathbf{y}}$  и т. д.

Вектор вариации (10) описывает функцию отображения множества допустимых кодов элементов в себя. Определим действие вектора вариаций на любой элемент  $\tilde{\mathbf{y}}$  множества  $\tilde{\Xi}_n$  допустимых кодов элементов ограниченной длины в виде действия оператора на элемент множества.

$$\tilde{\mathbf{y}}^j = \mathbf{w} \circ \tilde{\mathbf{y}}^i, \quad (11)$$

где  $\tilde{\mathbf{y}}^j = \delta_k(\tilde{\mathbf{y}}^i)$  при  $w_1 = k$ .

Вариации кода элемента  $\tilde{\mathbf{y}}$  из окрестности  $\Delta(\tilde{\mathbf{y}})$  определяем с помощью конечного набора векторов вариаций

$$\forall \tilde{\mathbf{y}}^j \in \Delta(\tilde{\mathbf{y}}), \tilde{\mathbf{y}}^j = \mathbf{w}^k \circ \dots \circ \mathbf{w}^1 \circ \tilde{\mathbf{y}}, \quad k \leq \Delta. \quad (12)$$

Целью вводимых конструкций является организация целенаправленного поиска на множестве кодов возможных решений. Поиск набора малых вариаций, определяющих оптимальное решение задачи, реализуем генетическим алгоритмом на множестве наборов малых вариаций.

Пусть на множестве кодов допустимых решений необходимо найти оптимальное допустимое решение согласно заданным критериям

$$f_{0,i}(\tilde{\mathbf{y}}) \rightarrow \min, \quad i = \overline{1, n_f}. \quad (13)$$

Целевая функция  $f_{0,i}(\tilde{\mathbf{y}})$ ,  $i = \overline{1, n_f}$  отображает любой код элемента в вещественное число

$$f_{0,i}(\tilde{\mathbf{y}}): \tilde{\Xi}_n \rightarrow \mathbb{R}^1, \quad i = \overline{1, n_f}. \quad (14)$$

Генерируем множество наборов векторов вариаций

$$\mathbf{W}^i = (\mathbf{w}^{i,1}, \dots, \mathbf{w}^{i,d}), \quad i = \overline{1, H}, \quad (15)$$

где  $\mathbf{w}^{i,j} = [w_1^{i,j} \dots w_r^{i,j}]^T$ ,  $j = \overline{1, d}$ ,  $d$  — количество векторов вариаций в одном наборе;  $H$  — количество наборов или согласно терминологии генетического алгоритма размер начальной популяции.

Вместе с  $H$  наборами векторов вариаций задаем также тождественный набор вариаций

$$\mathbf{W}^0 = (\mathbf{w}^{0,1}, \dots, \mathbf{w}^{0,d}), \quad (16)$$

Вектор вариации  $\mathbf{w}^{0,j}$  описывает невыполняемую вариацию.

$$\forall \tilde{\mathbf{y}} \in \tilde{\Xi}_n, \quad \mathbf{w}^{0,j} \circ \tilde{\mathbf{y}} = \tilde{\mathbf{y}}, \quad j = \overline{1, d}. \quad (17)$$

Определим нулевой вектор в качестве вектора вариации для описания невыполняемой малой вариации

$$\mathbf{w}^{0,j} = [w_1^{0,j} \dots w_r^{0,j}]^T, \quad w_i^{0,j} = 0, \quad i = \overline{1, r}, \quad j = \overline{1, d}. \quad (18)$$

Все наборы  $\mathbf{W}^i$ ,  $i = \overline{0, H}$  длины  $d$  векторов вариаций при их применении к базисному решению определяют возможные решения из  $d$ -окрестности базисного решения

$$\mathbf{W}^i \circ \tilde{\mathbf{y}}^0 = \tilde{\mathbf{y}}, \quad \tilde{\mathbf{y}} \in d(\tilde{\mathbf{y}}^0) \subseteq \tilde{\Xi}_n, \quad (19)$$

где  $\mathbf{W}^i \circ \tilde{\mathbf{y}}^0 = \mathbf{w}^{i,d} \circ \dots \circ \mathbf{w}^{i,1} \circ \tilde{\mathbf{y}}^0$ ,  $\|\tilde{\mathbf{y}}^0 - \tilde{\mathbf{y}}\|_{\Omega} = d$ ,  $i = \overline{0, H}$ .

Согласно свойству тождественного набора векторов вариаций имеем

$$\mathbf{W}^0 \circ \tilde{\mathbf{y}}^0 = \tilde{\mathbf{y}}^0. \quad (20)$$

Организуем с помощью генетического алгоритма поиск наилучшего решения в  $d$ -окрестности базисного решения (9)  $\tilde{\mathbf{y}}^0$ . Операции генетического алгоритма применяем к наборам (15) векторов вариаций.

Для оценки каждого возможного решения используем ранговый критерий. Для этой цели первоначально для каждого возможного решения

$$\tilde{\mathbf{y}}^i = \mathbf{W}^i \circ \tilde{\mathbf{y}}^0, \quad i = \overline{0, H}, \quad (21)$$

вычислим значения критериев

$$\mathbf{f}^{0,i} = [f_1^{0,i} \dots f_{n_f}^{0,i}]^T, \quad (22)$$

где



$$f_k^{0,i} = f_{0,k}(\tilde{\mathbf{y}}^i), \quad i = \overline{0, H}, \quad k = \overline{1, n_f}. \quad (23)$$

Ранг возможного решения (21) определяем по количеству других возможных решений с лучшими значениями критериев

$$\Lambda_i = \sum_{j=0}^H \lambda_j(\tilde{\mathbf{y}}^i), \quad (24)$$

где

$$\lambda_j(\tilde{\mathbf{y}}^i) = \begin{cases} 1, & \text{если } \mathbf{f}^{0,j} \leq \mathbf{f}^{0,i} \\ 0 & \text{— иначе,} \end{cases} \quad (25)$$

$\mathbf{f}^{0,j} \leq \mathbf{f}^{0,i}$ , если  $f_k^{0,j} \leq f_k^{0,i}$ ,  $k = \overline{1, n_f}$ , и  $\exists r, f_r^{0,j} < f_r^{0,i}$ ,  $1 \leq r \leq n_f$ .

Ранг  $\Lambda_i$  (24) является целочисленной оценкой возможного решения  $\tilde{\mathbf{y}}^i$  по нескольким критериям (13). Наилучшие решения во множестве возможных решений имеют нулевое значение ранга  $\Lambda_i = 0$ ,  $0 \leq i \leq H$ .

Операцию скрещивания для возможных решений осуществляем для наборов (15) векторов вариаций. Отбираем случайно или по известным из теории генетических алгоритмов методикам два набора векторов вариаций

$$\mathbf{W}^{i_1} = (\mathbf{w}^{i_1,1}, \dots, \mathbf{w}^{i_1,d}), \quad \mathbf{W}^{i_2} = (\mathbf{w}^{i_2,1}, \dots, \mathbf{w}^{i_2,d}). \quad (26)$$

Возможные решения, соответствующие отобраным наборам

$$\tilde{\mathbf{y}}^{i_1} = \mathbf{W}^{i_1} \circ \tilde{\mathbf{y}}^0, \quad \tilde{\mathbf{y}}^{i_2} = \mathbf{W}^{i_2} \circ \tilde{\mathbf{y}}^0 \quad (27)$$

по терминологии генетических алгоритмов называем родителями.

По значениям рангов родительских возможных решений вычисляем вероятность скрещивания

$$p_s = \max \left\{ \frac{1 + \gamma \Lambda_{i_1}}{1 + \Lambda_{i_1}}, \frac{1 + \gamma \Lambda_{i_2}}{1 + \Lambda_{i_2}} \right\}, \quad (28)$$

где  $\gamma$  — параметр скрещивания,  $0 \leq \gamma < 1$ .

При значении  $\gamma = 0$  максимальная вероятность скрещивания для возможных решений с ненулевым рангом не превышает величины 0.5. При величине  $\gamma = 0.9$  максимальная вероятность скрещивания для возможных решений с ненулевым рангом составляет величину 0.95. Решения с нулевым рангом скрещиваем всегда с вероятностью 1.

Для принятия решения по скрещиванию двух отобранных возможных решений (27) генерируем случайное вещественное число  $\zeta$  в диапазоне от 0 до 1. При условии превышения сгенерированным случайным числом вероятности скрещива-

ния  $\zeta > p_s$  выполняем операцию скрещивания для отобранных возможных решений (27).

Определяем случайно целое число  $k_s$  из диапазона от 1 до  $d$ . Данное число в генетическом алгоритме называют точкой скрещивания,  $1 \leq k_s \leq d$ .

Создаем из отобранных наборов (27) векторов вариаций с учетом точки скрещивания  $k_s$  два новых набора векторов вариаций

$$\mathbf{W}^{H+1} = (\mathbf{w}^{i_1,1}, \dots, \mathbf{w}^{i_1,k_s-1}, \mathbf{w}^{i_2,k_s}, \dots, \mathbf{w}^{i_2,d}), \quad (29)$$

$$\mathbf{W}^{H+2} = (\mathbf{w}^{i_2,1}, \dots, \mathbf{w}^{i_2,k_s-1}, \mathbf{w}^{i_1,k_s}, \dots, \mathbf{w}^{i_1,d}). \quad (30)$$

Далее согласно классическому генетическому алгоритму выполняем операцию мутации. Суть данной операции в варьировании новых полученных возможных решений. Операцию мутации выполняем с учетом заданной величины вероятности мутации  $p_m$ .

Для выполнения операции мутации для каждого из двух новых наборов векторов вариаций генерируем случайное вещественное число  $\zeta$  в диапазоне от 0 до 1. При выполнении условия  $\zeta > p_m$  выполняем операцию мутации. Определяем точку мутации. Генерируем случайное целое число  $k_m$  в диапазоне от 1 до  $d$  и заменяем вектор вариации  $\mathbf{w}^{H+1,k_m}$  в новом наборе  $\mathbf{W}^{H+1}$  на случайно сгенерированный вектор вариаций. Эти же операции при выполнении условия  $\zeta > p_m$  для нового сгенерированного числа  $\zeta$  повторяем для второго нового набора  $\mathbf{W}^{H+2}$ . В результате получаем два новых набора векторов вариаций

$$\mathbf{W}^{H+1} = (\mathbf{w}^{H+1,1}, \dots, \mathbf{w}^{H+1,d}), \quad (31)$$

$$\mathbf{W}^{H+2} = (\mathbf{w}^{H+2,1}, \dots, \mathbf{w}^{H+2,d}). \quad (32)$$

Каждый из новых наборов векторов вариаций соответствует новому возможному решению

$$\tilde{\mathbf{y}}^{H+1} = \mathbf{W}^{H+1} \circ \tilde{\mathbf{y}}^0, \quad (33)$$

$$\tilde{\mathbf{y}}^{H+2} = \mathbf{W}^{H+2} \circ \tilde{\mathbf{y}}^0. \quad (34)$$

Определяем значения векторов критериев качества для новых возможных решений

$$\mathbf{f}^{0,H+i} = [f_1^{0,H+i} \quad \dots \quad f_{n_f}^{0,H+i}]^T, \quad i = 1, 2, \quad (35)$$

где

$$f_k^{0,H+i} = f_{0,k}(\tilde{\mathbf{y}}^{H+i}), \quad i = 1, 2, \quad k = \overline{1, n_f}. \quad (36)$$

Вычисляем ранг для первого нового возможного решения

$$\Lambda_{H+1} = \sum_{j=0}^H \lambda_j (\tilde{\mathbf{y}}^{H+1}). \quad (37)$$

Среди возможных решений без учета базисного решения и новых возможных решений находим решение  $\tilde{\mathbf{y}}^{i_+}$  с наибольшим значением ранга

$$\Lambda_{i_+} = \max \{ \Lambda_i, i = \overline{1, H} \}. \quad (38)$$

При выполнении условия превышения наибольшим рангом величины ранга первого нового возможного решения заменяем набор векторов вариаций для возможного решения с наибольшим значением ранга набором векторов вариаций первого нового возможного решения.

$$\mathbf{W}^{i_+} = \mathbf{W}^{H+1}, \quad \mathbf{f}^{0,i_+} = \mathbf{f}^{0,H+1}. \quad (39)$$

Повторяем по формулам (24), (25) пересчет рангов для всех возможных решений.

Вычисляем ранг для второго нового возможного решения

$$\Lambda_{H+2} = \sum_{j=0}^H \lambda_j (\tilde{\mathbf{y}}^{H+2}). \quad (40)$$

Среди возможных решений без учета базисного решения и второго нового возможного решения находим решение  $\tilde{\mathbf{y}}^i$  с наибольшим значением ранга (38).

В случае превышения наибольшим рангом величины ранга второго нового возможного решения заменяем набор векторов вариаций для возможного решения с наибольшим значением ранга набором векторов вариаций второго нового возможного решения.

$$\mathbf{W}^{i_+} = \mathbf{W}^{H+2}, \quad \mathbf{f}^{0,i_+} = \mathbf{f}^{0,H+2}. \quad (41)$$

При многократном повторении операций построения новых решений и замены возможных решений по значению ранга множество возможных решений изменяет свой состав на возможные решения с меньшими значениями критериев качества.

В операциях замены наборов векторов вариаций на полученные в результате скрещивания новые вектора вариаций не участвует базисное решение и ему соответствующий набор тождественных векторов вариаций. В то же время при выполнении операции скрещивания набор тождественных векторов для базисного решения участвует. Для базисного решения вычисляем значение ранга по соотношениям (24), (25) после замены одного возможного решения.

После выполнения заданного количества итераций построения новых возможных решений базисное решение заменяем на одно из решений с нулевым значением ранга

$$\tilde{\mathbf{y}}^0 = \tilde{\mathbf{y}}^i, \quad \Lambda_{i_-} = 0, \quad (42)$$

где  $\tilde{\mathbf{y}}^{i^*}$  — отобранное для нового базиса возможное решение;  $\tilde{\mathbf{y}}^{i^*} = \mathbf{W}^{i^*} \circ \tilde{\mathbf{y}}^0$ .

Для определения возможного решения для нового базисного решения используем дополнительные условия выбора с учетом особенностей задачи.

После повторения заданного количества циклов построения новых возможных решений и замен базисного решения строим множество Парето из возможных решений с нулевыми значениями рангов.

$$\tilde{P} = \left\{ \tilde{\mathbf{y}}^{i^*}, \dots, \tilde{\mathbf{y}}^{i^*} : \Lambda_{i_j} = 0, j = \overline{1, P} \right\}, \quad (43)$$

Полученное множество Парето является решением рассматриваемой задачи многокритериальной оптимизации на множестве нечисловых элементов.

#### 4. Численный эксперимент

В качестве малой вариации выбираем обмен номеров предметов в упорядоченном множестве номеров (4). Вектор вариаций содержит две компоненты

$$\mathbf{w} = [w_1 \quad w_2]^T, \quad w_1, w_2 \in \{1, \dots, n\}. \quad (44)$$

В случае использования вариации обмена, меняем местами  $i_{w_1}$  и  $i_{w_2}$

$$\mathbf{N} = \mathbf{w} \circ \mathbf{N}_0 = \left( \underbrace{i_1^0, \dots, i_{w_2}^0}_{w_2}, \dots, \underbrace{i_{w_1}^0, \dots, i_n^0}_{w_1} \right). \quad (45)$$

Заметим, что из  $n$  предметов в контейнер укладываем  $k \leq n$  предметов в зависимости от порядка укладываемых предметов, поэтому малая вариация с  $w_1 > k$  и  $w_2 > k$  является тождественной, не меняющей базисное решение. Тождественная вариация в вариационном генетическом алгоритме необходима из-за фиксированного значения количества вариаций  $d$  в возможном решении.

В численном примере случайно было сгенерировано  $n = 100$  предметов со сторонами от 5 до 20. Их необходимо было упаковать в контейнер с координатами  $x^- = 0$ ,  $x^+ = 100$ ,  $y^- = 0$ ,  $y^+ = 100$ .

Множество исходных предметов имело следующие элементы:

$\mathbf{A} = ([16.13 \ 14.06]^T, [19.02 \ 12.37]^T, [17.16 \ 15.89]^T, [19.10 \ 13.96]^T, [8.29 \ 8.75]^T, [16.77 \ 18.77]^T, [18.14 \ 6.65]^T, [19.16 \ 13.01]^T, [6.49 \ 6.35]^T, [6.32 \ 5.63]^T, [10.94 \ 19.66]^T, [16.07 \ 10.13]^T, [14.60 \ 17.46]^T, [6.20 \ 13.37]^T, [17.07 \ 5.25]^T, [17.30 \ 5.17]^T, [15.94 \ 12.44]^T, [7.97 \ 15.01]^T, [9.68 \ 15.34]^T, [8.18 \ 9.28]^T, [19.01 \ 8.15]^T, [15.63 \ 18.74]^T, [18.04 \ 18.39]^T, [17.11 \ 18.26]^T, [18.06 \ 12.21]^T, [16.67 \ 15.10]^T, [15.50 \ 11.72]^T, [8.59 \ 12.83]^T, [11.00 \ 18.84]^T, [12.02 \ 16.10]^T, [7.05 \ 8.21]^T, [8.64 \ 15.38]^T, [9.84 \ 9.47]^T, [8.62 \ 12.48]^T, [16.76 \ 5.27]^T, [12.86 \ 8.33]^T, [13.88 \ 12.48]^T, [7.27 \ 9.34]^T, [13.36 \ 14.96]^T, [12.41 \ 8.20]^T, [10.34 \ 8.15]^T, [19.84 \ 5.83]^T, [12.32 \ 16.94]^T, [15.99 \ 18.84]^T, [9.23 \ 5.18]^T, [18.62 \ 5.84]^T, [16.64 \ 8.51]^T,$

$[12.29\ 6.56]^T$ ,  $[6.89\ 12.55]^T$ ,  $[5.60\ 6.76]^T$ ,  $[18.02\ 7.07]^T$ ,  $[6.00\ 19.91]^T$ ,  $[18.84\ 18.52]^T$ ,  
 $[5.63\ 13.73]^T$ ,  $[13.56\ 14.54]^T$ ,  $[7.79\ 14.18]^T$ ,  $[10.64\ 9.61]^T$ ,  $[9.50\ 6.44]^T$ ,  $[17.13\ 7.36]^T$ ,  
 $[7.27\ 9.04]^T$ ,  $[8.57\ 8.31]^T$ ,  $[14.03\ 5.06]^T$ ,  $[5.96\ 6.32]^T$ ,  $[15.63\ 11.11]^T$ ,  $[14.82\ 5.33]^T$ ,  $[8.22$   
 $9.35]^T$ ,  $[6.86\ 17.57]^T$ ,  $[17.23\ 14.66]^T$ ,  $[14.45\ 5.83]^T$ ,  $[9.20\ 9.07]^T$ ,  $[11.13\ 14.73]^T$ ,  $[11.24$   
 $9.79]^T$ ,  $[12.77\ 17.81]^T$ ,  $[19.80\ 8.11]^T$ ,  $[18.68\ 12.11]^T$ ,  $[5.12\ 11.27]^T$ ,  $[10.34\ 13.40]^T$ ,  $[15.53$   
 $15.89]^T$ ,  $[12.57\ 17.80]^T$ ,  $[6.55\ 11.54]^T$ ,  $[9.32\ 15.11]^T$ ,  $[6.53\ 7.10]^T$ ,  $[15.32\ 6.37]^T$ ,  $[15.44$   
 $5.53]^T$ ,  $[9.89\ 10.94]^T$ ,  $[5.92\ 8.36]^T$ ,  $[19.19\ 17.55]^T$ ,  $[10.73\ 13.38]^T$ ,  $[18.17\ 14.84]^T$ ,  $[19.28$   
 $10.12]^T$ ,  $[14.99\ 12.21]^T$ ,  $[18.74\ 6.35]^T$ ,  $[18.73\ 9.38]^T$ ,  $[6.23\ 7.40]^T$ ,  $[19.28\ 13.18]^T$ ,  $[16.54$   
 $18.09]^T$ ,  $[10.61\ 13.54]^T$ ,  $[10.10\ 8.12]^T$ ,  $[15.13\ 10.07]^T$ ).

В качестве базисного решения был выбран исходный порядок предметов. Для базисного решения в контейнер уместилось 43 предмета  $N_0 = \overline{1, 43}$ .

Координаты верхних левых углов предметов имели следующие значения:

$B(N_0) = ([0.00\ 15.04]^T, [11.50\ 14.06]^T, [27.63\ 12.37]^T, [46.65\ 15.89]^T, [63.82\ 13.96]^T,$   
 $[82.92\ 8.75]^T, [0.00\ 33.80]^T, [16.77\ 20.71]^T, [34.91\ 28.90]^T, [54.08\ 22.24]^T, [60.56$   
 $21.52]^T, [66.88\ 33.61]^T, [77.82\ 24.09]^T, [0.00\ 51.27]^T, [14.60\ 46.02]^T, [29.59\ 34.16]^T,$   
 $[46.66\ 34.06]^T, [63.97\ 46.05]^T, [79.90\ 39.09]^T, [87.87\ 39.42]^T, [0.00\ 60.54]^T, [8.18$   
 $59.42]^T, [27.19\ 64.76]^T, [42.82\ 52.55]^T, [60.86\ 64.31]^T, [77.97\ 58.27]^T, [0.00\ 75.64]^T,$   
 $[16.67\ 76.48]^T, [32.17\ 77.59]^T, [40.76\ 83.60]^T, [51.76\ 80.41]^T, [63.78\ 72.52]^T, [70.83$   
 $79.69]^T, [79.48\ 67.73]^T, [89.32\ 70.75]^T, [0.00\ 81.75]^T, [16.76\ 84.81]^T, [29.62\ 96.09]^T,$   
 $[43.50\ 92.94]^T, [50.77\ 98.56]^T, [64.12\ 87.88]^T, [76.53\ 87.84]^T, [0.00\ 90.63]^T)$ .

Базисное решение представлено на рис. 1. Значение целевой функции (8) для базисного решения составило величину  $f_0(N_0) = 2868.23$ .

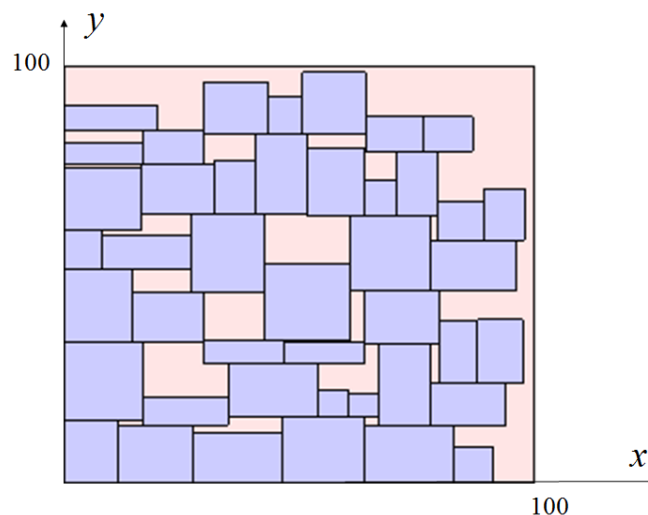


Рисунок 1. Базисное решение

Для поиска оптимального решения был использован вариационный генетический алгоритм со следующими параметрами: число возможных решений в начальном множестве  $H = 1024$ , число поколений 512, число скрещиваний в одном поколении 256, число вариаций в одном возможном решении 8, число поколений между сменой базисного решения 128, вероятность мутации  $p_{\mu} = 0.7$ .

В результате было получено решение из 54 предметов.

$N_{VGA} = (73, 81, 53, 96, 14, 3, 4, 17, 95, 93, 70, 27, 80, 13, 36, 15, 83, 68, 18, 19, 72, 66, 89, 23, 24, 2, 87, 67, 22, 29, 71, 30, 94, 88, 41, 47, 86, 37, 38, 39, 26, 75, 6, 43, 21, 82, 31, 92, 44, 76, 91, 49, 54, 51)$ .

Координаты расположения предметов имели следующие значения:

$B(N_{VGA}) = ([0.00 \ 17.81]^T, [12.77 \ 15.11]^T, [22.09 \ 18.52]^T, [40.94 \ 18.09]^T, [57.47 \ 13.37]^T, [63.67 \ 15.89]^T, [80.84 \ 13.96]^T, [0.00 \ 30.25]^T, [15.94 \ 31.69]^T, [35.22 \ 27.89]^T, [53.94 \ 27.16]^T, [63.14 \ 27.61]^T, [78.64 \ 27.43]^T, [85.19 \ 31.42]^T, [0.00 \ 38.58]^T, [12.86 \ 36.95]^T, [29.93 \ 38.05]^T, [45.25 \ 42.55]^T, [62.48 \ 42.62]^T, [70.45 \ 42.95]^T, [80.13 \ 41.20]^T, [91.37 \ 40.77]^T, [0.00 \ 53.42]^T, [18.17 \ 56.45]^T, [36.20 \ 60.81]^T, [53.31 \ 55.31]^T, [72.34 \ 60.50]^T, [91.53 \ 58.34]^T, [0.00 \ 72.16]^T, [15.63 \ 75.30]^T, [26.63 \ 75.55]^T, [37.77 \ 76.91]^T, [49.79 \ 68.22]^T, [56.02 \ 68.70]^T, [66.75 \ 68.65]^T, [77.09 \ 69.01]^T, [93.73 \ 66.70]^T, [0.00 \ 84.64]^T, [13.88 \ 84.63]^T, [21.15 \ 90.51]^T, [34.50 \ 92.01]^T, [51.17 \ 80.81]^T, [69.85 \ 87.78]^T, [86.63 \ 85.95]^T, [0.00 \ 92.80]^T, [19.01 \ 97.61]^T, [25.54 \ 98.72]^T, [32.59 \ 98.36]^T, [51.34 \ 99.65]^T, [67.33 \ 99.05]^T, [72.45 \ 100.00]^T, [87.44 \ 98.50]^T, [94.33 \ 99.68]^T, [0.00 \ 99.87]^T)$ .

Значение целевой функции для полученного решения составило величину  $f_0(N_{VGA}) = 552.94$ . Найденное решение представлено на рис. 2.

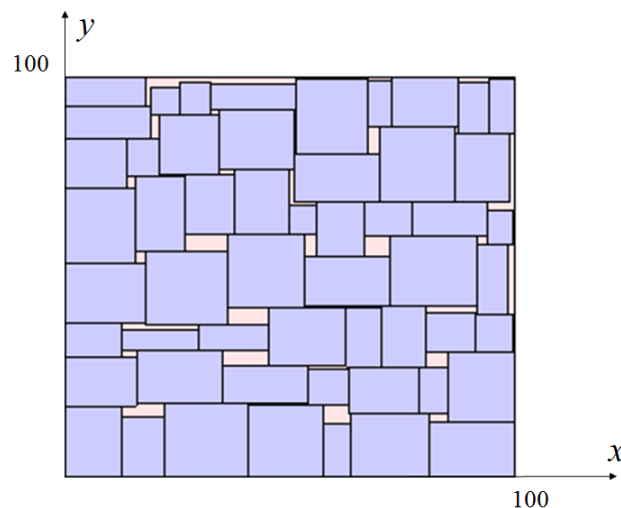


Рисунок 2. Решение вариационного генетического алгоритма  $N_{VGA}$

## 5. Заключение

Приведен универсальный подход к применению генетических алгоритмов к решению задачи упаковки. Метод основан на принципе малых вариаций базисного решения. Основная идея заключается в том, что для кодов возможных решений определяются возможные малые вариации. Основные операции эволюционного поиска (скрещивание и мутация) осуществляются на множестве малых вариаций возможного решения, которое определяется как базисное. Само базисное решение в процессе поиска также может заменяться на лучшее, найденное к определенному моменту. Такой подход позволяет избежать громоздкой процедуры проверки корректности получаемых возможных решений, что дает с вычислительной точки зрения возможность использовать большие объемы популяций. Кроме того, он применим для любых кодировок и не зависит от типов решаемых задач, а значит, является универсальным.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№ 16-29-04224, № 14-08-00008-а) и Президента РФ (МК-6277.2015.8).

## Литература

- [1] *Osman I. H., Laporte G.* Metaheuristics: a bibliography // *Ann. Oper. Res.* 1996. Vol. 63, P. 513–628.
- [2] *Кочетов Ю. А.* Вероятностные методы локального поиска для задач дискретной оптимизации // *Дискретная математика и ее приложения: сб. лекций молодежн. и науч. шк. по дискретной математике и ее приложениям.* — М.: Изд-во центра прикладных исследований при мех.-мат. ф-те МГУ, 2000. С. 87–117.
- [3] *Норенков И. П.* Эвристики и их комбинации в генетических методах дискретной оптимизации // *Информационные технологии.* 1999. № 1. С. 2–7.
- [4] *Растргин Л. А.* Случайный поиск — специфика, этапы истории и предрассудки // *Вопросы кибернетики.* 1978. Вып. 33. С. 3–16.
- [5] *Bremermann H. J., Roghson J., Salaf S.* Global properties of evolution processes // *Natural automata and useful simulations.* — London : Macmillan, 1966. P. 3–42.
- [6] *Holland J. H.* *Adaptation in natural and artificial systems.* — Ann Arbor : University of Michigan Press, 1975.
- [7] *Schwefel H. P.* *Numerical optimization of computer models.* — Chichester : Wiley, 1981.
- [8] *Еремеев А. В.* Разработка и анализ генетических и гибридных алгоритмов для решения задач дискретной оптимизации: дисс. ... канд. физ.-мат. наук. — Омск, 2000.
- [9] *Goldberg D. E.* *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning.* — Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.

- [10] Boese K. D., Kahng A. B., Muddu S. A new adaptive multi-start technique for combinatorial global optimizations // *Oper. Res. Lett.* 1994. Vol. 16, No. 2. P. 101–114.
- [11] Kirkpatrick S., Toulouse G. Configuration space analysis of traveling salesman problem // *J. de Phys.* 1985. Vol. 46. P. 1277–1292.
- [12] Мухачева А. С., Чиглицев А. В., Смагин М. А., Мухачева Э. А. Задачи двумерной упаковки: развитие генетических алгоритмов на базе смешанных процедур локального поиска оптимального решения // *Информационные технологии. Приложение.* 2001. № 9. 28 с.
- [13] Курейчик В. В., Заруба Д. В., Запорожец Д. Ю. Применение генетического алгоритма решения задачи трехмерной упаковки // *Известия ЮФУ. Технические науки.* 2012. № 7.
- [14] Тимофеева О. П., Соколова Э. С., Милов К. В. Генетический алгоритм в оптимизации упаковки контейнеров // *Труды Нижегородского государственного технического университета им. П.Е. Алексеева.* 2013. № 4(101). С. 167–172.
- [15] Chekanin A. V., Chekanin V. A. Efficient Algorithms for Orthogonal Packing Problems // *Computational Mathematics and Mathematical Physics.* 2013. Vol. 53. No. 10. P. 1457–1465.
- [16] Dequan Liu D., Teng H. An improved BL-algorithm for genetic algorithm of the orthogonal packing of rectangles // *European Journal of Operational Research.* 1999. Vol. 112. P. 413–420.
- [17] Grefenstette J., Gopal R., Rosmaita B., Van Gucht D. Genetic Algorithms for the Traveling Salesman Problem // *Proc. of 1st Int. Conf. on Genetic Algorithms and Their Applications,* 1985. P.160–168.
- [18] Diveev A. I. Small Variations of Basic Solution Method for Non-numerical Optimization // *IFAC-PapersOnLine,* 2015. Vol. 48. No. 25. P. 028–033.

**Авторы:**

Дивеев Асхат Ибрагимович — доктор техн. наук, профессор, зав. сектором проблем кибернетики отдела Нелинейного анализа и проблем безопасности, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН; заведующий кафедрой кибернетики и мехатроники, Российский университет дружбы народов

Шмалько Елизавета Юрьевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, отдел Нелинейного анализа и проблем безопасности, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН



## Solution of two-dimensional packing problem by variational genetic algorithm

A.I. Diveev, E.Yu. Shmalko

Federal Research Center "Computer Science and Control"  
of Russian Academy of Sciences

Vavilova str., 44, Moscow, Russia, 119333,

e-mail: aidiveev@mail.ru, e.shmalko@gmail.com

*Abstract.* This paper presents a new approach to the use of genetic algorithms to solve combinatorial problems. The main difficulty in the application of GAs is to verify the correctness of new potential solutions resulting from recombination. The proposed variational genetic algorithm avoids these difficulties via implementing the genetic operations on the set of small variations of the basic solution. The paper describes the approach and its application for two-dimensional packing problem.

*Key words:* genetic algorithm, combinatorial problems, packing, variations, basic solution

### References

- [1] Osman I. H., Laporte G. (1996) *Ann. Oper. Res.*, **63**:513–628.
- [2] Kochetov Ju. A. (2000) Вероятностные методы локального поиска для задач дискретной оптимизации, In book: *Дискретная математика и ее приложения*. Moscow, pp. 87–117. [In Rus]
- [3] Norenkov I. P. (1999) *Информационные технологии*, 1:2–7. [In Rus]
- [4] Rastrigin L. A. (1978) *Voprosy kibernetiki*, 33:3–16. [In Rus]
- [5] Bremermann H. J., Roghson J., Salaf S. (1966) Global properties of evolution processes, In *Natural automata and useful simulations*. London, Macmillan, pp. 3–42.
- [6] Holland J. H. (1975) *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor, University of Michigan Press.
- [7] Schwefel H. P. (1981) *Numerical optimization of computer models*. Chichester, Wiley.
- [8] Eremeev A. V. (2000) Разработка и анализ генетических и гибридных алгоритмов для решения задач дискретной оптимизации. This. PhD. Omsk. [In Rus]
- [9] Goldberg D. E. (1989) *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Reading, MA, Addison-Wesley.
- [10] Boese K. D., Kahng A. B., Muddu S. (1994) *Oper. Res. Lett.*, **16**(2):101–114.
- [11] Kirkpatrick S., Toulouse G. (1985) *J. de Phys.*, **46**:1277–1292.
- [12] Muhacheva A. S., Chigincev A. V., Smagin M. A., Muhacheva Je. A. (2001) *Информационные технологии*. Приложение, 9. [In Rus]

- [13] Kureychik V. V., Zaruba D. V., Zaporozhec D. Ju. (2012) *Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki*, 7. [In Rus]
- [14] Timofeeva O. P., Sokolova Je. S., Milov K. V. (2013) *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo uni-versiteta im. R.E. Alekseeva*, 101:167–172. [In Rus]
- [15] Chekanin A. V., Chekanin V. A. (2013) *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, **53**(10):1457–1465.
- [16] Dequan Liu D., Teng H. (1999) *European Journal of Operational Research*, **112**:413–420.
- [17] Grefenstette J., Gopal R., Rosmaita B., Van Gucht D. (1985) Genetic Algorithms for the Traveling Salesman Problem, In Proc. of 1st Int. Conf. on Genetic Algorithms and Their Applications, pp. 160–168.
- [18] Diveev A. I. (2015) *IFAC-PapersOnLine*, **48**(25):028–033.

## Семь вычислительных кривых или Велосипед Аполлония<sup>1</sup>

В. Ф. Очков\*, А. Д. Фалькони\*\*

\*Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14

\*\*Высшая инженерная школа (Верacruz, Мексика)  
96500, Мексика, Коацакоалькос, Верacruz, Юсто Сиера 1207

e-mail: ochkov@twi.mpei.ac.ru, adiaz@esiapi.edu.mx

*Аннотация.* В статье предложены новые методы построения кривых, связанных в том числе и с вычислительными операторами сложения (эллипс), вычитания (гипербола), умножения (овал Кассини) и деления (окружность Аполлония). Исследованы свойства кривых по трем другим вычислительным операторам: возведение в степень, логарифм по заданному основанию и корень n-й степени. Подвергнута ревизии теория размерных величин — обоснована возможность и необходимость работы с размерными величинами в показателе степени.

*Ключевые слова:* плоские кривые, вычислительные операторы, графика Mathcad, размерность, анимация.

*Бросая в воду камешки, смотри на круги, ими образуемые;  
иначе такое бросание будет пустою забавою.  
Козьма Прутков*

В школьные годы первого автора статьи многие мальчики мечтали стать космонавтами. В те времена Советский Союз «жил» космосом: запускались спутники Земли, Луну облетали зонды, человек поднимался в космос и т. д. Других особых научно-технических достижений мирового уровня у страны не было. Все это вызвало большой интерес к теории космических полетов, в частности, к небесной механике [1]. На школьных уроках математики, физики, астрономии учителя рассказывали, что спутники (естественные и искусственные) вращаются вокруг планет по круговым и эллиптическим орбитам и о том, как просто можно нарисовать этот самый эллипс — ненамного сложнее, чем окружность (частный случай эллипса). Первый автор статьи после такого урока пришел домой, вбил в стену комнаты два гвоздика, привязал к ним веревочку, натянул ее карандашом и нарисовал на обоях половинку эллипса. Вторую половинку нарисовать не удалось — мать увидела эти «художества» и дала сыну нагоняй... Давайте попробуем дорисовать этот эллипс,

---

<sup>1</sup> Все расчеты, приведенные в статье, доступны на сайте: <https://www.ptcusercommunity.com/thread/137467>

но не на стене комнаты, а на экране компьютера в среде пакета Mathcad 15 — см. рис. 1.

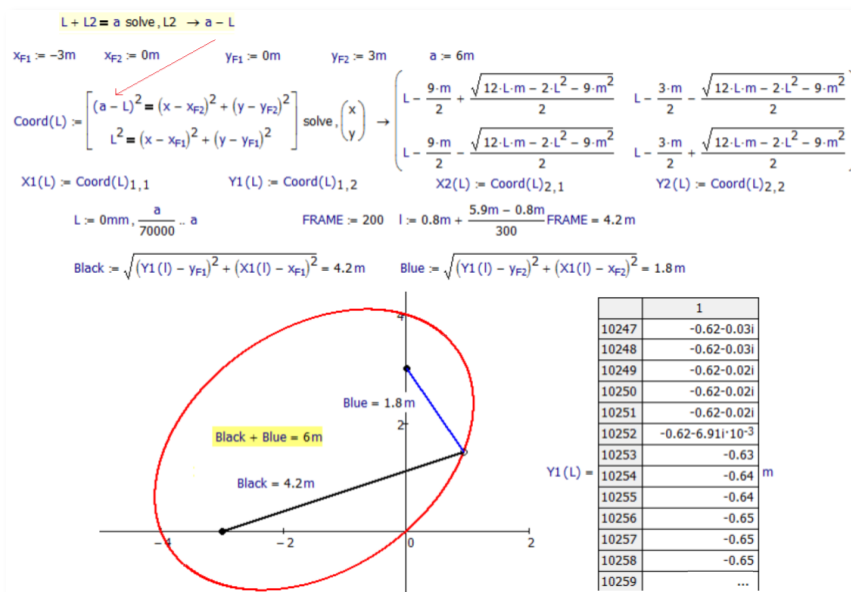


Рисунок 1. Эллипс — сложение (анимация <https://www.ptcusercommunity.com/videos/2089>)

Можно взять алгебраическое выражение эллипса и использовать его для построения этой замкнутой кривой. А можно поступить иначе: вспомнить, что эллипс — это геометрическое место точек на плоскости, сумма расстояний от которых до двух других фиксированных точек (фокусов эллипса) постоянна. Эллипс и другие «вычислительные» кривые, о которых будет рассказано ниже, строились в среде Mathcad так. Решалась система двух нелинейных алгебраических уравнений — находились координаты точек, отстоящих от двух фокусов (их декартовы координаты  $x_{F1}-y_{F1}$  и  $x_{F2}-y_{F2}$ ) на расстояниях  $L$  (на графике **black** — отрезок черного цвета) и  $L2$  (**blue** — отрезок синего цвета; сам же эллипс у нас красный). В систему уравнений заложено «эллиптическое» равенство:  $L + L2 = a$  (при построении других «вычислительных» кривых мы будем менять вид этого равенства). У нашей системы два решения по двум неизвестным  $x$  и  $y$ , которые формируют матрицу с двумя строками (два решения) и двумя столбцами (две неизвестные системы). По этой матрице формируются четыре пользовательские функции с аргументом  $L$  и с именами  $X1$ ,  $X2$ ,  $Y1$  и  $Y2$ , по которым параметрически и поточечно строится сам эллипс. Переменная  $L$  (эль) — это фиксированное значение длины из переменной области  $L$  (range variable), при которой в эллипс вписываются два отрезка, сумма которых постоянна и равна заданному значению переменной  $a$  (6 метров — см.

рис. 1: запомним это, точнее, то, что переменная  $a$  равна не просто шести, а именно шести метрам). Авторская методика расчета, показанная на рис. 1, позволяет строить довольно сложные кривые без какого-либо предварительного вывода заложенных в кривые аналитических зависимостей. В этой методике сочетаются аналитические (символьные) и численные методы решения задачи.

Переменная  $I$  (эль) в нашем расчете на рис. 1 привязана к системной переменной **FRAME**, которая управляет *анимацией* в среде Mathcad [2]. Меняя значения переменной **FRAME** от нуля до, например, трехсот (кадры анимации), можно показывать, как... карандаш, удерживаемый веревочкой, рисует эллипс — см. начало статьи и анимацию здесь <https://www.ptcusercommunity.com/videos/2089>. Анимация рисования эллипса и других замкнутых кривых, описываемых в статье, расположена также на сайте статьи. Там же можно скачать соответствующие расчетные документы пакета Mathcad.

На рис. 1 показана также часть распечатки значений, которые выдает функция **Y1** при заданных дискретных значениях переменной  $L$ . Там есть действительные и комплексные числа. Последние получаются в том случае, если значения переменной  $L$  (аргумент функции **Y1**) не позволяют строить эллипс ( $L > a$ , например). Графика пакета Mathcad игнорирует эти значения и строит эллипс без проблем. Методы построения графиков, предложенные в статье, годятся и для построения замкнутых поверхностей, связанных с рассматриваемыми кривыми: эллипсоидов, гиперболоидов и т. д.

Эллипс на рис. 1 можно рассматривать как орбиту вращения одного небесного тела вокруг другого. Это вытекает из аналитического решения соответствующего дифференциального уравнения, учитывающего силы, действующие на небесные тела. Во времена развития небесной механики как раздела математики и физики были попытки аналитического решения задачи о трех и более небесных телах, подчиняющихся закону всемирного тяготения. Но общего аналитического решения так и не было найдено — были найдены решения только для некоторых частных случаев [1]. В этих поисках взоры исследователей обращались к *эллипсам с более чем двумя фокусами* — к центрам планет и спутников. Такие замкнутые кривые называют  $n$ -эллипсами или по имени человека, впервые их исследовавшего, кривыми Чирнхауза (см. <https://en.wikipedia.org/wiki/N-ellipse>). Этот философ, математик и экспериментатор считается одним из изобретателей европейского белого фарфора, который в начале XVIII века стали производить в саксонском городке Мейсен недалеко от Дрездена. Можно предложить этой порцелановой фабрике, которая успешно работает и поныне, изготовить в честь Эренфрида Вальтера фон Чирнхауса (1651–1708) сувенирную фарфоровую тарелку с формой и рисунком, показанными на рис. 2.

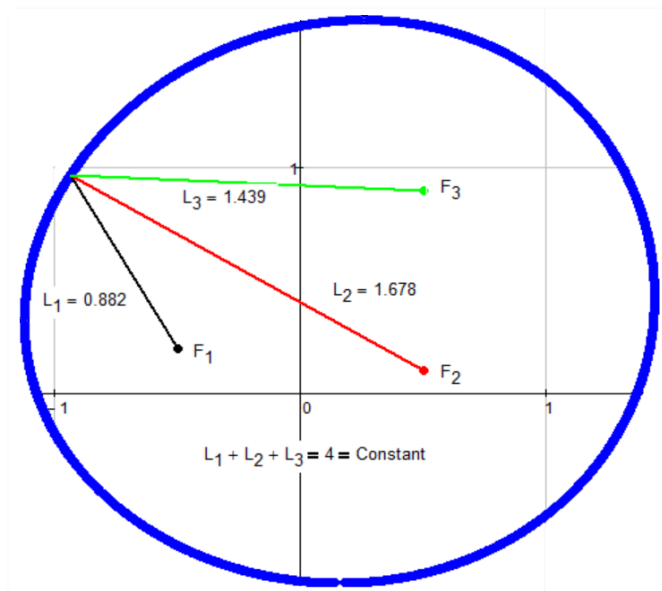


Рисунок 2. Эллипс с тремя фокусами (анимация  
<https://www.ptcusercommunity.com/videos/7045>)

На этой тарелке яйцеобразной формы (а эти кривые еще называют и яйцеобразными<sup>2</sup>), помимо трех фокусов и трех отрезков, сумма которых остается постоянной при рисовании голубой каемки тарелки, можно поместить и другую информацию<sup>3</sup>. Мы в свою очередь можем предложить еще один трехфокусный эллипс, который несложно нарисовать не только на экране компьютера, воспользовавшись методом на рис. 1, но и на ... тех же обоях комнаты, вбив в стенку уже не два, а три гвоздя-фокуса ( $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$ ), привязав веревочку к двум гвоздям ( $F_1$  и  $F_2$ ) и перекинув ее особым образом через грифель карандаша и третий гвоздь ( $F_3$ ) — см. рис. 3.

Можно справиться в интернете, исследованы ли уже кривые, подобные той, малая часть которой показана на рис. 3, найдены ли соответствующие аналитические выражения для декартовых и полярных координат. Этой интересной работой при

<sup>2</sup> Можно «вбить несколько гвоздей в трехмерное пространство», «привязать к ним веревочку» и очертить некое тело в виде настоящего яйца. За работу, читатель!

<sup>3</sup> Сетка графика на тарелке напоминает... тюремную решетку. Это намек на то, что настоящим изобретателем европейского фарфора был не аристократ Чирнхауз, а алхимик Иоган Бёттгер, которого Чирнхауз держал под арестом в «шарашке», созданной специально под этот «фарфоровый проект». Чирнхауз же был директором этого закрытого учреждения — комендантом крепости, где располагался этот «почтовый ящик». Такая практика ведения научно-технических разработок два с лишним века спустя широко использовалась сталинским режимом. Из-за этого мы зачастую не знаем имен истинных изобретателей и авторов разработок, а помним и чествуем только «директоров шарашек».

желании может заняться читатель, увеличивая число фокусов и изменяя порядок перекидывания веревочки через них. Идем дальше.

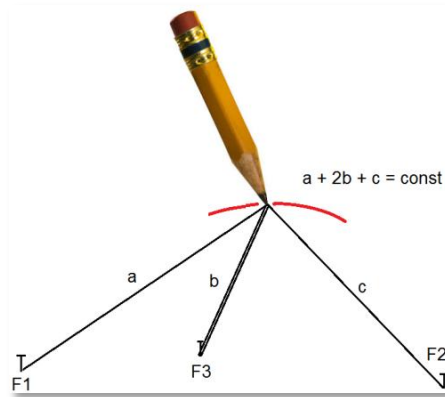


Рисунок 3. Рисование трехфокусного эллипса (анимация  
<https://www.ptcusercommunity.com/videos/7060>)

Если вместо суммы длин отрезков использовать *разность*, то будет построен не эллипс, а другая кривая второго порядка — *гипербола*: см. рис. 4. Она имеет две ветви. Одна из них соответствует разности **black–blue**, а вторая — разности **blue–black**. Объединить эти две разности позволяет оператор абсолютного значения (модуля). Но если не опираться на модуль, а работать с двумя разностями, то допустимо присваивать параметру **a** и отрицательные значения.

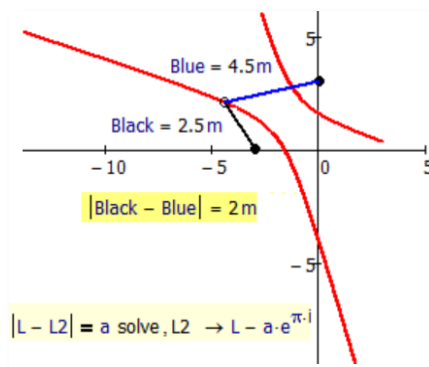


Рисунок 4. Гипербола — вычитание (анимация  
<https://www.ptcusercommunity.com/videos/7035>)

Если же работать не с суммой (см. рис. 1) или разностью (см. рис. 4), а с *произведением* значений отрезков **black** и **blue**, то можно получить так называемый *овал Кассини* — см. рис. 5.

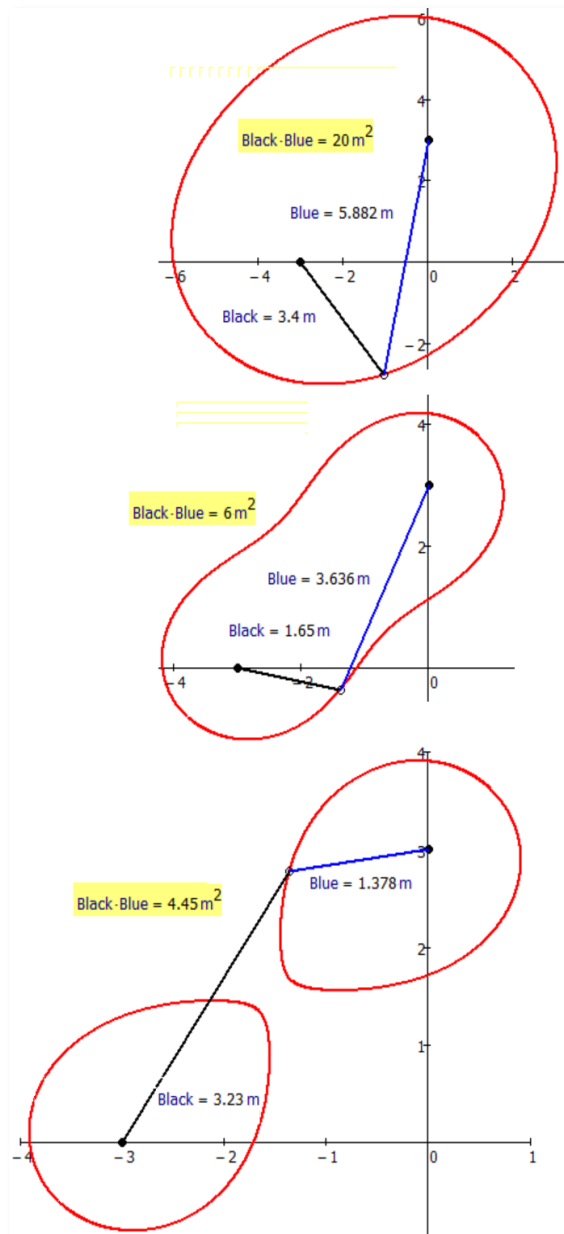


Рисунок 5. Овал Кассини (Cassini) — умножение (анимация  
<https://www.ptcusercommunity.com/videos/7036>)



Овалом (деформированным эллипсом<sup>4</sup>) замкнутые кривые на рис. 5 можно назвать весьма условно. Уменьшение значения параметра **a** (произведения длины отрезка **black** на длину отрезка **blue**) при фиксированных координатах фокусов приводит к тому, что у этого «овала» появляется «талиа» (см. центральную кривую на рис. 5), которая при дальнейшем уменьшении значения параметра **a** «рвет» эту плоскую фигуру на две половинки. Анимация этого процесса напоминает деление живой клетки. Было время, когда полагали, что спутники вращаются вокруг планет не по эллиптическим орбитам (см. рис. 1), а по орбитам, подобным той, которая показана вверху рис. 5. Вернее, велись научные дискуссии по этому поводу, в которых активно участвовал и сам Кассини со своим овалом. Но в конце концов было доказано, что тут «работает» эллипс. Другая же возможная траектория движения небесных тел — это одна из ветвей гиперболы, показанной на рис. 4.

У овала Кассини как и у эллипса может быть более двух полюсов. Такие замкнутые кривые условно (см. ниже) называют лемнискатами («увитыми лентами»). Наиболее известна лемниската Бернулли, которая является частным случаем овала Кассини. У этого овала «нулевой объем талии», который имеет место, если произведение длин отрезков **black** и **blue** равно квадрату половины расстояния между фокусами.

На рис. 6 можно видеть эволюцию лемнискаты с тремя фиксированными фокусами при изменении значения параметра **a**.

Анимация, четыре кадра которой показаны на рис. 6, похожа на то, как на неровную поверхность наливают воду, формирующую отдельные лужи, которые постепенно сливаются в одну. Если же эту анимацию запустить в обратном порядке, то получится картина высыхания лужи. Подобные контуры можно наблюдать у... высыхающего Аральского моря, например.

Располагая разное количество фокусов в различных точках плоскости и задавая разное значение параметра-произведения **a**, можно получать довольно забавные картинки. Так, по адресу <https://www.ptcusercommunity.com/thread/137953> можно видеть овалы Кассини с девятью фокусами, напоминающие ... покемона — объекта одной сетевой компьютерной игры. Как все это строилось, мы расскажем в конце статьи (рис. 14).

Описание лемнискаты как многофокусного овала Кассини можно найти в Википедии. Правда, только в ее русскоязычном секторе. В других секторах (английском, немецком и др.) такого описания нет, что вызывает сомнения в таком толковании термина «лемниската». Обычно говорят о лемнискатах с двумя фокусами особого вида — лемниската Бернулли (см. выше), лемниската Бута и др.

---

<sup>4</sup>Овалом иногда (в англоязычной математической литературе) называют любую замкнутую плоскую кривую. В русском же языке овал, это нечто сугубо гладкое и выпуклое.

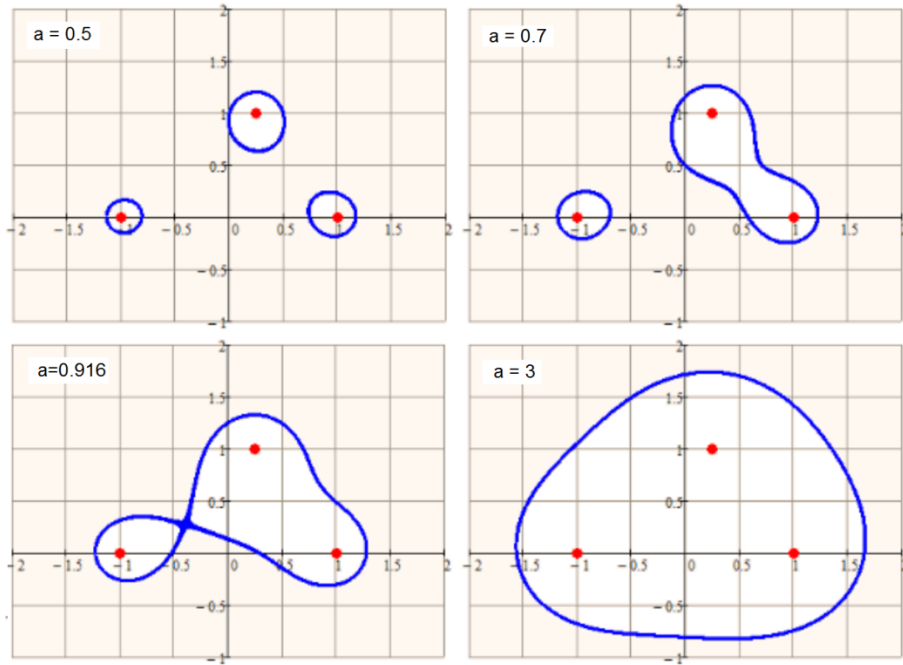


Рисунок 6. Трехфокусная лемниската (анимация с пятью фокусами  
<https://www.ptcusercommunity.com/videos/7061>)

Если фокусы эллипса (см. рис. 1) сместить в одну точку, то получится окружность. Но окружность можно построить и с двумя отделенными фокусами, используя не сложение отрезков, а их *деление* — см. рис. 7.

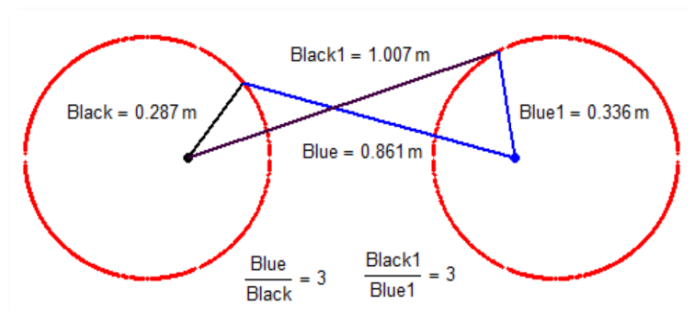


Рисунок 7. Окружности Аполлония — деление (анимация  
<https://www.ptcusercommunity.com/videos/7040>)

Одно из определений окружностей такое: окружность — это частный случай эллипса, при построении которого нужно опираться не на сумму отрезков

(см. рис. 1), а на их деление. Такие окружности имеют имя — *окружности Аполлония*<sup>5</sup>. У окружности Аполлония как и у гипербола две «ветви», показанные на рис. 7. Эти две ветви-окружности получаются из двух дробей: прямой **black/blue** и обратной **blue/black**. Изображение окружностей Аполлония, на которое наложены их определяющие отрезки **black** и **blue**, напоминает... велосипед с рамой и двумя колесами: у Аполлона есть колесница (или квадрига — см. фронто́н Большого театра в Москве или стору́блевую купюру), а у Аполлония... велосипед — а bicycle (англ.), das Zweirad (нем.), двухколесник, «двухокружнник».

Кривые, показанные на рис. 1, 4, 5 и 7 (эллипс, гипербола, овал Кассини и окружность Аполлония) довольно хорошо исследованы [3–5]. Но давайте зайдем в еще не исследованную область, огороженную некими «красными флажками» — теорией размерных величин [6].

Арифметические операторы сложения, вычитания, умножения и деления, задействованные в решениях на рис. 1, 4, 5 и 7, имеют два операнда. В среде Mathcad 15 панель Calculator (рис. 8) кроме этих четырех операторов содержит еще три других вычислительных оператора с двумя операндами: *возведение в степень*, *логарифм с произвольным основанием* и *корень n-й степени*. Все эти семь операторов на рис. 8 выделены прямоугольниками.

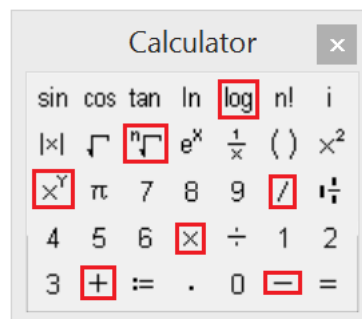


Рисунок 8. Панель калькулятора Mathcad 15

Возникла крамольная идея пропустить через расчет, показанный на рис. 1, и остальные три вычислительные оператора элементарной математики: степень, логарифм и корень, получив *великолепную семерку вычислительных кривых*. Но тут возникла одна проблема, вызвавшая бурную дискуссию у пользователей Mathcad, — см. <https://www.ptcusercommunity.com/thread/137385>.

Дело в том, что при построении кривых, показанных на рис. 1, 4, 5 и 7, была задействована *единица длины метр*. Обычно такие графики строят в безразмерных

<sup>5</sup> Этот древнегреческий математик, кстати, придумал и термин «гипербола» (см. рис. 4).

координатах — длина и все тут: никаких метров, сантиметров, футов или дюймов... Но пакет Mathcad оборудован инструментарием физических величин [7], которым было бы грешно не воспользоваться, например, для контроля правильности ввода формул. Ввел пользователь не ту степень у переменной — расчет без метров это «проглотит»<sup>6</sup> и выдаст ложное решение, а с метром прервет расчет и выдаст сообщение об ошибке. В наших расчетах на рис. 1, 4 и 5 параметр **a** был равен шести метрам (см. рис. 1 — эллипс), двум метрам (см. рис. 4 — гипербола) и 20, 6 и 0.45 квадратным метрам (рис. 5 — овалы Кассини). В расчете на рис. 7 параметр **a** был безразмерным, вернее, имел размерность метр, деленный на метр, но отрезки прямых, по которым строилась окружность Аполлония, по-прежнему имели «метровую» размерность.

Если же мы захотим построить замкнутую кривую с характеристикой **black** в степени **blue**, равной параметру **a**, то в среде Mathcad от единиц длины придется отказаться, т. к. расчет будет прерываться сообщением об ошибке — *показатель степени не может быть размерной величиной*. А собственно, почему мы не можем возводить что-то в размерную степень? Обычно тут следуют возражения в том плане, что нет задач, требующих этого. Но мы сейчас покажем одну такую задачу!

Пусть **2m**, возведенные в **3m**, даст в ответе 8 с размерностью, которую нужно еще обсудить. Пока сделаем допущение, что, эта единица измерения имеет символ **m<sup>m</sup>**. Но это не метр в степени метр, а некий новый символ, отображающий данную метрическую закономерность<sup>7</sup>. Основное возражение против размерной степени сводится, повторяем, к тому, что нет в природе таких физических величин. Но вот наша очередная замкнутая кривая, кривая где **black<sup>blue</sup> = a**, подсказывает, что это совсем не так и что мы можем что-то измерять единицей, где метр возводится в метр.

Кривая, показанная на рис. 9, похожа на овал Кассини с той лишь разницей, что две половинки новой кривой не симметричны, что четко видно в нижней части рис. 9. Эту несимметричность можно рассматривать как графическую иллюстрацию положения о том, что перестановка местами операндов оператора возведения в степень меняет результат. Следствием этого положения является и то, что замкну-

<sup>6</sup> Один участник дискуссии об вычислительных кривых Mathcad опубликовал кривую, построенную по ошибочному безразмерному расчету — в нем разность **a – L** и сама переменная **L** (см. третью строку на рис. 1) не были возведены во вторую степень. Ложный график был построен, но другой посетитель форума заметил эту ошибку. Но лучше, конечно, чтобы сам пакет замечал такие ошибки и не выдавал ложные решения.

<sup>7</sup> Ту нет ничего необычного. В математике и в математических пакетах некоторые операторы и символы нередко трактуются двояко. Выражение **x<sup>T</sup>**, например, в зависимости от ситуации может означать и переменную **x** в степени **T**, и транспонирование матрицы с именем **x**. Так что вполне будет обоснованным толковать **m<sup>m</sup>** (или **cm<sup>cm</sup>**, **m<sup>mm</sup>**, **ft<sup>in</sup>** и т. д.) не только как единицу длины в степени единицы длины, а как нечто иное, делающее правильные пересчеты физической величины с такой размерностью.

тая кривая на рис. 9 имеет две ветви: первая для выражения  $\mathbf{black}^{\mathbf{blue}} = \mathbf{a}$ , а вторая — для выражения  $\mathbf{blue}^{\mathbf{black}} = \mathbf{a}$ . Изменение формы этих двух ветвей при изменении значения параметра  $\mathbf{a}$  показано в анимации здесь <https://www.ptcusercommunity.com/thread/137466>.

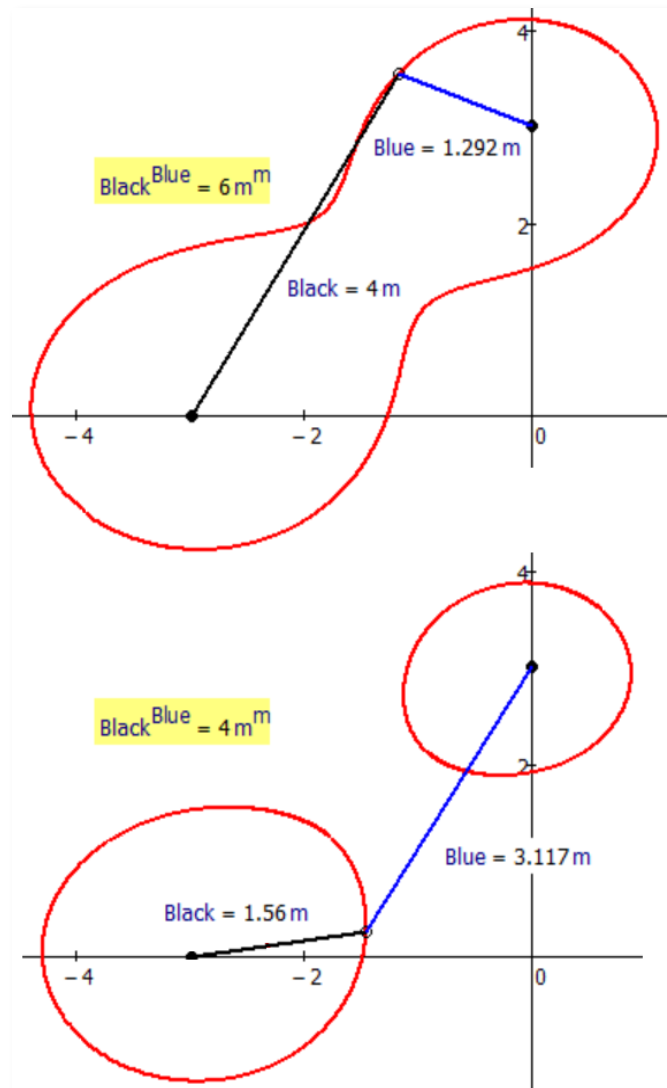


Рисунок 9. Кривая возведения в степень (анимация  
<https://www.ptcusercommunity.com/thread/137466>)

Можно попытаться «засунуть» метр не только в показатель степени, но и в логарифм. Тем более, что уже были прецеденты взятия логарифма размерной вели-

ны — см. рис. 10, где показано вычисление разности логарифмов двух размерных величин — давлений. А такая операция часто проводится в термодинамике.

$$\log(10 \text{ atm}) - \log(1 \text{ bar}) = 1.006$$

Рисунок 10. Логарифм размерной величины

Фокус расчета на рис. 10 в том, что не показано промежуточное вычисление логарифма дроби. Но этот пример тут не совсем уместен. Так что вернемся к нашим замкнутым кривым.

На рис. 11 показана кривая, отвечающая условию  $\log(\text{black}, \text{blue}) = a$ . Тут у семерки ( $a = 7$ ) совсем уж экзотическая единица измерения  $\log(\text{m}, \text{m})$ , которую также еще нужно уметь правильно толковать (см. выше).

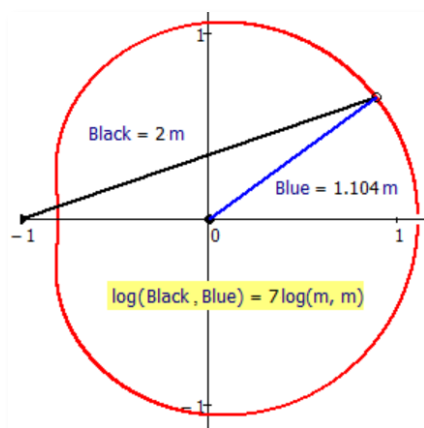


Рисунок 11. Кривая логарифма (анимация <https://www.ptcusercommunity.com/videos/7042>)

Кривая, показанная на рис. 11, также имеет две ветви: первая для выражения  $\log(\text{Black}, \text{Blue}) = a$ , а вторая — для выражения  $\log(\text{Blue}, \text{Black}) = a$ . Изменение формы этих двух ветвей при изменении значения параметра  $a$  показано в анимации <https://www.ptcusercommunity.com/thread/137465>. Тут, как и в случае с гиперболой, параметр  $a$  может иметь и отрицательные значения.

И, наконец, на рис. 12 показана седьмая кривая, отвечающая седьмому двухоперандному вычислительному оператору — взятию  $n$ -го корня числа. Но этот оператор подразумевает в среде Mathcad, что  $n$  — это целое число, большее единицы. Поэтому немного схитрили, заменив корень на степень с обратным показателем.

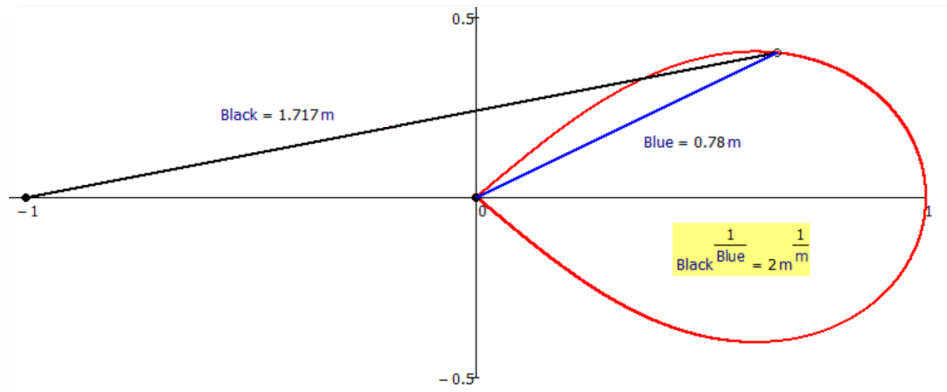


Рисунок 12. Кривая корня  $n$ -й степени (анимация  
<https://www.ptcusercommunity.com/videos/7043>)

Кривая, показанная на рис. 12, также имеет две ветви: первая для выражения  $\mathbf{Black}^{1/\mathbf{Blue}} = \mathbf{a}$ , а вторая — для выражения  $\mathbf{Blue}^{1/\mathbf{Black}} = \mathbf{a}$ .

Попытки авторов найти в литературе или Интернете подобные «незаконно-рожденные» с точки зрения теории размерностей кривые (рис. 9, 11 и 12) не увенчались успехом. Может быть, читателям это удастся. Эти кривые, повторяем, требуют более глубокого математического анализа — нахождения алгебраических выражений, их описывающих, построения квадратур и проч., как это сделано для эллипса, гиперболы, овалов Кассини и окружностей Аполлония.

Начало такого анализа может быть таким. Если, например, нашу экспоненциальную кривую на рис. 9 определить через систему уравнений

$$eq(a, b, c) = \left[ \begin{array}{l} b^2 = x^2 + y^2 \\ a^2 = (x - c)^2 + y^2 \end{array} \right],$$

где  $b = \ln(\kappa)/\ln(a)$ , то она на может быть параметризирована так:

$$x = \frac{c^2 \ln(a)^2 - a^2 \ln(a)^2 + \ln(\kappa)}{2c \ln(a)^2}$$

и

$$y = \frac{\sqrt{\Delta}}{2c \ln(a)^2},$$

где

$$\Delta = \ln(a^a a^c \kappa) \ln\left(\frac{a^a \kappa}{a^c}\right) \ln\left(\frac{\kappa}{a^a a^c}\right) \ln\left(\frac{a^a}{a^c \kappa}\right).$$

В полярных координатах это будет выглядеть так:

$$\cos \varphi = \frac{\rho^2 + c^2 - \kappa^{2/\rho}}{2\rho c}.$$

Обсуждение этого решения можно найти на сайте <https://www.ptcusercommunity.com/thread/137356>.

Вопрос о том, какую размерность и физический смысл должна иметь длина, возведенная в степень длины, остается открытым. Тем не менее, не дожидаясь окончательного решения этой метрологической проблемы, первый автор статьи собирается на своем дачном участке соорудить реальную, «физическую» клумбу по размерам, отображенным на рис. 13<sup>8</sup>. Эта клумба будет иметь реальные *физические* параметры: расстояние между фокусами, длину периметра, площадь и... наш параметр **a** — длину в степени длины. Физическая величина есть, а единицы ее измерения пока нет. Единица **m<sup>m</sup>**, о которой говорилось выше, вызывает споры и сомнения, требует более детального токования. Но какая-то единица измерения тут должна быть, чтобы, в частности, вести пересчеты.

Представим себе, что кто-то в США захочет соорудить себе такую же клумбу, имея в руках рулетку, но не с *метрами и сантиметрами* на делениях, а с *футами и дюймами*. На какое другое число вместо четырех (см. рис. 13) ему нужно будет опираться? Это число также должно иметь размерность. Вопрос о ее виде и сути мы, повторяем, оставляем открытым. Более того, можно попытаться соорудить клумбу, где **black + blue<sup>2</sup> = a**, но это будет уже явным нарушением закона размерных величин: нельзя складывать величину с ее квадратом. Наше же нарушение этого закона по отношению к степенной замкнутой кривой (см. рис. 9 и 13) не так явно. А вот другая сторона этой проблемы. В задачниках по математике можно увидеть такого рода задачи: решить квадратное уравнение типа **2x<sup>2</sup> + 3x - 4 = 0**. При этом ни у кого не возникает мысль, что нельзя складывать квадрат величины с самой величиной. Тут имеется в виду, что коэффициенты при **x<sup>2</sup>** и **x** содержат что-то такое, что позволяет делать такое сложение. Выражение **black + blue<sup>2</sup>**, по которому нужно будет построить кривую, тоже может содержать некие единичные коэффициенты с размерностями, позволяющими складывать длину и ее квадрат (площадь).

<sup>8</sup> Клумба может быть размечена так. Вбиваются два колышка, фиксирующие фокусы этого «экспоненциального овала с талией». Далее на первой рулетке отмеряется отрезок **black** в метрах и вычисляется значение отрезка **blue** тоже в метрах по формуле **ln(4)/ln(black)**. На второй рулетке отмеривается полученное расстояние в метрах и вбивается первый колышек, намечающий контуры будущей клумбы. Операция повторяется с новым значением длины отрезка **black**, пока контур клумбы, отмечаемый колышками, не замкнется. Так, кстати говоря, сам «глупый» пакет Mathcad поточечно строил наши овалы и другие кривые. Человек же без компьютера в таких случаях начинает анализировать зависимости, искать асимптоты, нули и другие особые точки на графике и только после этого рисует в уме или на бумаге кривые качественно, а не количественно.



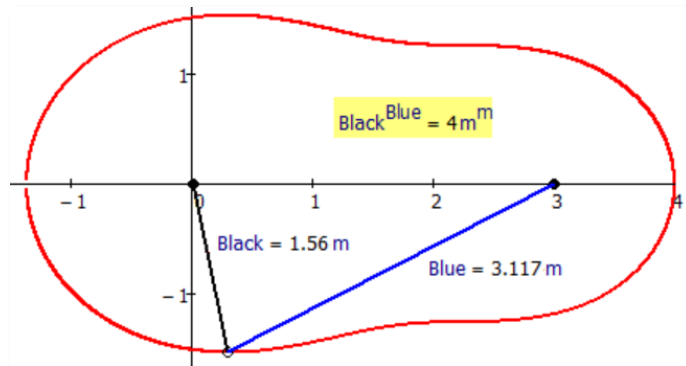


Рисунок 13. Экспоненциальная клумба

Вторая тема статьи такая: современные вычислительные средства позволяют отойти от изощренных и непонятных для многих алгоритмов построения кривых и вернуться к... истокам.

Вспомним, что такое окружность, эллипс, парабола, гипербола и проч., о чем было рассказано выше. Это геометрическое место точек на плоскости, отвечающих какому-то заданному признаку. Давайте же, не мудрствуя лукаво (а это мы делали, создавая расчет на рис. 1), просто-напросто запрограммируем это определение — просканируем ограниченную область плоскости, где могут находиться эти кривые, и отметим точки, отвечающие заданному признаку. На рис. 14 показано построение замкнутой кривой с тремя фокусами, расстояния от которых до кривой отвечает такому условию:  $|\mathbf{Black} + \mathbf{Blue} - \mathbf{Green}| = a$ .

В расчете на рисунке 14 область на плоскости от заданных значений  $x_1$  до  $x_2$  и от  $y_1$  до  $y_2$  разбивается на отдельные точки, из которых собираются в двух векторах  $\mathbf{X}$  и  $\mathbf{Y}$  и выводятся на график только те, какие отвечают заданному свойству кривой. Но, не по условию «равно», а по условию «примерно равно», мы задачу решаем не аналитически, а численно и, следовательно, приближенно. Как говорил один киноперсонаж: «Это не эстетично, зато дешево, надежно и практично». Более «эстетичный» вариант расчета, использующий предварительный анализ зависимостей, и символьное (аналитическое) решение системы уравнений показан на первом рисунке статьи.

На рис. 14 мы получили некий гибрид эллипса и гиперболы — некую *эллипсо-гиперболу*, у которой от эллипса осталась замкнутость кривой, а от гиперболы — две ветви, одна из которых находится внутри другой.

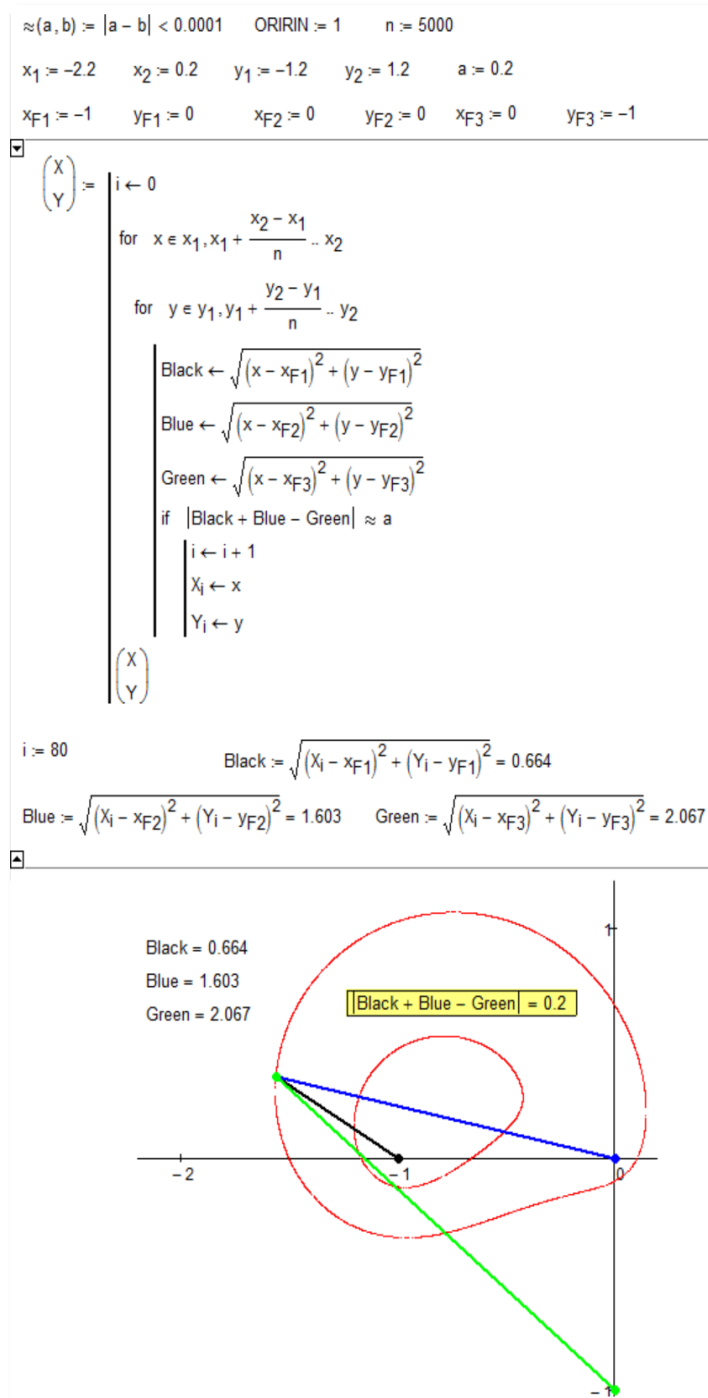


Рисунок 14. Универсальный метод рисования кривых по заданным условиям (анимация <https://www.ptcusercommunity.com/thread/137779>)

Эллипсогиперболой эту кривую можно назвать и потому, что при ее построении использовалась и сумма (эллипс), и разность (гипербола). На сайте <https://www.ptcusercommunity.com/message/458540> можно увидеть в анимации, как эта кривая превращается в эллипс или гиперболу при плавном изменении ее параметров в ту или иную сторону.

«Практичность» же расчета на рис. 14 состоит в том, что его несложно преобразовать так, чтобы можно было работать с любым числом фокусов и любым равенством<sup>9</sup>, задающим вид кривой. Это позволит создавать очень интересные и поучительные кривые не только в «статике», но и в «кинематике» — в анимации. Что мы и сделали. Последний пример на рис. 15.

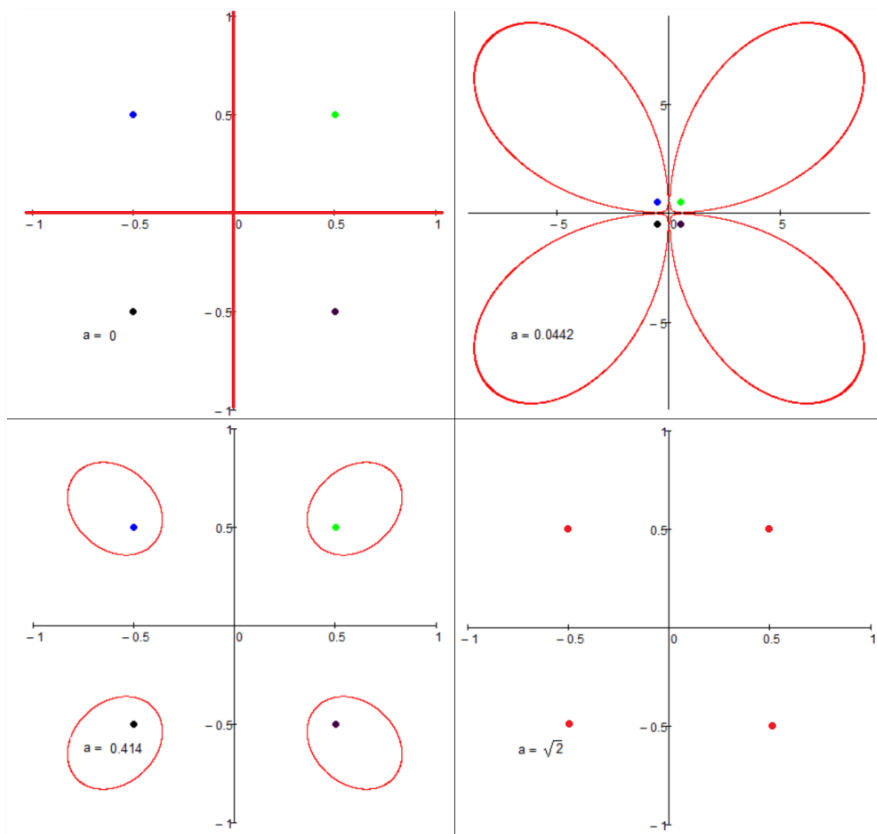


Рисунок 15. Четырехлистник (анимация <https://www.ptcusercommunity.com/thread/137971>)

Кривые на рис. 15 имеют четыре фокуса и отвечают равенству  $|\mathbf{L1} - \mathbf{L2} + \mathbf{L3} - \mathbf{L4}| = \mathbf{a}$ , которое опять же роднит их с эллипсом (сумма) и с ги-

<sup>9</sup> Использование вместо равенств неравенств, кстати говоря, позволит строить не линии, а фигуры.

перболой (разность). При  $a = 0$  мы имеем четыре ветви «гиперболы», которые слились с осями графика. При значении  $a$  больше нуля эта гипербола-крест сворачивается в четыре овала. При значении  $a$ , равном корню из двух, листочки этого четырехлистника сжимаются в точки.

Интересно также отображать наши кривые не только в декартовых, но и в полярных координатах. Если говорить о полярном графике, то тут в среде Mathcad также когда-то были переждены некие «красные флажки»: в последних версиях этого пакета стало возможным отображать и отрицательные значения координаты-радиуса, что является довольно спорным моментом с точки зрения классической математики. Обычно полярные графики используют там, где аргумент меняется «по кругу» — от нуля до 360 угловых градусов. Типичный пример на рис. 16, где отображена самая простая «круговая», вернее, периодическая функция — синус.

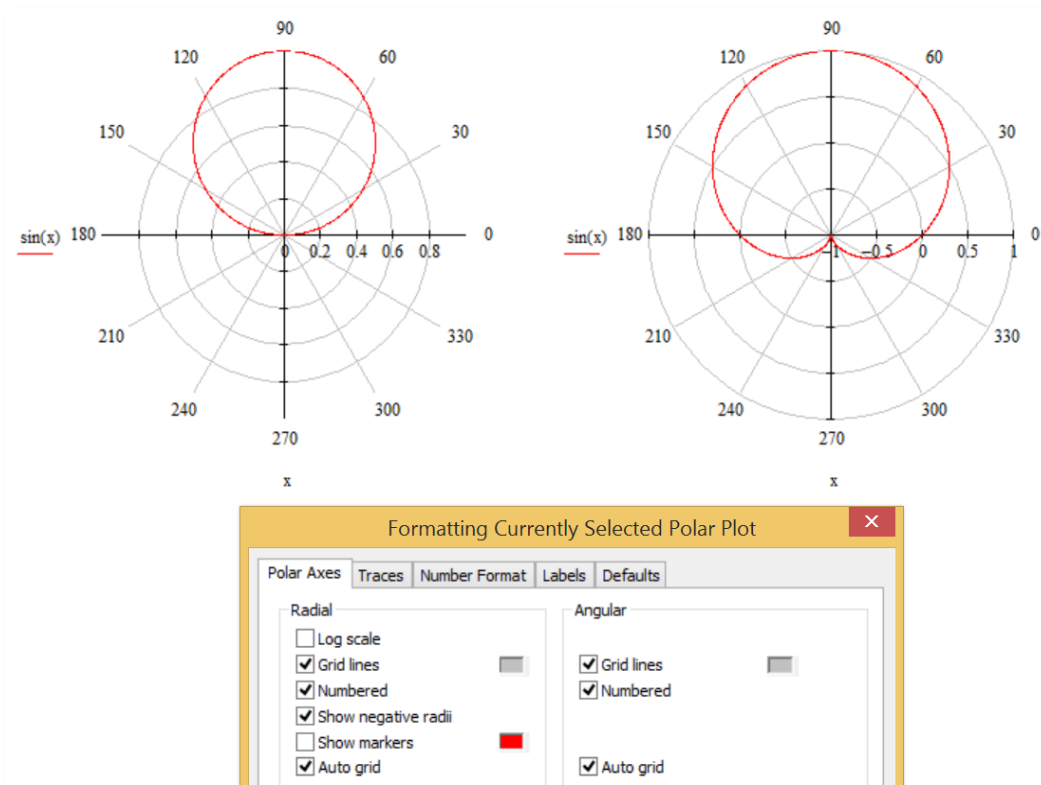


Рисунок 16. Синус в полярных координатах: слева — только с положительными радиусами-координатами, справа — и с отрицательными радиусами-координатами

В окне форматирования полярного графика пакета Mathcad появилась галочка Show negative radii (Показывать отрицательные радиусы), включение которой ме-

няет вид графика синуса с окружности (это фактически не синус, а абсолютное значение синуса) на некое перевернутое сердечко (синус без модуля).

Если попытаться построить в полярных координатах нашу самую простую «вычислительную» кривую — окружность (см. ее декартов график на рис. 7), включив при этом опцию отрицательных радиусов, то можно получить довольно интересные графики — см. рис. 17.

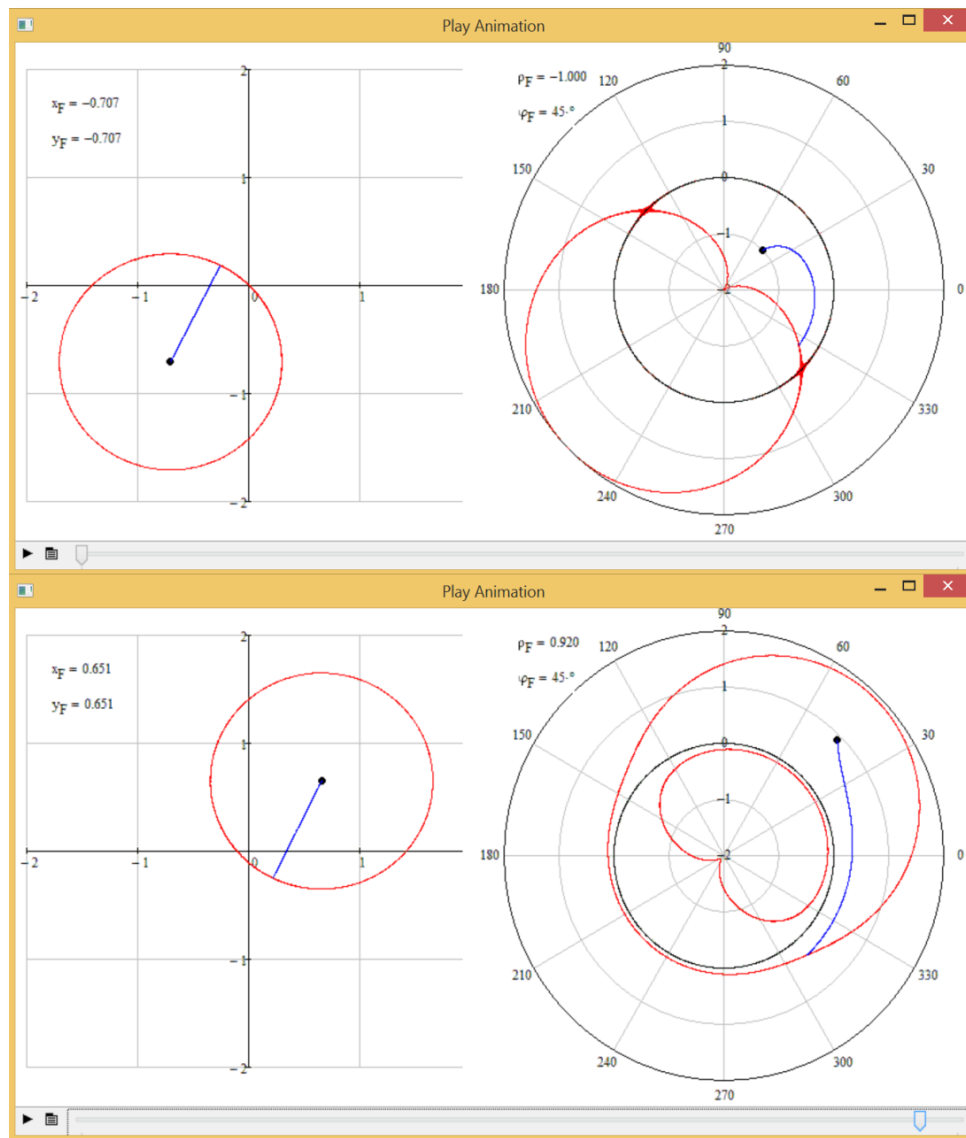


Рисунок 17. Окружность с разными координатами центра на декартовом и полярном графиках

Если же на полярном графике отключить опцию показа отрицательных радиусов, то сердечки и овалы (красные линии) превратятся в окружности, а их криволинейные радиусы (синие линии) выпрямятся, как это отображено на декартовом графике. Кроме того, пропадет вторая «фантомная» окружность. А почему фантомная!? У гиперболы, как известно, две ветви — см. рис. 4. Можно предположить, что и у окружности, эллипса и у других «вычислительных» кривых тоже имеется некомплексная (действительная) вторая ветвь, которую можно увидеть только на полярном графике, «перепрыгнув через красные флажки» — допустив отрицательные значения координаты-радиуса. Мы не даром упомянули здесь комплексные значения — рассмотренные в статье вычислительные операторы и функции, в частности, степень и логарифм имеют в комплексной области довольно сложные графики с несколькими ветвями, с периодичностью и проч.

Читатель может попробовать построить полярные графики шести других «вычислительных» кривых. В практической пользе этой работы можно сомневаться, но графики будут получаться весьма интересными. А это главное в математическом образовании с использованием вычислительных пакетов.

**Выводы.** Современные математические пакеты позволяют сочетать символьные и численные методы при построении кривых, в том числе и заключающих в себе различные аналитические закономерности. Возможно также переходить к истокам — к программированию самих геометрических определений кривых. Дополнив эти построения анимациями, можно наглядно показывать математическую суть кривых, что очень важно в образовательном процессе.

Предложены три новые плоские замкнутые кривые, которые в сочетании с четырьмя уже известными позволили выделить новую условную группу плоских замкнутых кривых — *вычислительных кривых*, основанных на семи основных двохоперандных операторах математики: сложение, вычитание, умножение, деление, возведение в степень, логарифм и корень  $n$ -й степени. В этой семерке пять кривых имеют по две ветви.

Обоснована возможность и необходимость работы с размерными величинами в показателе степени и логарифме.

В настоящее время бурно развиваются образовательные технологии изучения физико-математических дисциплин с помощью компьютера. Данная статья — некий вклад в этот процесс.

**Благодарности.** Авторы благодарны Вернеру Эксингеру (Werner Exinger) за участие в обсуждении статьи и создании некоторых ее анимаций.

**Дополнение.** Когда статья была уже отмакетирована, авторы вспомнили, что есть еще один важный арифметический оператор с двумя операндами — остаток от деления. В среде Mathcad (и во многих других системах) такая функция имеет имя **mod** (деление по модулю). Она, в отличие, например от возведения в степень (рис. 9), логарифма (рис. 11) и корня (рис. 12) не нарушает общепринятых правил работы с размерными величинами:

$$\mathbf{mod(1.5\ m, 0.4\ m) = 0.3\ m.}$$

Проверка:

$$(1.5\ \text{m} - 0.3\ \text{m}) / 0.4\ \text{m} = 3 \text{ (целое число).}$$

Уравнение  $\mathbf{mod(x, y) = a}$  невозможно решить аналитически относительно переменной  $x$  или  $y$ . Поэтому данную кривую нельзя нарисовать по методике, показанной на рис. 1. Тут придется сканировать, чтобы построить кривые, отвечающие равенству  $\mathbf{mod(Black, Blue) = a}$  (первая ветвь) и  $\mathbf{mod(Blue, Black) = a}$  (вторая ветвь) — см. рис. 18.

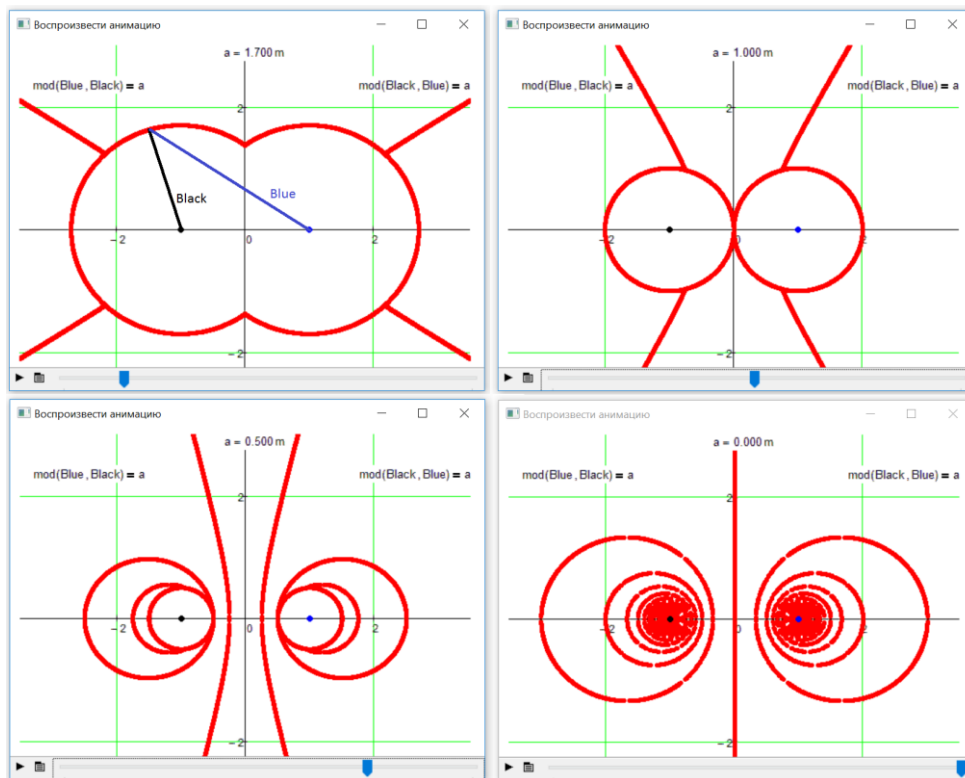


Рисунок 18. Кривые остатка от деления (анимация  
<https://www.ptcusercommunity.com/message/468690>)

Оператор взятия корня  $n$ -й степени (см. рис. 12), честно говоря, в статью вставлен не совсем обосновано, т.к. этот оператор является модификацией оператора возведения в степень (рис. 9). Поэтому «великолепная семерка» вычислительных кривых может выглядеть так: (1) сложение (эллипс), (2) вычитание (гипербола), (3) умножение (овал Кассини), (4) деление (окружность Аполлония), (5) остаток от деления (?), (6) возведение в степень (?) и (7) логарифм по заданному основанию (?). Две последние кривые можно считать кандидатами в «партию вычислительных кривых» из-за нерешенного «метрического вопроса».

Список вычислительных кривых можно дополнять. Читатель сам или со своими студентами может поэкспериментировать в этом направлении.

## Литература

- [1] *Очков В. Ф., Богомолова Е. П., Иванов Д. А., Писачич К.* Движения планет: расчет и визуализация в среде Mathcad или Часы Кеплера // *Cloud of Science*. 2015. Т. 2, № 2. С. 177–215.
- [2] *Очков В. Ф.* Живые кинематические схемы в Mathcad // *Открытое образование*. 2013. № 3. С. 27–33. (<http://tw.t.mpei.ac.ru/ochkov/Mathcad-15/kinematic.html>)
- [3] *Lawrence J. D.* Catalog of special plane curves. — Dover Publications, 1972.
- [4] *Lockwood E. H.* Book of Curves. — Cambridge University Press, 2007.
- [5] *Rutter J. W.* Geometry of Curves. — CRC Press, 2000.
- [6] *Чертков А. Г.* Физические величины. — М. : Высшая школа, 1990.
- [7] *Очков В. Ф.* Физические и экономические величины в Mathcad и Maple. — М. : Финансы и статистика, 2002. ([http://tw.t.mpei.ac.ru/ochkov/Units/Forword\\_book.htm](http://tw.t.mpei.ac.ru/ochkov/Units/Forword_book.htm))

### **Авторы:**

*Валерий Федорович Очков* — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры тепловых электрических станций, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

*Альваро Диаз Фалькони* — профессор, Высшая инженерная школа, Веракруз, Мексика



## Seven computational curves or Apollonian bicycle

Valery F. Ochkov\*, Alvaro Diaz Falconi\*\*

\*National Research University MPEI  
Krasnoznamennay str., 16, Moscow Russia 111250

\*\*Escuela Superior de Ingeniería Ambiental y Procesos Industriales  
Coatzacoalcos, Veracruz, Mexico

e-mail: ochkov@twt.mpei.ac.ru, adiaz@esiapi.edu.mx

*Abstract.* New methods of constructing curves of including with the addition of computational operators (ellipse), subtraction (hyperbole), multiplication (Cassini oval) and division (the circle of Apollonian) are described in the article. Given properties of curves with three other computational operators: exponentiation, logarithm to a given base and root of the n-th degree. To revise the theory of dimensional values - substantiated the possibility and the need to work with dimensional quantities in the exponent.

*Key words:* plane curves, computational operators, Mathcad graph, dimension, animation.

### References

- [1] Ochkov V. F., Bogomolova E. P., Ivanov D. A., Pisachich K. (2015) *Cloud of Science*, 2(2):177–215. [In Rus]
- [2] Ochkov V. F. (2013) *Otkrytoe obrazovanie*, 3:27–33. [In Rus]
- [3] Lawrence J. D. (1972) *Catalog of special plane curves*. Dover Publications.
- [4] Lockwood E. H. (2007) *Book of Curves*. Cambridge University Press.
- [5] Rutter J. W. (2000) *Geometry of Curves*. CRC Press.
- [6] Chertov A. G. (1990) *Fizicheskie velichiny*. Moscow. [In Rus]
- [7] Ochkov V. F. (2002) *Fizicheskie i jekonomicheskie velichiny v Mathcad i Maple*. Moscow. [In Rus]

## Применение объекта-шлюза для записи составных объектов в базах данных

С. В. Логанов

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24

email: svl0965@mail.ru

*Аннотация.* Рассматриваются вопросы сохранения и восстановления составных объектов бизнес слоя в реляционной БД с обеспечением возможности редактирования как самого бизнес-объекта, так и его составных частей. Приводится пример применения объекта-шлюза для чтения и сохранения объектов SWOT-анализа.

*Ключевые слова:* сохранение объектов в БД, отображение данных в БД, шаблоны проектирования, обеспечение слабой связанности и высокого зацепления.

### 1. Роль объекта-шлюза для сохранения бизнес-объектов в БД

Типовой задачей разработки объектно-ориентированных программ является запись объектов модели предметной области в БД. Часто для решения этой задачи по тем или иным причинам невозможно использование различных объектных и объектно-реляционных библиотек, выполняющих эту задачу. Поэтому разработчик объектно-ориентированного ПО вынужден самостоятельно выбирать решение задачи чтения и сохранения объектов.

Для записи простых объектов в БД М. Фаулер [1] предложил использовать шлюз таблицы данных. Это решение основано на создании дополнительного объекта шлюза, на который возлагается обязанность чтения и записи объекта предметной области или бизнес-объекта (рис. 1). Это решение является шаблоном «Чистой синтетики» [2] и обеспечивает хорошее распределение обязанностей для множества бизнес-объектов, имеющих зависимости и простые ассоциации с другими объектами.

В случае если бизнес-объект состоит из множества однородных частей, то для чтения из БД также может быть использован объект-шлюз бизнес-объекта (рис. 2).

Запрос некоторого класса клиента (Client) к контроллеру БД (ControllerDB) на получение составного объекта может быть выполнен, как показано на рис. 3.

При этом контроллер БД обеспечивает чтение объекта DataSet, содержащего таблицы для бизнес-объектов и их составных частей, а объект-шлюз бизнес-

объекта (GBO) выполняет поиск необходимых строк по какому-либо уникальному признаку бизнес-объекта и воссоздает полную структуру этого объекта.

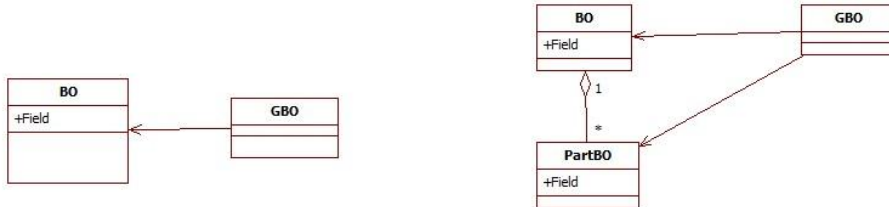


Рисунок 1. Объект — шлюз (GBO) для записи бизнес-объекта (BO) в БД

Рисунок 2. Объект — шлюз для чтения составного бизнес-объекта в БД

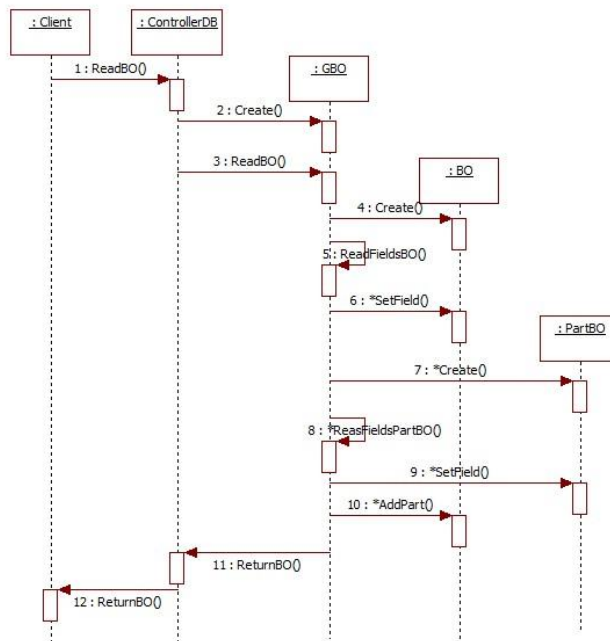


Рисунок 3. Чтение бизнес-объекта из БД

Если необходимо редактирование бизнес-объекта и его составных частей, то объект-шлюз согласно шаблону «Эксперт» также должен содержать собственные части, которые имеют ассоциацию с частями бизнес-объекта и обеспечивают перенос содержимого из DataSet в объекты части и обратно. При этом шлюз бизнес-объекта должен содержать три списка своих частей для новых, прочитанных и удаленных частей бизнес-объекта (рис. 4).

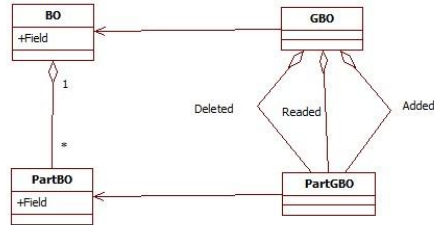


Рисунок 4. Объект-шлюз для чтения и записи бизнес-объекта в БД

При выполнении чтения из БД шлюз бизнес-объекта (GBO) заполняет список прочитанных объектов (PartGBO), у которых имеются ассоциации с оригинальными частями бизнес-объекта (PartBO) (рис. 5).

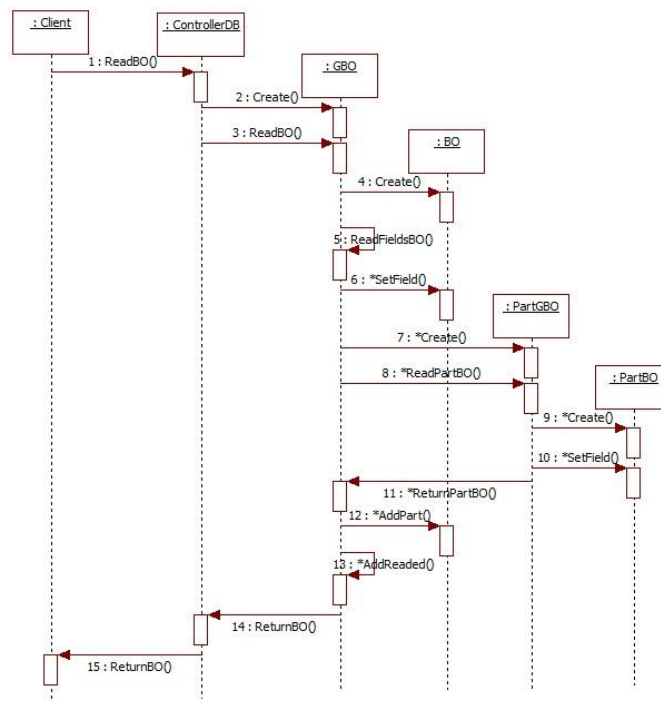


Рисунок 5. Чтение бизнес-объекта с учетом возможной его последующей записи в БД

Тогда редактирование бизнес-объекта и его содержимого некоторой формой EdtForm должно осуществляться с помощью контроллера системной операции (Controller) [2] для обеспечения высокой степени зацепления и малого уровня свя-

занности. Обязанностью данного контроллера является управление двумя объектами: бизнес-объектом и шлюзом бизнес-объекта.

Добавление нового бизнес-объекта и его части, показанное на рис. 6, происходит по запросу формы редактирования и передаче в запросе всей необходимой информации. В случае достаточно большого объема информации, требуемого для создания бизнес-объекта контроллер может открывать дополнительную форму для ввода этой информации.

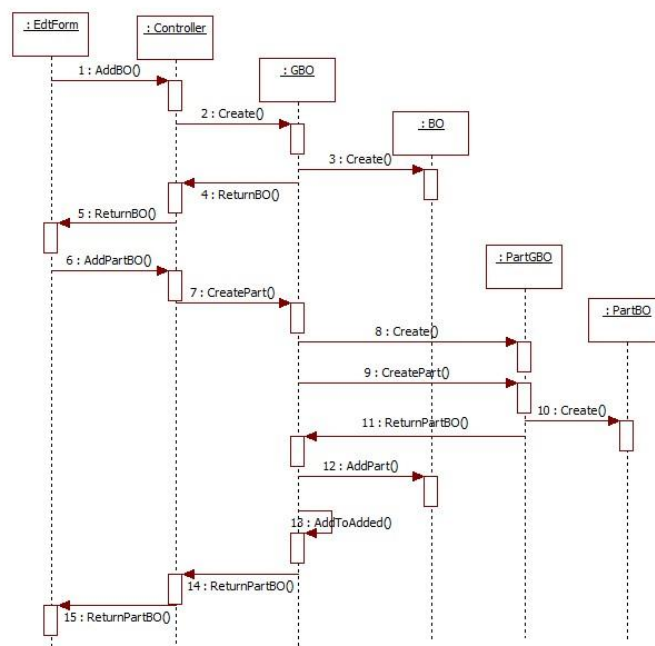


Рисунок 6. Создание бизнес-объекта и добавление в него одной из частей

При выполнении операции добавления создается по одному экземпляру шлюза бизнес-объекта (PartGBO) и самого бизнес-объекта (PartBO), связанных односторонней ассоциацией. При этом экземпляр шлюза бизнес-объекта (PartGBO) помещается в список добавленных объектов.

Созданием объектов частей шлюзов (PartGBO) занимается агрегирующий объект-шлюз (GBO) согласно шаблону «Creator» [2]. Также на основе шаблона «Creator» на объект части шлюза (PartGBO) возложена обязанность по созданию экземпляров частей бизнес-объекта (PartBO), как на объект, выполняющий чтение и сохранение экземпляров данного класса.

Удаление части бизнес-объекта, которая уже существует и прочитана из БД представлено на рис. 7. При выполнении такого удаления часть шлюза бизнес-

объекта (PartGBO) переносится из списка прочитанных в список удаленных частей для последующего их удаления из БД. Удаление части бизнес-объекта, которая была создана в процессе его редактирования, показано на рис. 8 и выполняется простым ее удалением из списка добавленных частей. Признаком, что часть была создана в процессе редактирования, является отсутствие ее в списке прочитанных шлюзов частей бизнес-объектов (PartGBO).

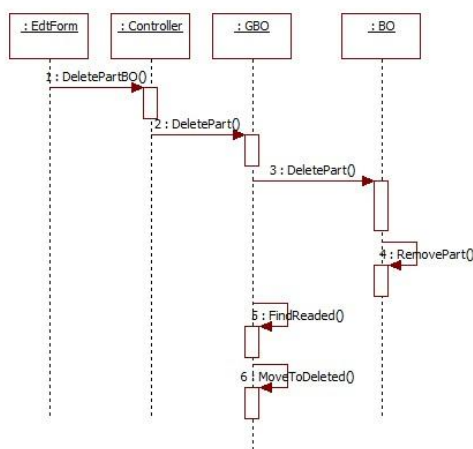


Рисунок 7. Удаление существующей в БД части бизнес-объекта

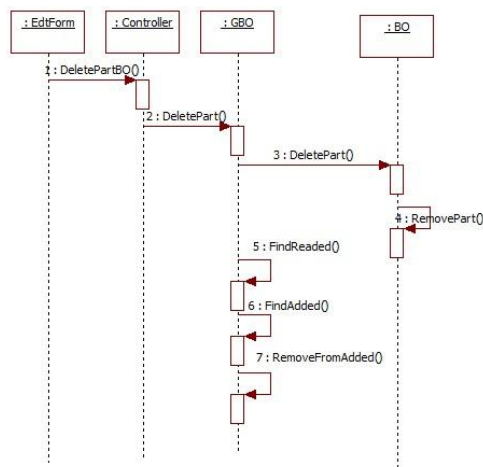


Рисунок 8. Удаление вновь добавленной части бизнес-объекта

Сохранение отредактированного составного бизнес-объекта предполагает обновление записей для частей, оставшихся в списке прочитанных объектов (PG1), вставку новых объектов из списка добавленных частей (PG2) и удаление записей, соответствующих списку удаленных объектов (PG3) (рис. 9).

Полный цикл управления бизнес-объектом можно целиком переложить на его шлюз, обеспечив его и его части возможностью появляться там, где ожидается взаимодействие с оригинальным бизнес-объектом и его частями с помощью наследования (рис. 10). В этом случае в местах, где предполагается редактирование бизнес-объекта должен использоваться объект-шлюз и его части. А там, где бизнес-объект выполняет свои задачи предметной области, он может быть использован непосредственно.

Если же бизнес-объект состоит из нескольких видов частей, то и объект-шлюз согласно шаблону «Эксперт» и «Высокое зацепление» также должен состоять из частей нескольких видов. При этом каждому виду части бизнес-объекта должен соответствовать класс, являющийся частью шлюза этого бизнес-объекта.

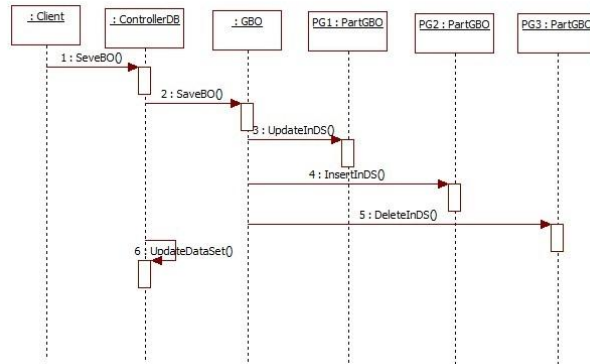


Рисунок 9. Сохранение отредактированного бизнес-объекта в БД

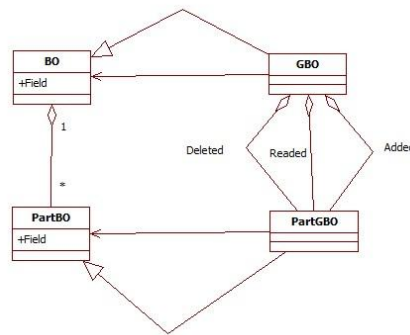


Рисунок 10. Определение объекта-шлюза для замещения бизнес-объекта

## 2. Применение объекта-шлюза для чтения и сохранения объектов SWOT-анализа

SWOT-анализ используется для стратегического анализа сложного социально-экономического объекта по определенным правилам. Согласно этим правилам сложный объект анализируется по четырем направлениям: силы (Strengths), слабости (Weaknesses), возможности (Opportunities) и угрозы (Threats). Каждое направление SWOT-анализа может состоять из множества параметров, обладающих числовой и текстовой информацией, развивающихся во времени. Таким образом, диаграмма классов и диаграмма объектов модели предметной области приложения SWOT-Analysis имеют вид, показанный на рис. 11 и 12.

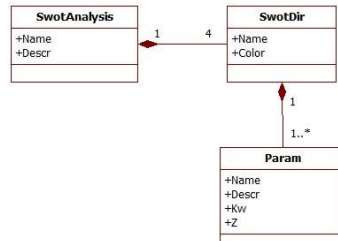


Рисунок 11. Определение структуры классов приложения SWOT-Analysis

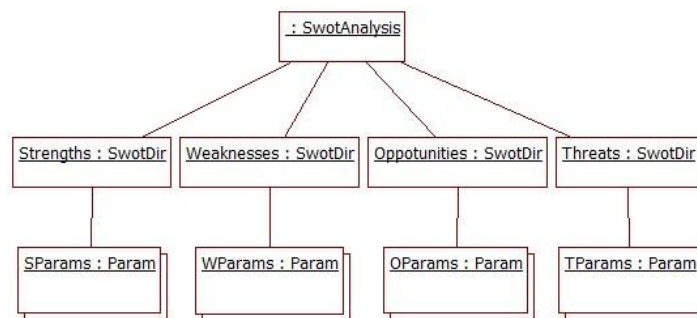


Рисунок 12. Структура бизнес-объектов приложения SWOT-Analysis

Для чтения и сохранения объектов SWOT-анализа в БД необходимо иметь три класса объектов-шлюзов, представленных на рис. 13. Так как направлений SWOT-анализа ровно четыре и их нельзя добавлять и удалять, то класс шлюза SWOT-анализа (G\_SwotAnalysis) имеет только один список прочитанных классов шлюзов — направлений (G\_SwotDir).

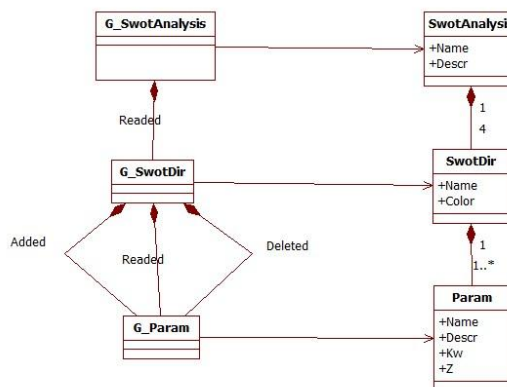


Рисунок 13. Классы шлюзов и классы бизнес-объектов приложения SWOT-Analysis



Каждый шлюз-направления содержит три списка шлюзов-параметров: прочитанные (Readed), добавленные (Added) и удаленные (Deleted).

Структура классов для обеспечения взаимодействия пользователя с параметрами SWOT-анализа представлена на рис. 14. Класс frmSwot обеспечивает отображение имеющихся параметров и возможность выбора способа их сортировки по имени, коэффициенту важности (k), уровню значимости (z), уровню неопределенности (p) и значению (v) (рис. 15). Также эта форма обеспечивает выбор горизонта планирования: настоящее, будущее, перспектива.

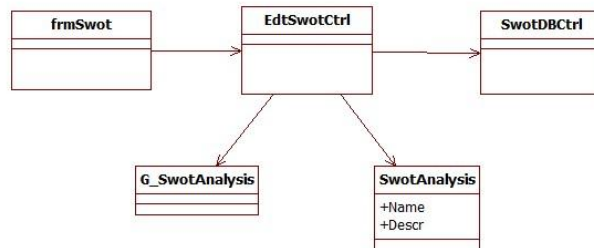


Рисунок 14. Структура классов, обеспечивающих редактирование объектов SWOT-анализа

Силы - Strength	U= 60,66
Сеть продаж	k=0,06
Сильная сеть продаж и сервиса	z= 72,00 p= 70,00 v= 50,40
Сильные технологии	k=0,79
Сильные технологии создания новых продуктов и проектирования	z= 83,00 p= 85,00 v= 70,55
Эффективное производство	k=0,05
Эффективное производство / автоматизированные мощности	z= 55,00 p= 69,00 v= 37,95

Рисунок 15. Внешний вид формы для работы с объектами SWOT-анализа

На контроллер (EdtSwotCtrl) возлагается обязанность управления редактированием объектов SWOT-анализа и выдачу параметров в зависимости от вида сорти-

ровки и выбранного горизонта планирования. Контроллер взаимодействия с БД (SwotDBCtrl) обеспечивает подключение к реляционной БД через ADO.NET, чтение и обновление таблиц, содержащих информацию об объектах SWOT-анализа. Информация из таблиц читается в строго типизированный DataSet (SwotDataSet), который передается объектам-шлюзам в качестве параметра (рис. 16) для выполнения чтения и сохранения соответствующих бизнес-объектов (объектов SWOT-анализа).

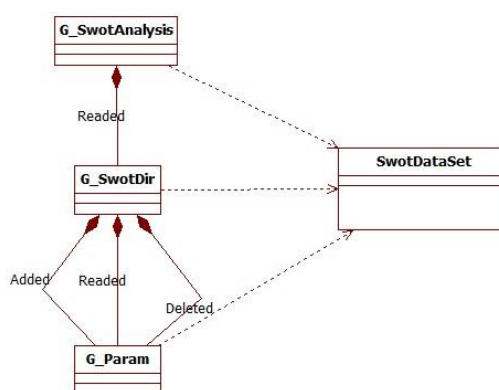


Рисунок 16. Зависимость классов шлюзов от класса DataSet, читаемого и сохраняемого в БД

На рис. 17 показан процесс чтения и создания объектов SWOT-анализа объектами-шлюзами на основе информации, извлекаемой из DataSet. На рис. 18 показана структура операции чтения параметров отдельного SWOT-направления.

По завершении чтения объект контроллера редактирования (EdtSwotCtrl) связывается с объектом формы (frmSwot), который запрашивает у него соответствующие атрибуты SWOT-анализа и отсортированный список параметров.

Изменения значений параметров выполняются непосредственно в бизнес-объектах (Param) и не требуют взаимодействия с контроллером редактирования.

Обращения к операциям добавления и удаления параметров SWOT-анализа передаются контроллеру редактирования (EdtSwotCtrl), и их структура представлена на рис. 19 и 20.

Вызов операции сохранения в БД также передается в контроллер редактирования EdtSwotCtrl и выполняется с участием контроллера взаимодействия с БД (SwotDBCtrl). Структура выполнения этой операции представлена на рис. 21 и 22.

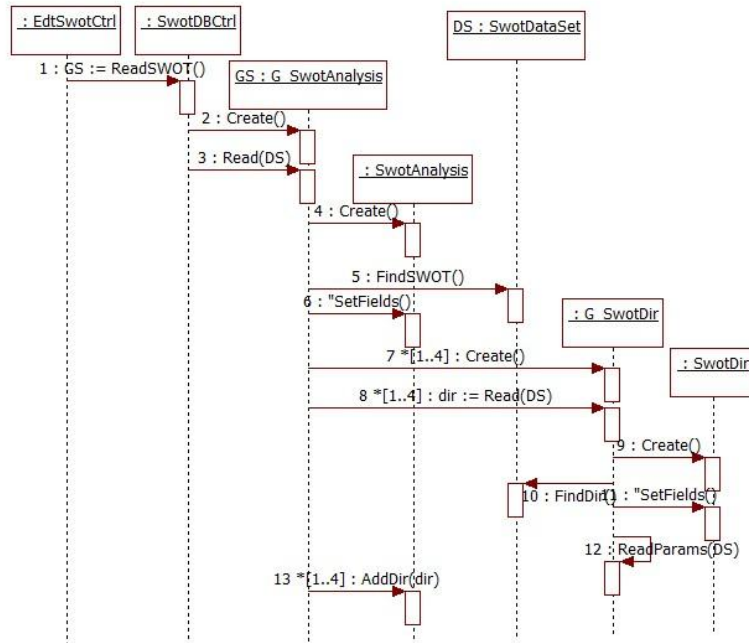


Рисунок 17. Чтение объектов SWOT-анализа и формирование объектов-шлюзов

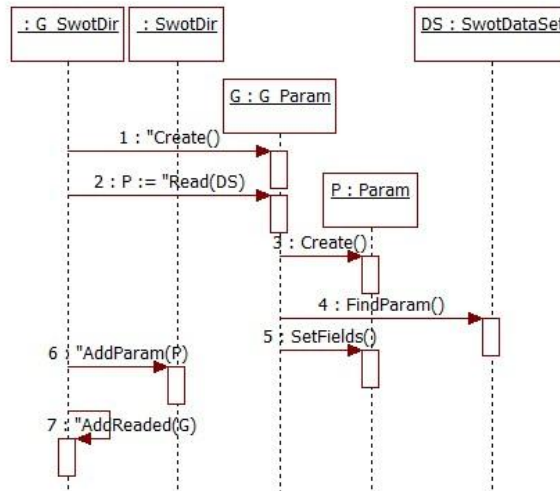


Рисунок 18. Последовательность выполнения операции ReadParams(DS)

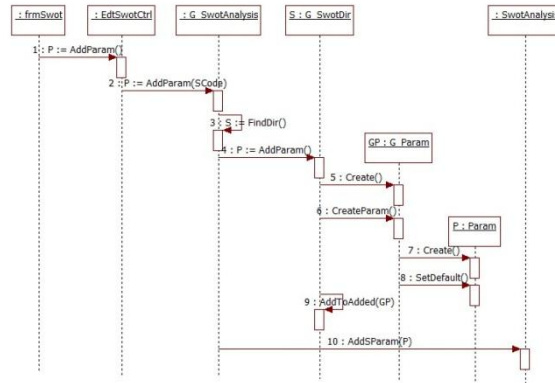


Рисунок 19. Добавление нового параметра в SWOT-анализ

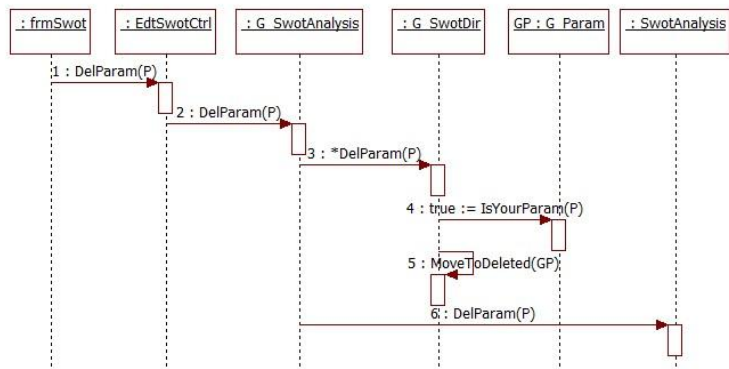


Рисунок 20. Удаление параметра SWOT-анализа, существующего в БД

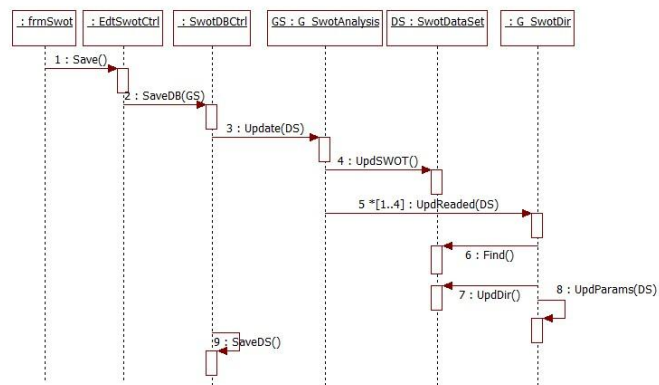


Рисунок 21. Сохранение отредактированных объектов SWOT-анализа в БД

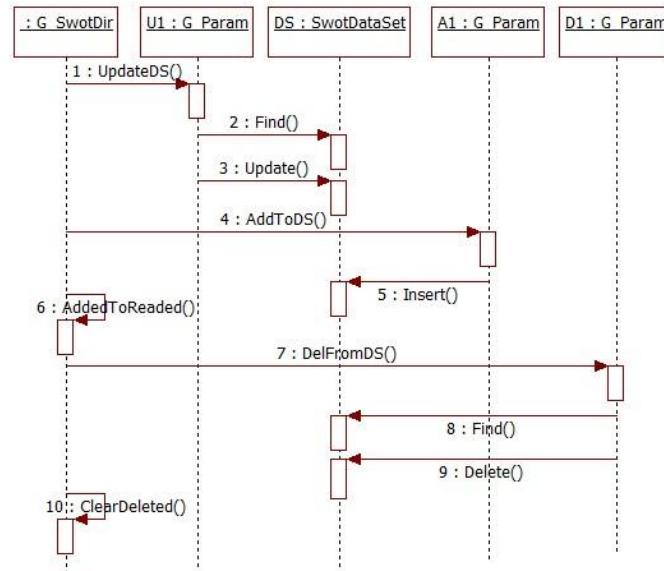


Рисунок 22. Последовательность выполнения операции UpdParams(DS)

Разработанное приложение для выполнения SWOT-анализа написано на языке C# с использованием VisualStudio 2012. Для выполнения этого приложения требуется NETFramework версии не ниже 4.5, который поставляется в Windows 8.1 и выше. После запуска приложения требуется в меню «Файл» открыть базу данных Access (SWOT\_DB.mdb) (рис. 23), содержащую необходимую информацию. После этого станет доступным пункт меню «2\_SWOT», с помощью которого отображается форма, показанная на рис. 16.

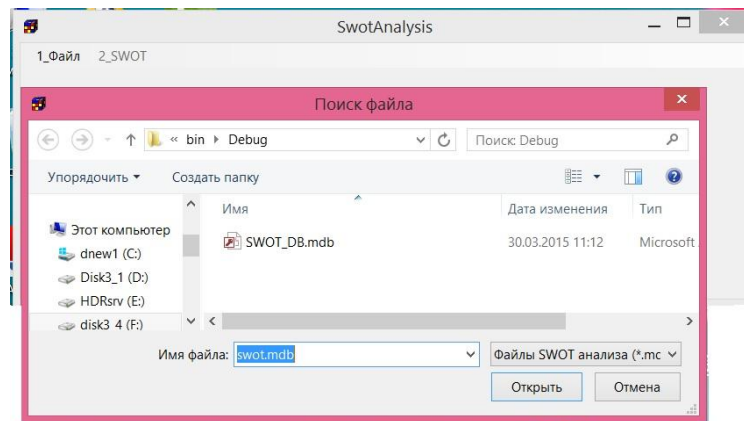


Рисунок 23. Открытие БД, содержащую объекты SWOT-анализа

### 3. Заключение

Предложено применение шлюза бизнес-объекта для сохранения и восстановления составных объектов бизнес-слоя с возможностью обеспечения редактирования как самого бизнес-объекта, так и его составных частей. Определена структура шлюза бизнес-объекта, обеспечивающая корректное обновление объектов модели предметной области в реляционной БД. Предложена структура универсального шлюза, обеспечивающего редактирование бизнес-объектов без использования контроллера управления.

Разработано приложение SWOT-анализа, демонстрирующее применение объекта-шлюза комплексного бизнес-объекта для обеспечения его независимости от процедур чтения и сохранения в долговременной памяти.

### Литература

- [1] *Мартин Ф.* Архитектура корпоративных программных приложений : пер. с англ. — М. : Изд. дом «Вильямс», 2006. 544 с.
- [2] *Ларман К.* Применение UML2.0 и шаблонов проектирования. Введение в объектно-ориентированный анализ и проектирование: учеб. пособие : пер. с англ. — М. : Изд. дом «Вильямс», 2008. 736 с.

**Автор:**

*Сергей Викторович Логанов* — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Компьютерные технологии в проектировании и производстве», Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

## Usage gateway object to saving composite business objects in relation database

*S. V. Loganov*

*Nizhny Novgorod state technical university n.a. R. E. Alexeev  
Minina str., 24, Nizhny Novgorod, Russia 603950*

*email: svl0965@mail.ru*

*Abstract.* The solution to the problem of the preservation and restoration of composite objects in the business layer in a relational database with the capability of editing the business object and its constituent parts. Applying pattern "Pure fabrication" for writing and reading composite objects of the domain model. Described an example of application of object-gateway to read and save the objects of the SWOT analysis.

*Key words:* storing objects in databases, data mapping, design patterns, providing low coupling and high cohesion.

### References

- [1] *Fowler M.* (2003) *Patterns of Enterprise Application Architecture.* Addison-Wesley.
- [2] *Larman C.* (2004) *Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development,* 3rd Edition. Addison-Wesley.

## Analysis of CloudStack Platform Suitability for Management of Different Cloud Infrastructure Configurations

D. Y. Ilin\*, \*\*, M. E. Volovich\*, V. V. Filatov\*

\*Moscow Technological University MIREA  
Vernadsky Avenue, 86, Moscow, Russia 119571

\*\*Moscow Technological Institute  
Leninskiy pr., 38A, Moscow, Russia 119334

e-mail: [ildmitryilin.com](mailto:ildmitryilin.com), [ivolovich.me](mailto:ivolovich.me), [filv@mail.ru](mailto:filv@mail.ru)

*Abstract.* This article discusses suitability of CloudStack platform for different configurations. In this paper we review cases of platform usage in commercial and non-commercial organizations. We summarized CloudStack out of the box functionality and rated functionality extension possibility based on public information resources. Also, we estimated possible expenses related to this platform usage. As the result, different cases of CloudStack suitability have been determined.

*Key words:* cloud platforms, virtual machines, open source systems, virtualization, CloudStack, hypervisor, IaaS.

### 1. Introduction

Cloud platforms are valuable for load balancing of independent tasks with different priorities. There are a lot of different platforms presented at the market, which provide functionality for virtual machine management on multiple hosts. It is meaningful to review one of presented systems with the goal to determine the best and the worst conditions for its usage. We will review CloudStack platform, which is a well-known free solution with open source. The research includes collecting of information from public sources, execution of installation and configuration experiments to discover possible flaws during the product evaluation.

Thus, the main topic of the article is analysis of CloudStack functional capabilities, and determination of the most applicable conditions for the CloudStack usage.

IaaS (infrastructure as a service) [1] provides access to compute resources, networking, storages. Usually, that kind of service is implemented using virtualization technology, yet it is possible to implement a solution based on hardware compute resource management (this approach is similar to virtualization) [2]. The most known IaaS open source systems are Eucalyptus, Nimbus, OpenNebula, CloudStack, OpenStack. There are a lot of proprietary systems, such as VMWare [3], Amazon EC2, Windows Azure, Google Compute Engine and others [4].



The main developer company at present is The Apache Software Foundation, and the solution is licensed under Apache License 2.0 [5]. The platform is in active development, has a good documentation base and supports wide number of hypervisors, which proves its relevance.

CloudStack is a management panel for data center compute resources. Such companies as Zynga, Nokia Research Center, Cloudcentral and others built their cloud solutions based on this platform [6]. Another example of usage is Citrix CloudPlatform. It requires mentioning that development of CloudStack platform was maintained by Citrix company for a while.

CloudStack system is independent as a control panel, yet it requires a hypervisor and an agent installed on every host for monitoring and management.

CloudStack works with libvirt [7] which provides uniform view of virtualized resources [8]. This library supports wide number of hypervisors:

- XenServer/XCP;
- KVM;
- Hyper-V;
- VMware ESXi with vSphere;
- BareMetal (via IPMI);
- LXC.

Administration panel interface supports:

1. Management of running VM instances, management of templates, snapshots and ISO-images.
2. Tools for global and per-instance monitoring of resources in use at the moment of time.
3. Logging of system events.

The system provides rich API, which includes support of Amazon EC2 API and Amazon S3 API [5].

It contains Adapter Framework for modifications to make it suitable for business use-cases. It supports plugins for subsystems such as user interface or inner components.

Each instance has separate compute resources in terms of security. The system allows role and user management. CloudStack provides functionality to monitor networking, compute resources and hard drive storage.

Automation functionality provides ability to make snapshots manually and using schedule. The platform supports integration with software and hardware firewalls and load balancers, including F5 and Netscaler, manages network services such as DHCP, NAT, Firewall [9], VPN etc.

With ESXi the platform uses vCenter API [10]. According to this fact, we can assume that platform integration into existing infrastructure built on VMware can be relatively simple.

The platform has advanced administration tools such as a web interface for cloud infrastructure management [11] as well as ability to integrate CloudStack with console designed by Rightscale. It has documentation for basic installation and configuration.

Below is a Table 1 with main list of specifications of the platform.

Table 1. List of specifications of the platform

Host platform	Linux (CentOS 6.5, also Ubuntu 12.04 for control panel)
User roles	Yes. User roles and separate zones.
Ticket system (Resource requests)	No
Terminal client	SSH, VNC
Hypervisor support	libvirt (KVM, Xen, VMware ESX, Hyper-V, OpenVZ, LXC, BareMetal)
Storage types	Primary storage (for instances): For XenServer: NFS, iSCSI, PreSetup. For KVM: NFS, SharedMountPoint, RDB, CLVM, Gluster. For vSphere: VMFS (iSCSI or FiberChannel), NFS. For Hyper-V: SMB/CIFS. For LXC: NFS, SharedMountPoint. For OVM: NFS, ocfs2.  Secondary storage (for templates and images): NFS, SMB/CIFS, S3, Swift
Image management	Yes
Image types	For XenServer: VHD. For KVM: QCOW2, RAW, VHD, VMDK. For vSphere: OVA. For Hyper-V: VHD, VHDX. For LXC: TAR. For OVM: RAW. For BareMetal: BareMetal.
Integration	Provides REST API, which has GET/POST methods for 3 main zones: Root, Domain Admin, User. Results of requests are available as XML/JSON. Includes support of Amazon EC2 API and Amazon S3 API
Customization	Yes, provides instrument named Adapter Framework
Monitoring	Installs cloudstack-agent to each compute node. Shows resource consumption summary for the whole cluster and single guest machine. Provides IO operations report for each guest machine.
Load balancing	Yes, based on the documentation. Automates load balancing of compute, networking and storage resources using physical infrastructure based on load balancing policies

Table 1. Ending

VDI Implementation	Could be implemented using XenDesktop
Backups	Migration, snapshots
Automation	No automation for deployment of new compute nodes. Allows custom user-defined scripts
Use case	Cluster
Product costs	Free
Deployment costs	Average (Requires experienced engineer skills for deployment)
Maintenance costs	High (Requires experienced engineer skills for support)
Vendor support	No vendor support. Other companies offer paid support services.
Documentation	Clear documentation for basic configuration. No documentation for advanced configuration. Mature community.
Training courses	ShapeBlue company offers wide number of training courses
Available since	May 2010
License	Open Source (Apache license 2.0)
Programming languages	Java, C
Developer	The Apache Software Foundation

## 2. Model and method

CloudStack platform usage has its pros and cons, which makes analysis of the platform suitability to the goal necessary.

The system has a wide community, which actively participates in development, it also assists with additional tasks such as text translations, documentation and so on. The community also provides main support for developers and maintains a list of recommendations for product installation and configuration.

Despite the fact that the platform is well-known, it is not popular. According to information from public sources, installation and configuration process requires significant time and sufficient expert qualification. This statement has been proven during an experiment, so that affected the estimate of deployment and maintenance costs. Also, at the moment, there is no proof of the possibility to create an instance which will utilize all available hardware resources.

We've performed research of CloudStack suitability for a compute cluster. The result shows that CloudStack has its advantages over commercial solutions in heterogeneous environment only, when hosts have different hypervisors. Such advantage is achieved by the fact that every host in CloudStack-based cluster has installed agent, which interfaces with hypervisor and monitors system state (Fig. 1).

Due to this approach, as it is shown on the Fig. 1, the system provides unity of cluster nodes, regardless of hardware and software specifications [12]. With support of multiple hypervisors it is possible to achieve profitable terms using Hyper-V in union with

Windows Server, because Microsoft offers preferential licensing terms. Also, usage of CloudStack platform could be suitable if data center resource expansion strategy is not determined yet. One physical host is acceptable for platform deployment, so it allows to plan scaling strategy with minimal costs.

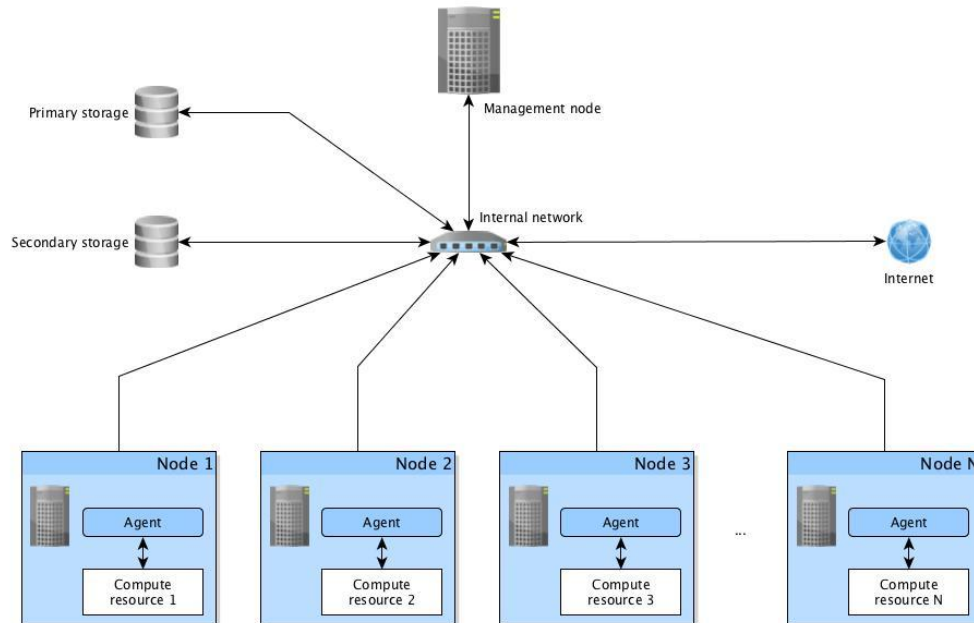


Figure 1. CloudStack deployment scheme for heterogeneous environment

This agent-based architecture has its benefits, but it has no advantages with cluster based on NUMA-architecture. Most of the key features are excess in such environment (fig. 2).

As it is shown on the Fig. 2, the key feature of the system to integrate different compute nodes isn't in use. Simpler software products are preferable for that kind of environment, because computing resources of NUMA-architecture cluster are shared between all nodes [13]. Such products have appropriate functionality while the CloudStack functionality is excess. It is not recommended to use the platform in homogeneous environment, because of the product complexity.

CloudStack does not offer more advanced migration tools than other systems presented at the market. There is no public information on seamless migration functionality for migration between different hypervisors.

Despite the presence of step-by-step instructions on the project website, deployment of cloud infrastructure based on CloudStack is not a trivial task. During the configuration

experiments we've encountered an issue that the system is not solid enough for modifications. Therefore, any configuration changes have to be tested prior to integration to the production environment.

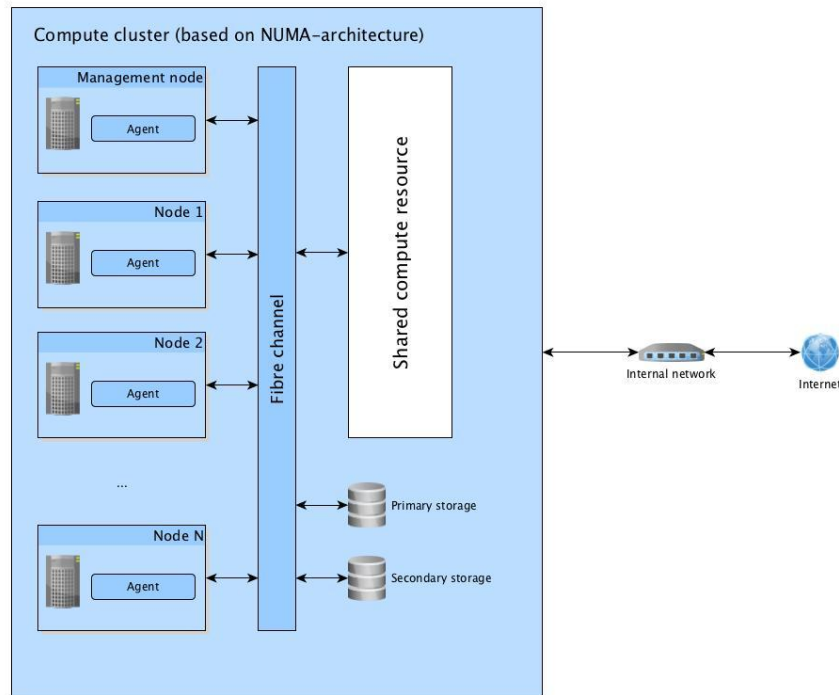


Figure 2. CloudStack deployment scheme for homogeneous environment

Modification without sufficient control could lead to different issues. For example:

- Inaccessibility of primary or secondary storage using NFS connection;
- Inaccessibility of VM instances using SSH or VNC client (including internal CloudStack tools).

Troubleshooting takes significant efforts in most cases. One of the reasons is insufficient logging: log files contain very limited information on issues. Despite the large community, probability of successful finding of a solution by issue description is small. It could be related to the fact that the platform is being used for companies internal purposes mostly and it doesn't have public community-managed solutions

Administration panel offers rich management functional, but provides poor user experience. System notifications aren't verbal for proper understanding. For example, it isn't clear, which issue represents "Alert" VM status and what is the current state of the VM instance. At this moment of the platform development it is not suitable for end users and it does not have integrated ticket system for resource requests. Among the other cloud

platforms such ticket system is presented in VMWare products only. Default CloudStack administration functionality is suitable for highly qualified personnel solely. The platform requires additional efforts to develop user interface suitable for commercial use.

CloudStack has no centralized repository with VM templates and images. It increases required efforts during the preparation of new VM templates for further instance creation. Process of ISO-image downloading is not clear enough, because current progress could be found on the detail information page under “Zones” section only, which is not obvious.

During one of deployment experiments, the product version 4.5 has been removed from public access due to malfunction issues. It leads to concerns about the system production use suitability.

One of the platform traits is usage of additional virtual machines for internal purposes. These instances have two types: Console Proxy VM; Secondary Storage VM.

The first type serves as proxy for establishing a connection to the VM instances using web-interface. The second one serves for management of secondary storage, which contains VM templates and ISO-images of operation systems [7].

CloudStack offers wide number of extension instruments, because it has API for external services, has its own framework for custom modifications, and it is an open source project.

The product vendor does not offer commercial support, but there are some third-party companies which can offer paid support services.

### 3. Conclusions

As the result of research, we reviewed the CloudStack platform, analyzed its functionality and reviewed other characteristics, which are valuable for building up a cloud infrastructure.

Usage of CloudStack without additional development is applicable to organization internal purposes only and it is not suitable for end user. It corresponds with high qualification requirements for personnel.

CloudStack integration and maintenance have differences from the same activities for commercial solutions. Most of expenses should be expected for maintenance services, specifically for technical personnel. Additional expenses would be necessary for test environment setup and maintenance because it is strongly suggested to compensate low modification stability.

The system is the most unsuitable for installation to a NUMA-architecture cluster, as well as for installation to a single host machine. Yet, installation to a single host is acceptable if expansion of hardware and software systems is expected.

Better results in comparison to other platforms could be achieved in case of heterogeneous environment, connected by a local network and without shared resources. Under such conditions the CloudStack platform provides an ability to manage all nodes regardless of operation system or hypervisor. Thus it allows to expand cloud infrastructure as needed and minimize possible costs in process.

## References

- [1] Jamsa K. (2012) Cloud computing. Jones & Bartlett Publishers.
- [2] Pluzhnik E., Nikulchev E., Payain S. (2014) Optimal control of applications for hybrid cloud services. In Proceedings 2014 IEEE Tenth World Congress on Services (SERVICES 2014) IEEE, p. 458–461.
- [3] Pluzhnik E., Nikulchev E. (2014) Virtual laboratories in cloud infrastructure of educational institutions. In 2nd International Conference on Emission Electronics (ICEE) Selected papers, p. 67–69.
- [4] Kudryavtsev A. O., Koshelev V. K., Izbyshchikov A. O. et al. (2013) Razrabotka i realizatsiya oblachnoy sistemy dlya resheniya vysokoproizvoditelnykh zadach. *Proceedings of the Institute for System Programming*, **24**, 13-34. [In Rus]
- [5] Sefraoui O., Aissaoui M., Eleuldj M. (2012) Comparison of multiple IaaS Cloud platform solutions. In Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Computer Engineering and Applications, (Milan-CEA'13), p. 212–217.
- [6] Kumar R., Jain K., Maharwal H., Jain N., Dadhich N. (2014) Apache CloudStack: Open Source Infrastructure as a Service Cloud Computing Platform. In Proceedings of the International Journal of advancement in Engineering technology, Management and Applied Science, p. 111-116.
- [7] Sabharwal N., Shankar R. (2013) Apache CloudStack Cloud Computing. Packt Publishing Ltd.
- [8] Nikulchev E., Lukyanchikov O., Pluzhnik E., Biryukov D. (2016) Features management and middleware of hybrid cloud infrastructures. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, **7**(1):30-36.
- [9] Nanig T. T. (2016) Private Cloud Deployment Model for Academic Environment Using CloudStack. Genetic and Evolutionary Computing. Springer International Publishing, p. 155-164.
- [10] Vittal C., Huang A., Lee G., Sun Z. (2012) CloudStack Overview. (<https://www.scribd.com/document/164888633/CloudStack-Overview>)
- [11] Jain S., Kumar R., Anamika S. K. J. (2014) A Comparative Study for Cloud Computing Platform on Open Source Software. *ABHIYANTRIKI: An International Journal of Engineering & Technology (AIJET)*, **1**(2):28–35.

- [12] *Yan Y., Huang L.* (2014) Large-Scale Image Processing Research Cloud. Cloud Computing, The Fifth International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization, p. 88–93.
- [13] *Manchanda N., Anand K.* (2010) Non-Uniform Memory Access (NUMA). New York University.

***Авторы:***

*Дмитрий Юрьевич Ильин* — начальник центра интеллектуальной обработки данных, Московский технологический институт, аспирант кафедры управления и моделирования систем, Московский технологический университет (МИРЭА)

*Михаил Евгеньевич Волович* — кандидат технических наук, доцент кафедры управления и моделирования систем, Московский технологический университет (МИРЭА)

*Вячеслав Валерьевич Филатов* — кандидат технических наук, доцент кафедры управления и моделирования систем, Московский технологический университет (МИРЭА)



## Анализ возможности внедрения платформы CloudStack для управления облачными инфраструктурами различных конфигураций

Д. Ю. Ильин<sup>\*, \*\*</sup>, В. В. Филатов<sup>\*</sup>, М. В. Волович<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Московский технологический университет (МИРЭА)  
119454, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

<sup>\*\*</sup>Московский технологический институт  
119334, Москва, Ленинский проспект, 38а

e-mail: [ildmitryilin.com](mailto:ildmitryilin.com), [ivolovich.me](mailto:ivolovich.me), [filv@mail.ru](mailto:filv@mail.ru)

*Аннотация.* В статье рассматривается применимость платформы CloudStack при различных конфигурациях. Рассматриваются сценарии применения платформы как в коммерческих, так и в некоммерческих организациях. Сформирован перечень функционала, входящего в базовую версию CloudStack и оценены возможности по его расширению на основе информации из открытых источников. Кроме того, дана оценка возможных расходов при эксплуатации данной платформы. Как результат, были определены условия, влияющие на степень применимости CloudStack.

*Ключевые слова:* облачная платформа, виртуальные машины, система с открытым исходным кодом, виртуализация, CloudStack, гипервизор, инфраструктура как сервис.

### Литература

- [1] *Jamsa K.* Cloud computing. — Jones & Bartlett Publishers, 2012.
- [2] *Pluzhnik E., Nikulchev E., Payain S.* Optimal control of applications for hybrid cloud services // Proceedings 2014 IEEE Tenth World Congress on Services (SERVICES 2014). — IEEE, 2014. P. 458–461.
- [3] *Pluzhnik E., Nikulchev E.* Virtual laboratories in cloud infrastructure of educational institutions // 2nd International Conference on Emission Electronics (ICEE) Selected papers. — IEEE, 2014. P. 67–69.
- [4] Кудрявцев А. О., Кошелев В. К., Избышев А. О. и др. Разработка и реализация облачной системы для решения высокопроизводительных задач // *Труды Института системного программирования РАН*. 2013. Т. 24. С. 13–34.
- [5] *Sefraoui O., Aissaoui M., Eleuldj M.* Comparison of multiple IaaS Cloud platform solutions // Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Computer Engineering and Applications, (Milan-CEA'13). — Milan, 2012. P. 212–217.
- [6] *Kumar R., Jain K., Maharwal H., Jain N., Dadhich N.* Apache CloudStack: Open Source Infrastructure as a Service Cloud Computing Platform // Proceedings of the International Journal

- of advancement in Engineering technology, Management and Applied Science, 2014. P. 111–116.
- [7] Sabharwal N., Shankar R. *Apache CloudStack Cloud Computing*. — Packt Publishing Ltd., 2013.
- [8] *Nikulchev E., Lukyanchikov O., Pluzhnik E., Biryukov D.* Features management and middleware of hybrid cloud infrastructures // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2016. Vol 7, No. 1. P. 30-36.
- [9] *Nanig T. T.* Private Cloud Deployment Model for Academic Environment Using CloudStack. Genetic and Evolutionary Computing. — Springer International Publishing, 2016. P. 155–164.
- [10] *Vittal C., Huang A., Lee G., Sun Z.* CloudStack Overview. [Электронный ресурс] URL: <https://www.scribd.com/document/164888633/CloudStack-Overview>
- [11] *Jain S., Kumar R., Anamika S. K. J.* A Comparative Study for Cloud Computing Platform on Open Source Software // *ABHIYANTRIKI: An International Journal of Engineering & Technology (AIJET)*. 2014. Vol. 1, No. 2. P. 28-35.
- [12] *Yan Y., Huang L.* Large-Scale Image Processing Research Cloud // *Cloud Computing, The Fifth International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization*, 2014. P. 88–93.
- [13] *Manchanda N., Anand K.* Non-Uniform Memory Access (NUMA). — New York University, 2010.

## Методика оценки влияния социальных коммуникаций на результативность инновационного проекта

Д. В. Плохов\*, Е. В. Никульчев\*\*, С. А. Титов\*\*, И. В. Осипов\*\*\*

\*Московский физико-технический институт  
(государственный университет)

141700, Московская обл., Долгопрудный, Институтский пер., 9

\*\*Московский технологический институт  
119334, Москва, Ленинский проспект, 38а

\*\*\*i2i study, Inc.  
San Francisco, CA, USA

e-mail: plokhov.dmitry@yandex.ru, nikulchev@mail.ru, s\_titov@mti.edu.ru,  
ilyavosipov@gmail.com

*Аннотация.* Коммуникации служат средой для интеграции участников проекта, трансформирующей их из отдельных исполнителей в единую команду. По мнению практиков проектного управления в настоящее время существенным фактором успеха становятся коммуникации и отношения между участниками. Формальные и неформальные связи участников проектной сети в совокупности образуют коммуникационную среду проекта. Характер и структура связей влияют на эффективность управления проектом, и, следовательно, могут служить индикатором успешности проекта. В работе на примере инжиниринговых проектов был рассмотрен подход, использующий методы анализа социальных сетей для оценки влияния социальных коммуникаций на эффективность проектного менеджмента.

*Ключевые слова:* управление проектами, инновационные проекты, успешность проектов, социальные коммуникации.

### 1. Введение

Проектно-ориентированные подходы стали одними из самых востребованных среди современных практик управления организациями. Участники проекта, взаимодействуя между собой и окружением, должны постоянно адаптировать тактику выполнения к изменяющимся условиям, чтобы в итоге достигнуть стратегической цели — реализовать проект. Часто определяющим фактором успеха становятся не методики управления, а коммуникации и отношения между участниками, поскольку результаты проекта достигаются людьми, а не процессами или системами [30].

Традиционно в контексте методологии управления проектами коммуникации рассматриваются только как формальные отношения и сводятся к координации

участников, обеспечению информационного обмена между ними, а также интеграции результатов отдельных работ в общий результат [1–3]. В реальности внутри-проектные коммуникации сочетают в себе как формальную составляющую, регламентированную административными правилами, так и неформальную, обусловленную взаимными симпатиями участников, общностью интересов, схожестью взглядов. Обе составляющие коммуникаций влияют на взаимодействие людьми и качество выполнения процессов, а значит, и на качество управления проектом в целом. Коммуникационная структура участников проекта выходит за рамки формально-иерархических связей и приобретает черты социальной сети, объединяющей людей, причастных к проекту.

Вклад неформальных связей отчетливо заметен в проектах, связанных с поиском нестандартных, инновационных решений, поскольку неформальные коммуникации создают условия, в которых участники проще обмениваться идеями, мнениями, знаниями. Коммуникации особенно значимы для инжиниринговых проектов, относящихся к исследовательской, проектно-конструкторской и расчетно-аналитической деятельности, поскольку такие проекты связаны с разработкой новых, часто инновационных технических продуктов или методов, что требует междисциплинарных решений, а, следовательно, взаимодействия целого ряда специалистов из различных подразделений и областей знаний [65, 70]. Следует отметить, что методология управления проектами, обязанная своим появлением именно инжиниринговым проектам, относит управление коммуникациям и поддержание их на эффективном уровне к ключевым зонам ответственности команды управления проектом [10].

Неверно расставленные акценты в управлении коммуникациями могут вести к существенным потерям для проекта. Согласно оценке Project Management Institute (PMI) [90] неэффективные коммуникации являются причиной в среднем более половины (56%) затрат, связанных с покрытием рисков, возникающих в проектах. Таким образом, эффективность коммуникаций влияет на общую эффективность управления проектами. Следовательно, для поддержания коммуникаций на должном уровне необходим способ, который бы позволил оценивать их текущее состояние.

Вместе с тем традиционно используемые методики мониторинга эффективности проектного управления, обобщенно называемые методом освоенного объема, применяемые, в том числе, в инжиниринговых проектах, строятся на отслеживании и контроле показателей финансовых затрат относительно выбранного горизонта планирования, не включая в рассмотрение аспекты управления коммуникаций. Такой способ предоставляет возможность увидеть ситуацию через набор структурированных показателей в наглядном и хорошо формализованном виде. Однако ви-

дится крайне затруднительным его использование для оценки влияния социальных факторов на успех — коммуникаций и социальных отношений. В то же время результаты работ по оценке влияния коммуникаций на эффективность управления проектами носят концептуальный, обобщающий характер, что затрудняет их использование в практической деятельности проектных менеджеров. В связи с этим актуальной задачей является разработка прикладной методики, которая бы позволяла оценивать состояние внутривнутрипроектной коммуникационной среды и ее влияние на ход проектов.

## 2. Методы исследования

### 2.1. Оценка успешности проекта и проектного управления

Тема успешности проектов постоянно находится в фокусе внимания теоретиков и практиков проектного управления. Во-первых, это связано с тем, успех проектов продолжает оставаться главным показателем эффективности работы проектных команд и, в частности, работы руководителей проектов. Во-вторых, общий тренд развития методологии управления проектами подразумевает исследование реальных примеров и обобщение лучших практик, что должно способствовать формализации методик управления и устранению неопределенностей в теории. Однако, по замечанию J. K. Pinto и D. Slevin [64], популярность темы успешности проектов, отражающаяся в непрерывно увеличивающемся количестве исследований и публикаций, скорее подчеркивает факт отсутствия единства в ответах на вопросы «что является успехом проекта?», «каким образом измерять успех?». Это утверждение следует из признания значительной доли субъективизма в оценке итогов проектов. Так, авторы [24] приходят к выводу, что, по-видимому, в управлении проектами не может существовать такое понятие, как «абсолютный успех», а есть только «воспринимаемый успех проекта». В свою очередь, в [54] отмечается, что в любом отдельно взятом проекте вряд ли возможна ситуация, когда у всех заинтересованных лиц и участников проекта будет совпадать мнение относительно оценки результатов. Успех и неудача проекта необязательно будут определяться как противоположности друг другу или вступать в противоречие [23, 38]. Таким образом, отнесение проекта к разряду успешных или неудачных является экспертной оценкой и зависит от позиции высказывающего.

Само по себе понятие успеха проекта представляется трудно определяемым, хотя довольно часто многими авторами подразумевается как хорошо известное [46]. Также можно отметить нечеткость границ между формулировками успеха проекта и успешности управления проектами [46, 60]. Так А. К. Munns и В. F. Vjeirni, анализируя в статье [60] вклад управления проектами в успешность проекта, отмеча-

ют, что управление проектами прочно ассоциируется с определенной новой комплексной задачей, обязательно именуемой проектом, и впоследствии успех управления проектами связывается с результатами проекта. Здесь же авторы приводят ряд характерных примеров, когда за успешной реализацией проекта следовал провал и наоборот.

Для разрешения указанной противоречивости формулировок предлагается сосредоточиться на различиях между понятиями проекта и проектного управления (менеджмента) [23, 30, 47, 60]. Проектный менеджмент является процессом, управляющим достижением поставленных целей, для чего используются специализированные методики и подходы. К функциям управления проектами относятся идентификация требований к работам и определение их объемов, обеспечение реализации необходимыми ресурсами, мониторинг исполнения и корректировка возникающих отклонений [60]. Соответственно, процессы проектного менеджмента, главным образом, ориентированы на планирование и управление процессами исполнения. Подразумевается, что результаты проектного управления будут получены с соблюдением финансовых ограничений (бюджета), требуемого качества и в согласованные сроки. Это определяет краткосрочный контекст управления проектами, задаваемый сроками реализации или разработки.

В свою очередь проект может рассматриваться как достижение выбранной цели, что может включать последовательность задач и мероприятий, требующих определенных ресурсов. Оценка успешности проекта<sup>1</sup> строится из общего итогового результата, который задается в координатах эффективности управления проектом, влияния на деятельность организации, удовлетворенности ожиданий клиентов или пользователей, новых возможностей для развития организации [73]. Результаты проекта могут выражаться в экономических, маркетинговых, технических, социальных и культурных выгодах и иметь долгосрочный, стратегический характер, относимый на весь жизненный цикл результата (продукта проекта) [47].

Анализируя взаимосвязь между рассматриваемыми понятиями, можно отметить, что успешность и эффективность управления проектом важная, но не единственная составляющая успеха проекта [36]. Оценка проекта предполагает расширенный набор критериев, отражающих, прежде всего, запросы ключевых заинтересованных сторон, и строится с позиции стратегической перспективы, не всегда четко ограниченной временными рамками. Напротив, задача эффективности управления проектами хорошо формализуется в критериях соблюдения ресурсных ограничений и выполненных работ. Так, Т. Cooke-Davies в [30] разделяет эти понятия сле-

---

<sup>1</sup> С целью уйти от тавтологии рассматриваемых формулировок «успех проекта» и «успешность проектного управления», D. Vassagini [23] предлагает вместо понятия «успех проекта» использовать «успех продукта», где под продуктом понимается совокупный обобщенный эффект от реализации проекта.

дующим образом: успешность проектного управления определяется соблюдением условий треугольника «стоимость — сроки — содержание», а успех проекта соответствует достижению основных заявленных целей. Сходные взгляды на отличительные аспекты успешности проекта и эффективности проектного менеджмента обсуждаются также в [23, 46, 54].

## 2.2. Критерии успешности проекта и проектного управления

После разграничения понятий успеха проекта и успешности проектного управления важно установить критерии для измерения и выявить ключевые факторы. По этому поводу в обзорной статье Л. Ика [46], посвященной исследованию успеха проекта как темы публикаций в области проектного управления, отмечается, что критерии успешности проекта являются совокупностью принципов или нормативов, относительно которых выносятся суждение или оценка об успехе проекта.

При описании критериев успешности проектов наиболее часто речь идет о концепции так называемого треугольника управления проектами или «железного треугольника» [5, 36, 60, 73]. Трактовка концепции в классическом варианте [5] состоит в том, что любой проект реализуется в условиях тройного ограничения: по срокам («проект должен быть выполнен вовремя»), стоимости («бюджет проекта не должен быть превышен») и содержанию работ («результаты работ должны соответствовать утвержденным объемам»). Графическая иллюстрация концепции треугольника управления проектами (рис. 1) отражает суть баланса между ограничениями. В его центр помещается качество или безопасность как центральный приоритет.



Рисунок 1. Классический «треугольник управления проектами»

Выход параметров проекта за любое из ограничений влечет за собой изменение остальных. Так, необходимость сокращения сроков приводит либо к уменьшению содержания (объемов работ) и / или к увеличению расходов. Таким образом, успех проекта состоит в нахождении компромисса между указанными ограничениями, который сможет удовлетворить требования клиента по качеству. Ключевой

функцией проектного менеджера и команды проекта становится поддержание баланса между сроками, стоимостью и содержанием на всех фазах, от начала до завершения. Отслеживание характеристик проекта, в первую очередь через контроль затрат и сроков относительно плановых величин, стало основным инструментом мониторинга исполнения проектов.

Концепция ограничений может видоизменяться в зависимости от направленности проекта и его приоритетов. Так, Kerzner [51] приводит пример проекта, для которого в качестве дополнительных ограничений были обозначены риски, репутация, ценность для потребителя (рис. 2). В свою очередь, авторы [89] включают в концепцию ограничений качество, и соответствующая схема проиллюстрирована ромбом управления проектами (рис. 3).



Рисунок 2. Модифицированный треугольник управления проектами [51]



Рисунок 3. Ромб управления проектами [89]

Как показывает реальная практика, крайне сложно найти абсолютно верную стратегию, обеспечивающую полное соответствие всем ограничениям на всех этапах проекта. Из триады «сроки — стоимость — содержание» должен быть определен тот параметр, выход за пределы которого, является наиболее критичным, именно этому аспекту должно быть уделено основное внимание, возможно, за счет корректировки остальных в допустимых границах. Из этого следует, что руководитель



проекта в каждый момент времени может компенсировать несоответствие наиболее значимого ограничивающего параметра за счет изменения остальных [5, 51].

Критерии успешности проектов, выраженные через стоимость, сроки и содержание, хорошо формализуются в прикладных управленческих инструментах и методиках для их отслеживания и воплощают естественное желание руководителей проектов иметь набор параметров, отражающий в простой форме текущее состояние проекта [23, 24, 54, 64, 75]. Между тем в процессе развития методологии управления проектами наметилось смещение акцентов в подходе к измерению успешности проектов в сторону использования критериев, связанных с оценкой достижения стратегических целей заказчика, инициировавшего проект, степени удовлетворенности пользователя и других заинтересованных сторон [46, 47]. Также в качестве критериев рассматривается выгода, извлеченная из проекта непосредственно командой проекта, влияние на реализацию программы, в которую входит проект. Эта тенденция отражает стремление получить целостную модель успеха проекта, которая позволяла бы объединить контекст успеха на микроуровне (эффективность проектного управления в измерении стоимости, сроков и содержания работ), с успехом на макроуровне (успех продукта, соответствие ожиданиям клиентов и заинтересованных лиц, достижение бизнес-целей организации) [54].

Подобный подход изложен в серии публикаций Shenhar и соавторов [73–75], в которых были предложены следующие категории успеха проекта: а) соответствие проектным целям; б) эффект для клиента; в) выгоды для организации, реализующей проект. В результате опроса авторами ряда руководителей инжиниринговых проектов были идентифицированы четыре измерения, в которых может оцениваться успех проекта: а) эффективность управления проектом; б) выгоды для клиента; в) коммерческий и прямой успех; г) стратегический потенциал для будущего. Оценка успеха в указанных измерениях будет соответствовать разным временным рамкам (рис. 4). Эффективность управления соотносена с очень коротким интервалом, соответствующим этапу исполнения проекта, и периоду, следующему сразу за завершением, в то время как стратегический потенциал может проявиться лишь на длинном временном отрезке.

Комплексный подход к оценке успеха проекта видится результатом естественного развития управления проектами для многих исследователей [46, 47, 60, 73]. В то же время для сообщества руководителей проектов остается четкой граница между оцениванием результатов проекта (не может быть выполнена до завершения проекта) и эффективностью его управления (выполнимо в течение всех стадий реализации проекта) [23, 30]. Хотя эффективность управления проектами является нижестоящей категорией в сравнении с успехом проекта, ни одна система проектных метрик не обходится без измерения обеих составляющих и связей, соединяющих их

так, чтобы можно было оценить точность, с которой эффективность управления обеспечила бы успех проекта [23].

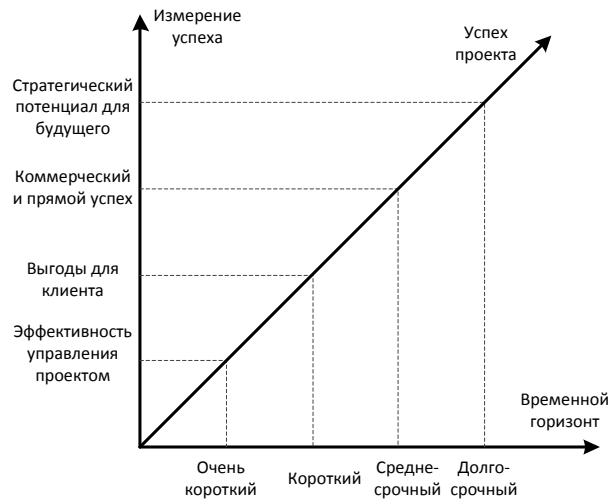


Рисунок 4. Временные рамки координат [75]

### 2.3. Мониторинг эффективности управления проектами

Стандарт PMBoK [13] использует процессный подход к построению проектной модели управления. Процессы определяются через термины интеграции и взаимодействия между ними. Группы процессов коррелируют с жизненным циклом проекта, т. е. набором последовательных этапов или фаз, определяющих базовую структуру проекта. На этапе реализации определяющими становятся группа процессов исполнения, а также группа процессов мониторинга и управления.

К группе процессов исполнения отнесены руководство и управление работами проекта, обеспечение качества, управление командой проекта, управление коммуникациями, выполнение закупок, а также управление вовлеченностью заинтересованных сторон. В свою очередь, группа процессов мониторинга и управления включает мониторинг и контроль над работами и проектом, подтверждение и контроль содержания, контроль расписания, контроль затрат, контроль качества, контроль коммуникаций, контроль над рисками, контроль закупок, контроль вовлеченности заинтересованных сторон [10].

Мониторинг проекта строится на отслеживании некоторого набора показателей, соответствующих критериям успешности. Это позволяет оценить текущую ситуацию и спрогнозировать, что может произойти в будущем, если не будет внесено

изменений в модель управления проектом [34]. Выходом процесса мониторинга и управления является набор корректирующих воздействий, принятие которых необходимо для приведения состояния проекта к плановому состоянию [14].

Показатели, участвующие в оценке успешности проекта, условно могут быть разделены на количественные («hard») и качественные («soft») [32]. К количественным показателям относят измеримые, «осязаемые» параметры (затраты, время), а оценку удовлетворенности клиента или соответствия результатов проекта стратегии организации включают в группу качественных показателей в силу трудности их измерения и формализации. С учетом ранее обозначенных групп процессов, относящихся к этапу реализации, можно полагать, что коммуникации, отношения с заинтересованными сторонами, управление командой проекта являются объектами социальной природы, характеризуемыми качественными параметрами. В свою очередь, статус выполнения работ и проекта, отклонения от расписания, произведенные затраты и закупки могут быть описаны через количественные временные и финансовые величины. Качество и риски — это комплексные составляющие проекта, в описании которых участвуют и качественные, и количественные параметры.

В работе [9] ставится задача по отысканию инструментария, обеспечивающего комплексный контроль инвестором состояния дел в ходе реализации проекта, что полностью согласуется целями мониторинга проекта, осуществляемого проектным менеджером. В процессе решения поставленной задачи автором рассматриваются наиболее востребованные методы и техники контроля исполнения проектов, в том числе диаграмма Гантта, метод критического пути на сетевом графе (Critical Path Method, CPM), группа методов оценки и пересмотра планов (Program / Project Evaluation and Review Technique, PERT), методика графической оценки и анализа (Graphical Evaluation and Review Technique, GERT), поточный метод, метод сетевого планирования и управления (СПУ). По итогам комплексного анализа сделан вывод, что лучшее соответствие выдвинутым условиям для поиска оптимального инструмента контроля реализации проекта демонстрируют средства стоимостного анализа на основе показателей «освоенного объема» (Earned Value).

Метод освоенного объема объединяет три важнейших элемента управления проектами: управление содержанием, управление стоимостью и управление временем (Earned Value Method — EVM) [13, 14]. Это требует периодического контроля фактических понесенных затрат и реально завершенных работ, а также позволяет определить отклонения в стоимости и в расписании и показателями производительности. Использование EVM дает возможность прогнозировать изменение стоимости и длительности проекта в точке его завершения и указывает направление для необходимых мер по исправлению положения. Основная идея, заложенная в основе EVM, состоит в том, что показатели освоенного объема являются индикато-

рами, на основании оценки которых на начальных стадиях реализации проекта возможен достаточно точный прогноз их значений в будущем и, соответственно, определение на их основе корректирующих управленческих решений [8].

На текущий момент мониторинг посредством отслеживания показателей времени и затрат, а также сетевые модели планирования и управления (*CPM*, *PERT* и др.) являются основными способами контроля эффективности управления проектами в практике современных специалистов управления [9, 20, 86].

#### 2.4. Роль коммуникаций в проекте

Участники проекта, взаимодействуя между собой и окружением, должны постоянно адаптировать тактику выполнения к изменяющимся условиям, чтобы в итоге достигнуть стратегической цели – удовлетворить запросы заказчика. Отлаженные процессы и методики управления являются необходимым условием успеха проекта. Однако, как справедливо отмечается в статье [30] результат проекта достигается людьми, а не процессами или системами. Коммуникации и взаимоотношения между людьми определяют качество выполнения процессов, а значит и качество управления проектом в целом [65]. McLeod и MacDonell [57] указывают, что процесс разработки продукта как деятельность, а также результат проекта оказываются в зависимости от знаний в предметной области, опыта, ценностей и убеждений, коммуникаций и навыков общения, а также мотивации.

В ряде исследований коммуникации определены как один из ключевых факторов успеха проекта. Pinto и Slevin идентифицируют десять факторов [64]: миссия проекта, поддержка топ-менеджмента, расписание/план проекта, консультации с клиентом, персонал, техническая часть проекта, согласование с клиентом, мониторинг и обратная связь, коммуникации, компетенции в решении проблем. В публикации Clarke [29], посвященной практической стороне использования ключевых факторов для повышения результативности управления проектами, эффективные коммуникации также отмечены как базовый элемент среды успешного проекта. Координирующая, интегрирующая роль коммуникационной среды, обеспечивающей синергию участников, становится особенно заметной в проектах, связанных с разработкой новых продуктов, прежде всего, инновационных, высокотехнологичных, технически сложных, требующих реализации мультидисциплинарных подходов [11, 16, 31, 65, 72, 77, 80].

Применительно к практике проектного управления проектами М. В. Pinto и J. К. Pinto подразделяют коммуникации [65] на следующие типы:

- внутренние (внутрипроектные) и внешние — соответственно коммуникации, проходящие только внутри проектной команды в рамках определенного проекта, и проходящие между участниками проектной ко-

манды и другими участниками проекта, такими как представители клиента, сотрудники сторонних подразделений, привлеченных к реализации проекта, и т. п.;

- формальные и неформальные — коммуникации, осуществляемые в соответствии утвержденным административным процедурам или же осуществляемые на основе нерегламентированных, неофициальных отношений между людьми.
- письменные и устные коммуникации.

В своде знаний по управлению проектами [10] управление коммуникациями выделено в одну из девяти областей знаний, которые наряду с группами процессов и фазами проекта, являются своего рода независимыми координатами, определяющими совокупность процессов управления проектами [14]. РМВоК содержит следующее определение: «управление коммуникациями проекта — это область знаний, включающая в себя процессы, необходимые для своевременного создания, сбора, распространения, хранения, получения и в конечном итоге использования информации проекта» [10].

Успешность коммуникаций в проекте зависит от самих участников, используемых методов для коммуникации, факторов корпоративной среды и языка как единого понятийного аппарата [40]. Взаимодействуя между собой, факторы дают мультипликативный эффект (рис. 5). Руководители проектов, в сферу ответственности которых входит организация и поддержание коммуникаций, должны осознавать имеющиеся барьеры между составляющими эффективных коммуникаций, а также возможные способы их преодоления.

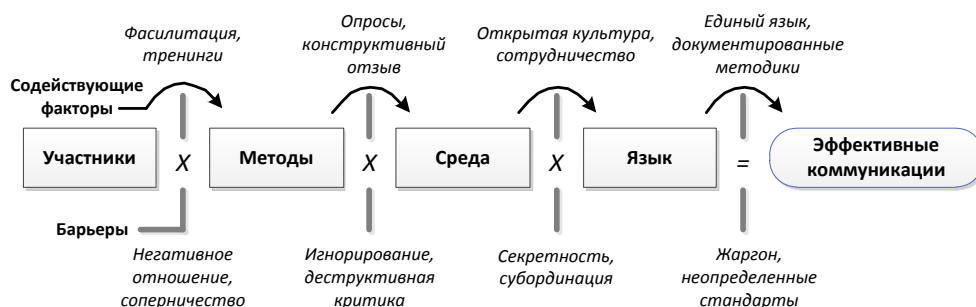


Рисунок 5. Схема коммуникаций в проекте [40]

Неэффективные коммуникации отмечаются как один из главных факторов риска в управлении проектами. По результатам исследования, проведенного РМІ, сказано, что неэффективные коммуникации являются причиной в среднем более половины (56%) затрат, связанных с покрытием рисков, возникающих в проек-

тах [90]. В [78], посвященной рискам в проектах внедрения информационных систем управления производством, отмечается критическая значимость должного управления коммуникациями, особенно в отношении задач, планов и ситуации в целом со всеми участниками и особенно с заинтересованными сторонами. Недостаточное внимание к коммуникациям приводит к нарушению сроков, перерасходу средств, ошибочному пониманию требований [18, 84].

May L. J. [56], анализируя причины неудач в проектах, связанных с информационными технологиями, отмечает что конфликты и разрывы в коммуникациях являются наиболее частыми причинами неудач и проблем в реализации. Недостаточная степень сотрудничества между подразделениями, приводящая к недопониманию по техническим вопросам, становятся барьерами, нарушающими планы, и источником ошибок в реализации продукта [53].

Brown и Eisenhardt [26] выделяют направление «коммуникационная сеть» («Communication web») как одно из трех для изучения вопросов успешности разработки новых продуктов. Сеть коммуникаций, с точки зрения авторов, характеризует проект как сеть взаимодействий, в которой коммуникации помогают участникам, преследующим общую цель.

В работе M. Väänänen [80], посвященной исследованию проблем организации коммуникаций в проектах компаний, связанных с разработкой высокотехнологичных продуктов, отмечается, что специфика деятельности таких компаний подразумевает постоянное общение с клиентами, интенсивное взаимодействие подразделений по вопросам облика нового продукта. Коммуникации, независимо от того, в какой форме они совершаются, естественная составляющая проектов в области разработки высокотехнологичных продуктов.

Люди или организации, вовлеченные в проект, могут находиться на значительном расстоянии друг от друга, поэтому роль управления коммуникациями чрезвычайно важна в координации участников и организации информационного обмена [42]. Согласование целей и действий участников, выявление и управление ожиданиями и потребностями, решение проблем — неполный перечень задач, которые решаются в процессе коммуникаций между сторонами проекта. Коммуникации, в том числе в рамках проекта — это всегда интерактивный процесс, в котором присутствует источник информации и тот, кто ее получает и интерпретирует.

В ходе проекта формируется определенная сеть социальных связей, членами которой становятся участники проекта. В структуру коммуникаций неизбежно вплетаются неформальные отношения, которые также будут играть свою роль в социальной среде, дополняя отношения, основанные на функционально-иерархических связях [63]. Роль неформальных коммуникаций как элемента корпоративной среды постоянно переосмысливается. Однако по результатам многих исследова-

дований уже можно сделать вывод, что такие отношения и взаимодействия являются неотъемлемой частью успешного рабочего процесса коллектива в самых разных областях, но отмечается принципиальная значимость неформальных связей для решения нестандартных задач, требующих творческого подхода [17, 39].

Управление коммуникациями неразрывно связано с разрешением конфликтов в ходе проекта. Различные участники проекта могут иметь отличающиеся ожидания, цели, интересы, что может стать причиной противоречий. Конфликт предполагает отсутствие согласия между двумя или более сторонами — лицами или группами. Существует две противоположные точки зрения на конфликты. Сторонники традиционных взглядов полагают, что конфликты представляют опасность для проекта и его окружения, поэтому их надо избегать. С другой стороны, в рамках современных подходов в менеджменте конфликты рассматриваются как неизбежная часть процесса управления человеческой организацией, которые при должном подходе может принести выгоды и дать понимание для разрешения возникших противоречий [50].

В [83] идентифицированы следующие группы конфликтов:

- конфликты, вызванные несогласованностью целей проекта, в основе которых лежат противоречия в позиции участников относительно итоговых результатов проекта, способов оценки эффективности (успешности) и пороговых показателей, приоритетах и целях;
- административные конфликты, относящиеся к структуре и культуре управления, а также связанные с противоречиями между ролью участников, положением в иерархии и возложенной ответственностью, а также имеющимися полномочиями для выполнения задач и функций;
- межличностные конфликты, которые становятся следствием различий участников в деловой этике, стиле поведения, ценностях, личных качествах.

Независимо от негативного или позитивного восприятия конфликтов, можно выделить типы их источников [68, 79]:

- приоритеты — вызваны тем, что участники проекта имеют различные мнения относительно последовательности работ и задач;
- административные процедуры — связаны с нормативами и стандартами, которые должны регламентировать организацию проекта;
- персонал — конфликты этого рода вызваны процессами набора и назначения работников на работы по проекту;
- стоимость и бюджет — вызваны с дополнительными расходами, оценкой стоимости работ, перечислением средств на оплату;



- календарный план — конфликты, связанные с согласованием сроков начала, окончания, длительностью выполнения работ, их последовательностью и т. п.
- личные отношения — связаны с межличностными противоречиями.

Возникновение конфликтов в проекте можно рассматривать как симптом проблем в управлении проектами, которые, не будучи разрешенными, потенциально приводят к негативным последствиям [48, 71]. Ошибочно воспринятые инструкции, оставленное без внимания сообщение о технических проблемах, постоянные переделки из-за противоречивых указаний – возможные примеры проблем в процессах коммуникаций, которые при отсутствии должного внимания могут привести к неудачам в проекте.

Информация о коммуникациях и конфликтах, возникающих в среде проекта, несет в себе также данные о психологическом состоянии команды, ее настрое. Поскольку эффективное управление коммуникациями и конфликтами является обязательным фактором успешности проекта, то предполагается, что успешные и неуспешные проекты можно связать общими признаками, характеризующими социальные связи в команде как особой социальной сети.

## **2.5. Использование сетевого подхода для анализа внутриорганизационных структур**

При построении моделей социальных сетей исследуемый феномен рассматривается как система. Исследователь, в зависимости от решаемой задачи, определяет, какую часть системы использовать для рассмотрения. Модель сети отображает структуру (социальную, экономическую, организационную) как паттерна существующих отношений между акторами. В свою очередь, социальная сеть, определяемая через ее элементы, рассматривается как среда, способствующая или препятствующая действию акторов. Отношения (связи) между ними представляют своего рода каналы для передачи или движения ресурсов [84]. В теории социальных сетей в качестве акторов как неделимых структурных единиц могут определяться разные величины – от отдельной личности до целых общественных объединений. Акторы и их действия считаются скорее взаимозависимыми, чем независимыми сущностями.

Персональные свойства актора в терминах социальных сетей называются атрибутами (пол, возраст, национальность, принадлежность к профессии и т. д.). Атрибуты влияют на структурную позицию актора, однако анализ социальных сетей не предполагает его использование для выявления структуры взаимосвязей между выделенными признаками [15]. Только после исследования социальных взаимодей-



ствий акторов возможно проводить анализ связей между позициями акторов в сети и их атрибутами.

Отношения между субъектами могут характеризоваться такими понятиями, как направленность, интенсивность, наполненность, длительность. Эти характеристики в анализе социальных сетей трансформируются в вес связей.

Задачей для исследователя является изображение полученной структуры и ее анализ. Основой для ее решения стала теория графов, а также математическая статистика и теория вероятности. Наличие развитой теории графов, задающей математическую инвариантность методов описания социальных сетей, обеспечивает высокую преимственность результатов исследований с использованием сетевого подхода. Исследования графовых моделей позволили выделить ряд унифицированных параметров, используемых для анализа социальных сетей.

Сетевые подходы находят широкое применение в области исследования отношений внутри организаций и между ними [39, 43, 61]. В контексте проектной практики изучения коммуникаций в методы анализа социальных сетей представляет феномен распределенных виртуальных команд и оценка их эффективности [44, 45, 81]. Актуальными являются вопросы построения эффективных коммуникаций между членами организации [19], создания условий для распространения лучших практик и опыта [33, 59].

Значительный объем исследований проведен в строительной отрасли. В работах [27, 28, 55, 69, 70] авторы рассматривают возможности применения концепции социальных сетей и их анализа для повышения эффективности управления строительными проектами. В публикации Mead детально обсуждаются аспекты анализа социальных сетей в контексте изучения внутрипроектных коммуникаций и их динамики [58].

Исследование эффективности проектной деятельности методами анализа социальных сетей применительно к внутрипроектным коммуникациям проведено в [11]. Автор рассмотрел возможность применения анализа социальных сетей с точки зрения выявления взаимосвязей между структурой коммуникаций в проектной команде и результативностью инновационных проектов. Рост интереса к методам анализа социальных сетей обусловлен тем, что они позволяют оценивать количественные параметры структур коммуникаций. Так, в работе [52], отмечается, что методы анализа социальных сетей могут оказаться чрезвычайно плодотворными и полезными в исследовании вопросов организации, так или иначе связанных со структурой взаимодействия. Существенной особенностью является возможность визуализации коммуникационных сетей для проведения сравнительного анализа формальных и неформальных организационных структур. Все это делает применение мето-

дов анализа социальных сетей весьма перспективными для изучения эффективности проектных коммуникаций и самих проектов.

### 3. Методика

Разрабатываемую методику планируется применять в ходе реализации проектов в составе методов управления коммуникациями. Коммуникационная среда служит не только для обмена сообщениями, но также интегрирует в себе информацию о проекте в широком смысле. Возникновение проблем в ходе работ, равно как и успехи, преодоление противоречий будет влиять на участников и на то, как они между собой взаимодействуют. Следовательно, положение участников внутри этой сети определяется, с одной стороны, их функционально-иерархическим положением, с другой — такими факторами, как социальный авторитет, готовность сотрудничать, симпатии или антипатии по отношению к окружающим. Социальная природа управления проектами проявляется также в связи между наличием отклонений или противоречий и возникновением конфликтов между участниками. Таким образом, рассматривая участников проекта как социальную сеть, предполагается, что отклонения, возникающие в проекте, будут вызываться неэффективными коммуникациями и сопровождаться изменениями в сети коммуникаций, что может быть зафиксировано методами анализа социальных сетей.

#### 3.1. Цикл мониторинга исполнения проекта с использованием метода освоенного объема

Под мониторингом понимается систематический процесс сбора и анализа информации для оперативного контроля хода выполнения поставленных планов и проверки соответствия установленным критериям. Процессы мониторинга необходимы для регулирования хода и эффективности реализации проекта, выявления тех областей, в которых требуется внесение изменений в план, и инициации соответствующих изменений [10].

Схема, иллюстрирующая процессное представление реализации проекта, приведена на рис. 5. На ней показано, что мониторинг осуществляется на всей длительности проекта (этапа проекта).

С точки зрения метода освоенного объема (EVM) произвольный проект или его этап задаются следующим набором показателей [8] (в скобках приведены англоязычные термины в соответствии с [20]):

- $c_0$  — плановые суммарные затраты на проект (*BAC* — Budget at Completion);
- $T_0$  — планируемый срок завершения проекта;

- $X_0$  — суммарный объем запланированных работ по проекту (*QAC* — Quantity At Completion);
- $c_0(t)$  — плановая функция затрат (*PV* — Planned Value, или *BCWS* — Budgeted Cost of Work Scheduled);
- $c(t)$  — фактические затраты на выполненные работы (*AC* — Actual Cost, или *ACWP* — Actual Cost of Work Performed);
- $c_e(t)$  — освоенные затраты (*EV* — Earned Value, или *BCWP* — Budgeted Cost of Work Performed);
- $T$  — фактический срок окончания проекта;
- $c$  — фактические суммарные затраты на проект (*EAC* — Estimate at Completion).



Рисунок 6. Взаимодействие групп процессов на этапе реализации проекта

Часто также рассматриваются показатели, характеризующие количественный («физический») объем работ:

- $x_0(t)$  — плановое выполнение объемов работ (*BQWS* — Budgeted Quantity of Work Scheduled);
- $x(t)$  — фактическое выполнение объемов работ (*AQWP* — Actual Quantity of Work Performed);
- $x_e(t)$  — освоенный объем выполненных работ (*BQWP* — Budgeted Quantity of Work Performed).

Для целей настоящей работы положено, что между стоимостными и количественными показателями всегда существует однозначная зависимость, что при заданных затратах дает возможность определить количественные показатели. Таким

образом, без ограничения общности количественные показатели выполнения  $x_0(t)$ ,  $x(t)$ ,  $x_e(t)$  можно исключить из рассмотрения.

В процессе реализации проекта менеджер оперирует производными показателями, характеризующими отклонения от утвержденных плановых функций и производительность работ.

*Разность между плановыми и освоенными затратами (SV, Schedule Variance — отклонение по расписанию):*

$$\Delta c(t) = c_e(t) - c_0(t) = SV = EV - PV. \quad (1)$$

*Разность между фактическими и освоенными затратами (CV, Cost Variance — отклонение по затратам):*

$$\Delta c_e(t) = c_e(t) - c(t) = CV = EV - AC. \quad (2)$$

*Показатель выполнения расписания (SPI — Schedule Performance Index):*

$$\alpha_c(t) = \frac{c_e(t)}{c_0(t)} = SPI = \frac{EV}{PV}. \quad (3)$$

*Показатель выполнения бюджета (CPI — Cost Performance Index):*

$$\beta_c(t) = \frac{c_e(t)}{c(t)} = CPI = \frac{EV}{AC}. \quad (4)$$

*Отклонение бюджета при завершении (VAC – Variance at Completion):*

$$\Delta C = c_0 - c = VAC = BAC - EAC. \quad (5)$$

Используя данные показатели, а также ряд производных от них, руководитель проекта может сделать вывод о том, в какой мере исполнение проекта соответствует графику, находится ли проект в границах бюджета или выходит за них и т. п. [14, 20].

Следует отметить, что количественные («физические») показатели объемного выполнения являются основными при принятии решения о завершении проекта. Таким образом, проект будет считаться завершенным при условии, что освоенный объем будет равен суммарному плановому объему работ по проекту:

$$x_e(T) = X_0. \quad (6)$$

Поскольку в реальных проектах отклонения практически неизбежны, то следует заранее условиться, какая величина отклонений является значимой для принятия управленческого решения о корректирующем воздействии. При достижении отклонениями (SV, CV) некоторых заранее определенных пороговых значений (SV\*, CV\*) принимается решение о корректировке исполнения:

$$\langle PV, EV, SV^*, CV^* \rangle =$$

$$= \begin{cases} (SV < SV^*) \wedge (CV < CV^*) \rightarrow \text{"Продолжать проект"}; \\ (SV \geq SV^*) \vee (CV \geq CV^*) \rightarrow \text{"Решение о корректировке"}. \end{cases} \quad (7)$$

Исходя из описанных соображений, цикл мониторинга исполнения проекта может быть проиллюстрирован схемой, представленной на рис. 7.

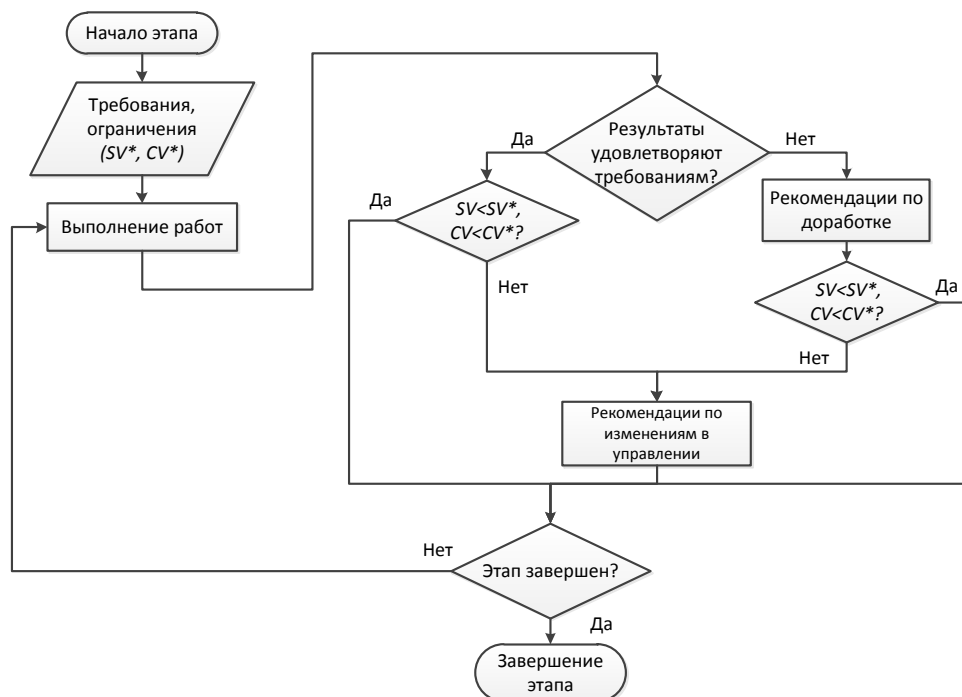


Рисунок 7. Цикл мониторинга исполнения проекта

Реализация цикла мониторинга (см. рис. 7) подразумевает оперативное получение менеджером проекта не только информации о проекте в разрезе результатов работ, но также доступ к финансовой управленческой отчетности по проекту. Периодичность проведения оценки показателей проекта диктуется, с одной стороны, характером проекта (чем выше «цена» отклонения, тем пристальнее внимание), с другой — условиями доступа к актуальным данным, позволяющим вести расчет показателей.

### 3.2. Сбалансированность внутрипроектной сети как характеристика коммуникаций

Ранее было отмечено, что отклонения, возникающие в проекте, будут сопровождаться изменениями в сети коммуникаций, которые могут быть зафиксированы

методами анализа социальных сетей. В настоящей работе из множества параметров внутрипроектных коммуникаций предлагается рассмотреть связь между характеристиками сбалансированности сети, образованной участниками проектов и оценкой эффективности управления проектом. Сбалансированность — это отсутствие ситуаций типа «положительные отношения (дружба, сотрудничество) между А и В, а также между В и С, но негативные отношения (вражда, соперничество) между В и С».

Согласно теории [85], сбалансированные сети более комфортны для акторов и более устойчивы по сравнению с несбалансированными. С точки зрения поведения индивида главным следствием являются посылки о транзитивности позитивных отношений («симпатии к тому, к кому положительно относится мой друг») и об интранзитивности негативных отношений (не реализуется положение «антипатия к тому, кого не любит мой неприятель») [7] (рис. 8). Таким образом, конфликт должен разделить общую группу участников на стороны конфликта — сбалансированные подгруппы, состоящие из единомышленников, имеющих сходные точки зрения.

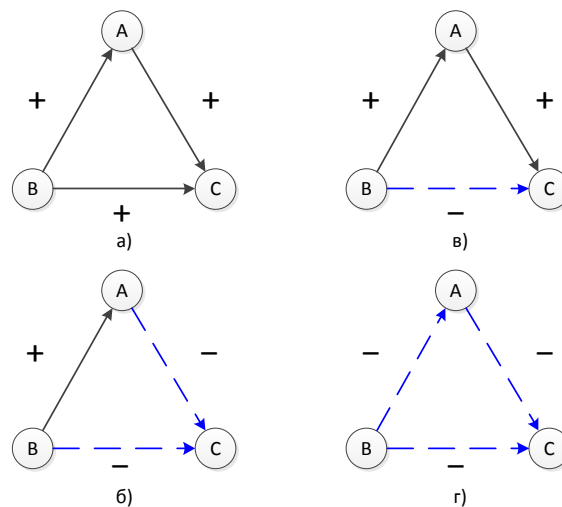


Рисунок 8. Иллюстрация баланса отношений на случай сети из трех участников:  
а и б – сбалансированные отношения; в и г – несбалансированные отношения

Используя психосоциологическую теорию, Heider, Cartwright и Harary [37] предложили для описания группы индивидов использовать взвешенный граф, в котором знак «+» или «-» при весе ребра определяет соответственно положительную или негативную направленность отношений между участниками, а модуль веса —

интенсивность отношений. Следует отметить, что обсуждаемая теория баланса рассматривается для взвешенных графов, что подразумевается здесь и далее по тексту. Кроме того, в данной работе ограничимся рассмотрением только симметричных отношений, т. е. любые два участника из рассматриваемой сети проекта одинаково характеризуют направленность и интенсивность отношений друг к другу. Таким образом, в контексте оценки внутрипроектных коммуникаций сеть участников проекта описывается взвешенным неориентированным графом  $G = (V, E, \sigma)$ , где  $V$  — набор вершин  $v_i, i = \overline{1, n}$ ;  $E$  — множество ребер графа с элементами  $e_j = (v_{s_j}, v_{t_j}), j = \overline{1, m}$ ;  $\sigma$  — весовая функция (функция отношений), определяемая как

$$\sigma: E \rightarrow \{p, n\}. \quad (8)$$

Здесь  $\{p, n\}$  — набор положительных ( $p$ ) и отрицательных ( $n$ ) действительных чисел (весов), сопоставляемых ребрам графа. Отношения между участниками сети могут задаваться в виде матрицы отношений  $R$  (социоматрицы) с элементами  $\|r_{kl}\|$ :

$$r: R \rightarrow \mathbb{R}, r_{kl} = \begin{cases} \sigma_{kl}, & (k, l) \in R; \\ 0, & (k, l) \notin R. \end{cases} \quad (9)$$

Определим, что при  $r_{kl} < 0$  между участниками  $v_k, v_l$  негативные отношения, при  $r_{kl} > 0$  — позитивные отношения, при  $r_{kl} = 0$  — нейтральные или незначащие отношения,  $r_{kl} = 0$  при  $k = l$  (отношения участника самому к себе не учитываются).

Поскольку ранее было сделано ограничение о том, что в ходе работы будут рассматриваться только симметричные отношения, то  $\forall i, j \quad r_{ij} = r_{ji}$ . Таким образом, в этом случае матрица  $R$  является симметричной, т. е.  $R^T = R$ .

Теория баланса Heider была математически формализована Cartwright и Harary следующим образом (сбалансированность по Heider-Cartwright-Harary [7]). Сбалансированным графом  $G$  будет такой, в котором все замкнутые маршруты из двух и более ребер положительны, т. е. все маршруты имеют четное число отрицательных отношений.

Для случая полного симметричного сбалансированного графа справедлива теорема Cartwright-Harary [37]. В сбалансированном взвешенном графе  $G$  набор вершин  $V$  всегда может быть разбит на два подграфа (кластера) так, что все положительные ребра будут соединять вершины внутри одного подграфа, а все отрицательные ребра будут соединять вершины из разных подграфов (причем один может быть нулевым).

С точки зрения социальных отношений теорема Cartwright-Harary означает, что группа (сеть акторов), описываемая сбалансированным полным графом отношений, всегда может быть разбита на две противоборствующие подгруппы. Участники

каждой подгруппы связаны друг с другом только положительными отношениями, а сами подгруппы — только отрицательными. Однако такое разбиение не всегда наблюдается в реальной практике, поскольку во множестве случаев можно наблюдать разбиение на большее количество подгрупп. J. A. Davis предложена обобщенная теорема структурного баланса [37]. В сбалансированном взвешенном графе  $G$  набор вершин  $V$  всегда может быть разбит на два и более подграфов (кластеров) таких, что все положительные ребра будут соединять вершины внутри одного подграфа, а все отрицательные ребра будут соединять вершины из разных подграфов.

Для случая двух кластеров формулировка Davis соответствует формулировке теоремы Cartwright-Harary.

В рамках настоящей работы используется подход к анализу баланса (кластеризуемости) графа, изложенный в [37]. Поскольку в действительности иногда не выполняются условия о транзитивности положительных связей и интранзитивности негативных, то для отыскания сбалансированных подграфов используется оптимизационная функция  $F(C)$ , которая учитывает несогласованные связи — отрицательные внутри кластеров и положительные между кластерами):

$$F(C) = \alpha N + (1 - \alpha)P, \quad (10)$$

где  $C$  — разбиение графа;  $N$ ,  $P$  — общее число соответственно отрицательных внутри кластеров и положительных связей вне их;  $\alpha$  — весовой коэффициент,  $\alpha \in [0, 1]$ . Коэффициент  $\alpha$  определяет вес несогласованных связей в значении  $F(C)$ . Данный коэффициент может быть объяснен с социально-психологической точки зрения. При выборе значения  $\alpha$  следует оценить, насколько участники толерантны к тем, с кем у них негативные отношения. Если участники сообщества существуют в атмосфере жесткого неприятия противоположной точки зрения, то  $\alpha$  следует принимать ближе к 1. Напротив, в том случае, когда чье-либо несогласие не мешает считать его частью команды, коэффициент может приниматься ближе к 0. Оптимизация сводится к поиску такого разбиения  $C'$ , при котором  $F(C') = \min F(C)$ .

### 3.3. Методике мониторинга исполнения проекта с учетом анализа коммуникаций

Модель структурного баланса в предложенных формулировках дает возможность оценить, существует ли некое разбиение группы, наличие которого свидетельствует о противоречиях между участниками и, следовательно, о проблемах в управлении коммуникациями. Предполагается, что показатели освоенного объема являются индикаторами состояния проекта. Возникающие проблемы в реализации проекта, фиксируемые через отклонения в расписании  $SV$  и в стоимости  $CV$ , отра-



жают несогласованность участников проекта. Следовательно, для оценки состояния необходимо включить в процесс мониторинга часть, отвечающую за анализ коммуникаций (рис. 9).

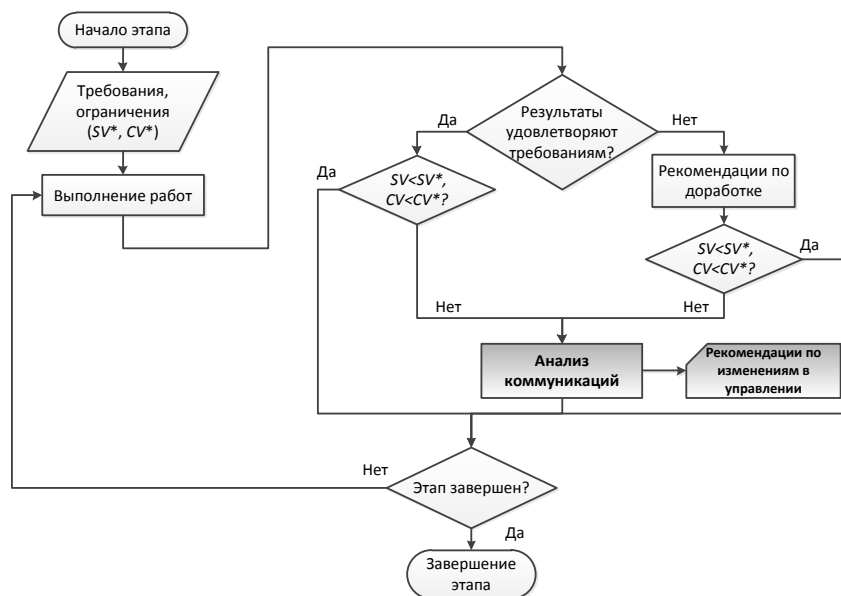


Рисунок 9. Оптимизированный цикл мониторинга исполнения проекта

Формальная последовательность цикла мониторинга в этом случае будет выглядеть следующим образом:

1. В точке начала этапа определяются пороговые значения отклонений по расписанию  $SV^*$  и по стоимости  $CV^*$ . При достижении или превышении отклонениями данных значений должна производиться корректировка хода выполнения проекта. Вместе с определением ( $SV^*$ ;  $CV^*$ ) должна быть определена периодичность проведения оценки: чем выше ответственность и неопределенность в проекте, тем более детализированным и строгим должен быть контроль.
2. Работы выполняются согласно утвержденному плану.
3. В соответствии с выбранной периодичностью происходит проверка промежуточных результатов на предмет соответствия утвержденным требованиям.
4. При выявлении несоответствий определяются рекомендации по доработке.
5. После проверки промежуточных результатов определяются текущие значения отклонений ( $SV$ ;  $CV$ ) и сравниваются с пороговыми значениями.
6. В случае, если отклонения ( $SV$ ;  $CV$ ) превышают пороговые значения, анализируется коммуникационная сеть. Для построения сети используются данные о

коммуникациях между участниками, осуществляемых любыми формальными и неформальными способами, но относящихся непосредственно к теме проекта. В качестве параметров, описывающих коммуникационную сеть, должны быть определены следующие:

- интенсивность коммуникаций (в виде числового атрибута);
- характер коммуникаций (степень симпатии или эмоциональной связи).

Представляется оптимальным при оценке интенсивности коммуникаций использовать три следующие степени: «незначимая/низкая», «средняя» и «высокая», которым присваивались значения 0, 1 и 2 соответственно. Введение расширенной градации видится нецелесообразным, поскольку может затруднить оценку из-за большей неоднозначности границ между степенями. Определение интенсивности может происходить экспертным путем, по данным из информационных систем, на основе опросных листов или комбинированно. В расчете следует принимать обоюдонаправленные коммуникации, т. е. интенсивность оцениваемой связи между участниками была одинаковой с точки зрения каждого из них.

Характеру коммуникаций сопоставляется знак «+», если коммуникации дружественные, т. е. у участников взаимная симпатия или одинаковые взгляды, либо «-», если в отношениях присутствует антипатия или различие во взглядах.

Если в ходе проекта выявляется конфликт, то дополнительно указывается принадлежность участника к позиции относительно предмета конфликта. Позиция условно обозначается «Согласен» («Agree»), «Не согласен» («Disagree») либо «Нейтральный» («Neutral»).

В результате определяется матрица отношений  $R$ , на основе которой строится взвешенный граф  $G$  внутрипроектной сети. Для определения сбалансированности в рамках настоящей работы используется бесплатно распространяемое программное обеспечение для анализа социальных сетей Pajek [25, 35].

По результатам анализа сбалансированности сети принимается соответствующее организационно-управленческое решение, направленное на преодоление разделения команды проекта.

После завершения непосредственно процедуры мониторинга оформляется соответствующий отчет. Если проект (этап) не завершен, выполняется очередная часть работ в соответствии с планом и принятыми решениями, и итерация мониторинга повторяется. В случае если цели проекта (этапа) достигнуты, исполнение завершается.

## 4. Апробация методики

### 4.1. Данные для проведения апробации

Проекты, на основе которых планировалось провести апробацию методики, отбирались по следующим условиям.

1. Проект должен иметь инжиниринговую направленность, т. е. быть связанным с разработкой, производством технических систем.
2. Наличие в ходе осуществления проекта какого-либо конфликта, который разделит всех участников проекта на две и более подгруппы, занимающие различные позиции касательно предмета конфликта и дальнейшего хода проекта.
3. Количество активных участников проекта должно быть не более 20.
4. Продолжительность проекта (в его активных стадиях: с начала планирования и проектирования до прекращения работ по реализации) до 24 месяцев.

Необходимо отметить, что использование условия 2 продиктовано тем, что конфликт является одним из наиболее типичных примеров проблем в проектных коммуникациях. Предполагается, что конфликтная стадия должна отразиться на структуре коммуникаций, и на ходе реализации проекта.

При анализе внутрипроектных сетей использовались данные о коммуникациях между участниками, относящихся непосредственно к теме проектов. Для сбора информации использовался метод включенного наблюдения [6], т. е. данные собирались от непосредственных участников проектов.

Для проведения апробации методики требовалось собрать следующую информацию по отобранным проектам:

- краткое описание проекта, включающее цели и задачи, поставленные перед командой, а также оценку успешности проекта;
- описание конфликтной ситуации внутри команды проекта и результатов разрешения;
- данные по затратам в финансовом или натуральном выражении, характеризующие плановый и фактический временной график осуществления работ по проекту;
- Описание коммуникаций в проекте в виде матриц отношений.

Коммуникации оценивались на момент, предшествующий конфликту (нейтральное состояние команды), а также в период наиболее острой стадии разногласий. Таким образом, по каждому проекту были подготовлены по матрицы отношений. В дальнейшем указанные матрицы использовались для оценки сбалансированности внутрипроектных сетей коммуникаций.

## 4.2. Описание проектов и результаты

Основой для апробации методики стала информация по следующим трем проектам:

*Проект А.* Разработка и запуск в эксплуатацию обучающего интернет-портала. Количество активных участников: 14.

На интернет-портале должны были размещаться обучающая экономическая игра и различный информационный контент. Игра представляет собой браузерную «стратегию» казуального типа, т. е. требующая планирования и выработки определенной стратегии поведения игрока для достижения поставленной цели, ориентированную на пользователей до 16 лет (учащиеся средних и старших классов школ) с использованием интернет-технологий. Элементы сюжета игры создавались с привлечением профильных технических экспертов для обеспечения достоверности.

*Предмет конфликта, возникшего в ходе проекта.* Длительное время участникам не удавалось согласовать концепцию и сценарий игры, поскольку часть кураторов проекта считала, что сюжет не будет интересен целевой аудитории.

*Итог конфликта.* Разногласия сторон удалось урегулировать после проведения дополнительного исследования фокус-групп из целевой пользовательской аудитории и внесения пожелания всех сторон, однако при этом были существенно превышены сроки выполнения работ. Общая оценка результата работ самими участниками — положительная.

Плановая длительность проекта:  $T_0(A) = 7$  месяцев (28 недель).

Фактическая длительность проекта:  $T(A) = 13,5$  месяцев (54 недели).

Графики изменения показателей освоенного объема для проекта А представлен на рис. 10.

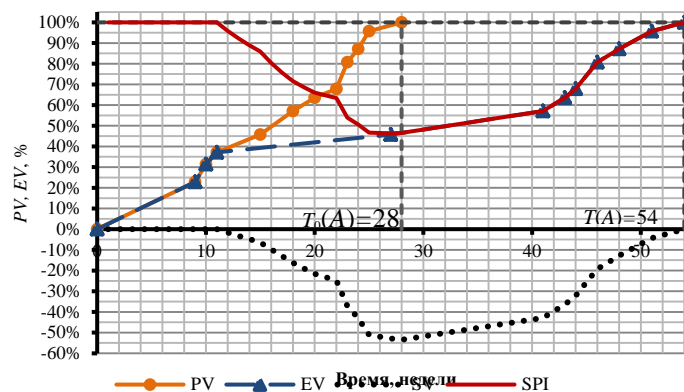


Рисунок 10. Графики изменения показателей освоенного объема в проекте А

*Проект В.* Разработка и внедрение корпоративной информационной системы управления проектами. Количество активных участников: 9.

Предназначение системы — автоматизация бизнес-процессов планирования и мониторинга исполнения по проектам компании, реализуемых в рамках программы развития организации, а также научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Система должна была интегрировать в себе средства планирования, мониторинга основных показателей проекта, документооборота и стать основным инструментом в работе проектного офиса компании энергетического сектора. Предполагалось, что пользователями системы могут быть как внутренние (работники компании), так и внешние участники (исполнители по контракту). Впоследствии систему предполагалось масштабировать на проекты других направлений.

*Предмет конфликта, возникшего в ходе проекта.* Будущие ведущие пользователи системы (руководители отделов), привлеченные в качестве экспертов, отказывались согласовать окончательные технические решения, поскольку считали, что предложенные решения не удовлетворяют требованиям. В то же время кураторы проекта разработчики полагали, что выдвинутые требования являются несущественными.

*Итог конфликта.* Сторонам не удалось прийти к единому мнению, из-за чего были нарушены сроки сдачи проекта, и, впоследствии, проект был отменен. Большинство участников отметило, что в ходе проекта не удалось достичь заявленных целей.

Плановая длительность проекта:  $T_0(B) = 15$  месяцев (59 недель).

Фактическая длительность проекта:  $T(B) = 18$  месяцев (71 неделя).

Графики изменения показателей освоенного объема для проекта А представлен на рис. 11.

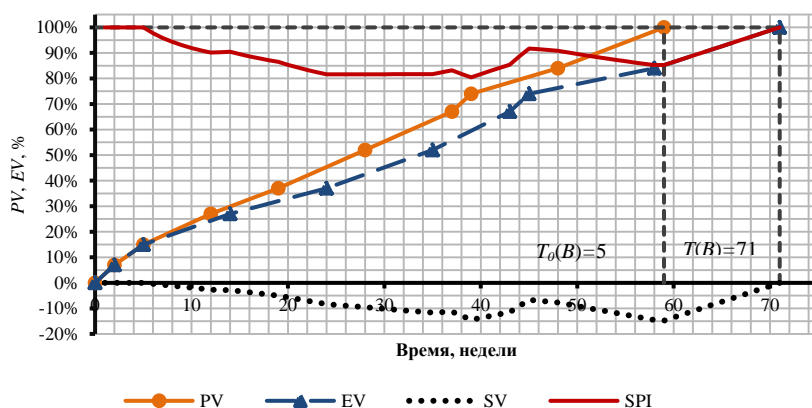


Рисунок 11. Графики изменения показателей освоенного объема в проекте В

*Проект С.* Создание онлайн-сервиса «I2IStudy.com», предназначенного для обучения иностранным языкам (рис. 12). Количество активных участников: 7.

Модель сервиса состояла в том, что пользователи из разных стран могли выступать как в роли обучаемых, так и в роли преподавателей. Действуя как преподаватели, пользователи получали виртуальное вознаграждение, которое потом могли тратить на оплату обучения выбранного иностранного языка. Предполагалось, что за время проекта разработчики смогут подготовить полноценную версию системы, достаточную для вывода на рынок, и предложения пользователям.

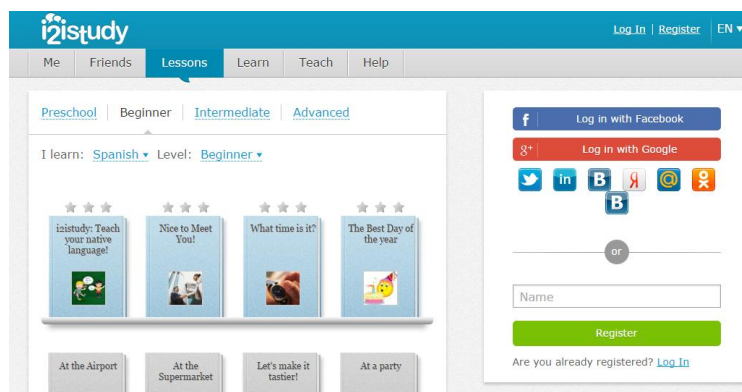


Рисунок 12. Страница сервиса I2IStudy.com (проект С).

*Предмет конфликта, возникшего в ходе проекта.* Изменение организации проекта, привлечение новых участников.

*Итог конфликта.* Запланированные сроки вывода продукта на рынок, были нарушены, часть участников была вынуждена отказаться от продолжения работы в проекте. Ключевой проблемой участники назвали невозможность компромисса по вопросу конфликта.

Плановая длительность проекта:  $T_0(C) = 12$  месяцев (48 недель).

Фактическая длительность проекта:  $T(C) = 17$  месяцев (68 недель).

Графики изменения показателей освоенного объема для проекта С представлены на рис. 14.

Сводная информация о параметрах проектов, отобранных в качестве основы для апробации, приведены в таблице 1.

Следует отметить, что в отношении рассматриваемых проектов не рассчитывались стоимостные параметры освоенного объема АС и СРІ. Это связано с тем, что проекты А и В реализовывались в рамках контрактов с фиксированной стоимостью, что исключало возможность изменения стоимости отдельных видов работ. Проект С организовывался как стартап, и, для его ключевых участников – владель-

цев и инвесторов — основным приоритетом было не соблюдение затратных ограничений, которые задавались как относительно нежесткие, а выполнение определенных задач с целью выпуска продукта на рынок в плановый срок.

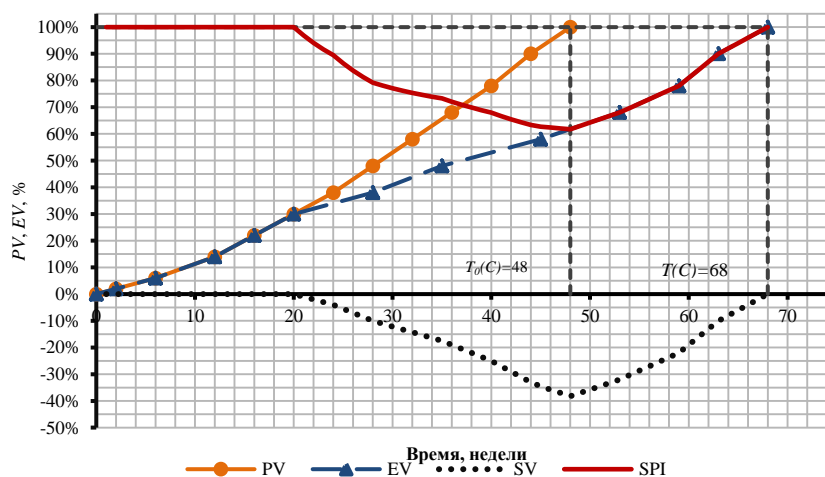


Рисунок 10. Графики изменения показателей освоения в проекте С.

Таблица 1. Сводные параметры проектов, использованных при апробации

Параметр	Проект		
	A	B	C
Количество участников	14	9	7
Плановая длительность, $T_0$ , в неделях	28	59	48
Фактическая длительность, $T$ , в неделях	54	71	68
$max SV$ , %	-53,5	-14,8	-38,3
$min SPI$ , %	46	80	62

Данные о коммуникациях (интенсивности и характере) по рассматриваемым проектам представлены в матрицах отношений (см. табл. 2–7). В этих таблицах указана принадлежность участников к сторонам конфликта (A — «Agree»; D — «Disagree»; N — «Neutral»). Красным цветом в таблицах отмечены характеристики отношений, которые изменились.

Построение матриц отношений выполнялось на основе опросов и интервью менеджеров проектов, которые также являлись активными участниками проектов. Соответственно, данные по их коммуникациям также отражены в таблицах. На основе собранных данных строились модели коммуникаций (социограммы) для внутрипроектных сетей. Для построения социограмм и последующего анализа сбалансированности была использована программа для анализа социальных сетей Pajek.

Таблица 2. Матрица отношений в проекте А до начала конфликта

Участники	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
A1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
A2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
A3	1	2	0	2	1	2	0	1	0	0	0	1	0	0
A4	0	0	2	0	0	1	0	1	0	1	0	2	0	0
A5	0	0	1	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0
A6	0	0	2	1	0	0	2	2	1	1	1	1	2	0
A7	0	0	0	0	1	0	0	2	1	2	1	0	0	0
A8	0	0	1	1	2	2	0	0	2	1	2	0	0	0
A9	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	1	0	0	0
A10	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0
A11	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	0	0	0	0
A12	2	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
A13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
A14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0

Таблица 3. Матрица отношений в проекте А в стадии конфликта

Участники	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
A1	0	2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	-1	1	0	2	1	2	0	-1	0	0	0	1	0	0
A4	0	1	2	0	0	1	0	1	0	1	0	2	0	0
A5	0	0	1	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0
A6	0	0	2	1	0	0	2	2	1	1	1	1	2	0
A7	0	0	0	0	1	0	0	2	1	2	1	0	0	0
A8	0	0	-1	1	2	2	0	0	2	1	2	0	0	0
A9	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	1	0	0	0
A10	0	0	0	1	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0
A11	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	0	0	0	0
A12	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
A13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
A14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
Сторона конфликта	D	N	D	D	A	N	A	A	N	A	N	N	N	N

Таблица 4. Матрица отношений в проекте В до начала конфликта

Участники	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1	0	2	1	0	0	0	0	1	0
B2	2	0	2	2	2	1	1	2	1
B3	1	2	0	1	0	0	0	1	0
B4	0	2	1	0	2	2	2	2	1
B5	0	2	0	2	0	2	0	1	1
B6	0	1	0	2	2	0	0	1	1
B7	0	1	0	2	0	0	0	2	2
B8	1	2	1	2	1	1	2	0	2
B9	0	1	0	1	1	1	2	2	0



Таблица 5. Матрица отношений в проекте В в стадии конфликта

Участники	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
B1	0	1	1	0	0	0	0	1	0
B2	1	0	2	2	2	1	1	2	1
B3	1	2	0	1	0	0	0	1	0
B4	0	2	1	0	2	2	2	-2	-2
B5	0	2	0	2	0	2	0	-1	-2
B6	0	1	0	2	2	0	0	-1	-1
B7	0	1	0	2	0	0	0	2	2
B8	1	2	1	-2	-1	-1	2	0	2
B9	0	1	0	-2	-2	-1	2	2	0
Сторона конфликта	A	A	A	D	D	N	N	A	A

Таблица 6. Матрица отношений в проекте С до начала конфликта

Участники	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0	2	2	2	1	2	2
C2	2	0	1	0	0	1	0
C3	2	1	0	2	1	1	0
C4	2	0	2	0	2	1	0
C5	1	0	1	2	0	0	0
C6	2	1	1	1	0	0	0
C7	2	0	0	0	0	0	0

Таблица 7. Матрица отношений в проекте С в стадии конфликта

Участники	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0	2	2	-2	-1	-1	2
C2	2	0	1	0	0	-1	0
C3	2	1	0	-1	1	1	0
C4	-2	0	-1	0	2	-1	0
C5	1	0	1	2	0	0	0
C6	-1	1	1	-1	0	0	0
C7	2	0	0	0	0	0	0
Сторона конфликта	D	D	D	A	A	A	N

На основе матриц отношений в программе анализа социальных сетей были построены модели внутривнутрипроектных сетей, которые характеризуют состояние коммуникаций до начала конфликта и в момент острой фазы разногласий.

Визуализацией моделей внутривнутрипроектных сетей являются графы, вершины которых соответствуют участникам проекта, а связи между вершинами – значимые коммуникации между участниками. Поскольку изначально предполагалось, что существующие среди участников связи являются обоюдными, то для построения графических моделей использовались неориентированные графы.

Модели сетей коммуникаций для исследуемых проектов в исходном состоянии показаны на рис. 14. Позиция участников в конфликте (рис. 15) отображена цветом соответствующих вершин: белым обозначены участники с позицией «Agree»; черным — «Disagree», серым — «Neutral». Цветовая кодировка вершин в графах,

изображающих сбалансированные сети (рис. 16), определяет принадлежность участника к кластеру (подгруппе).

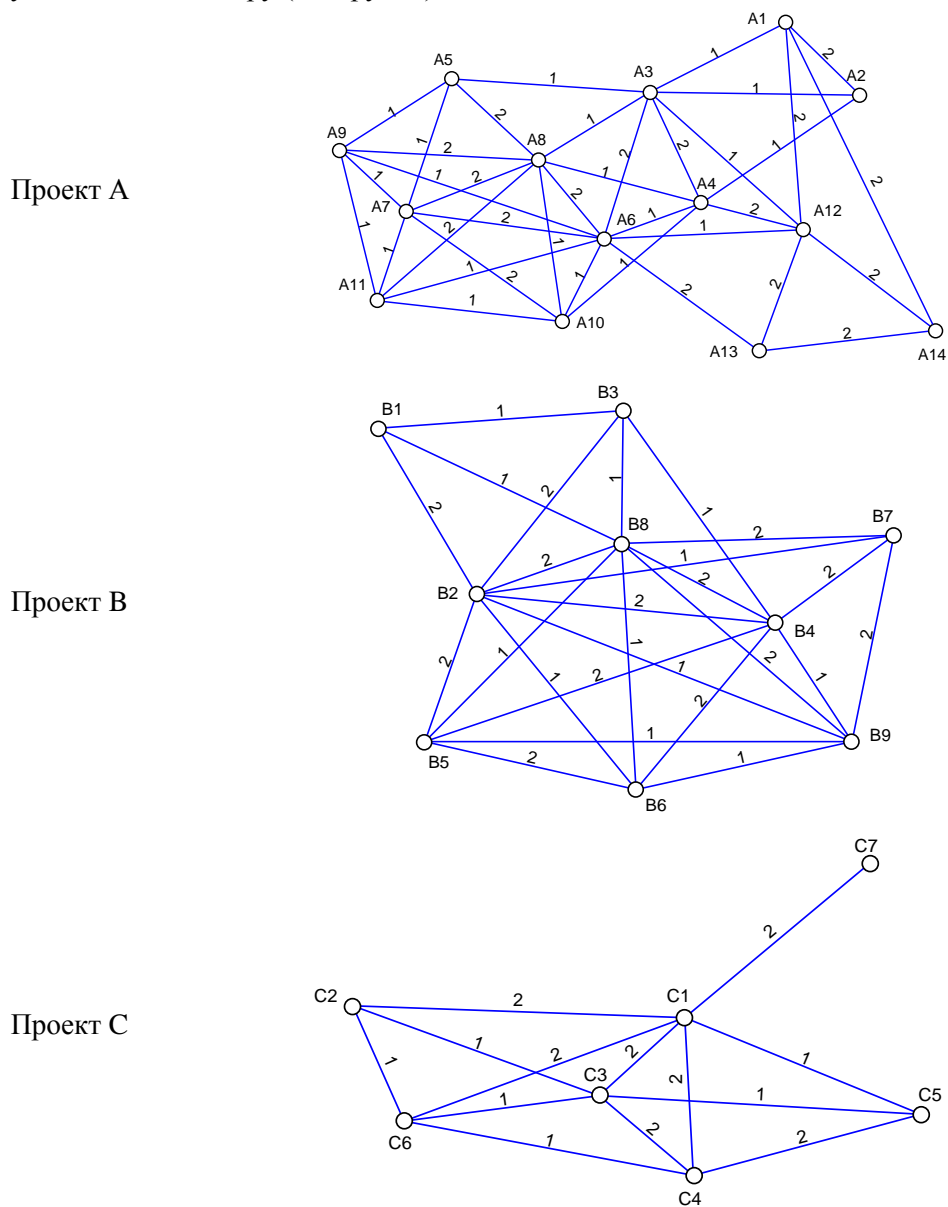
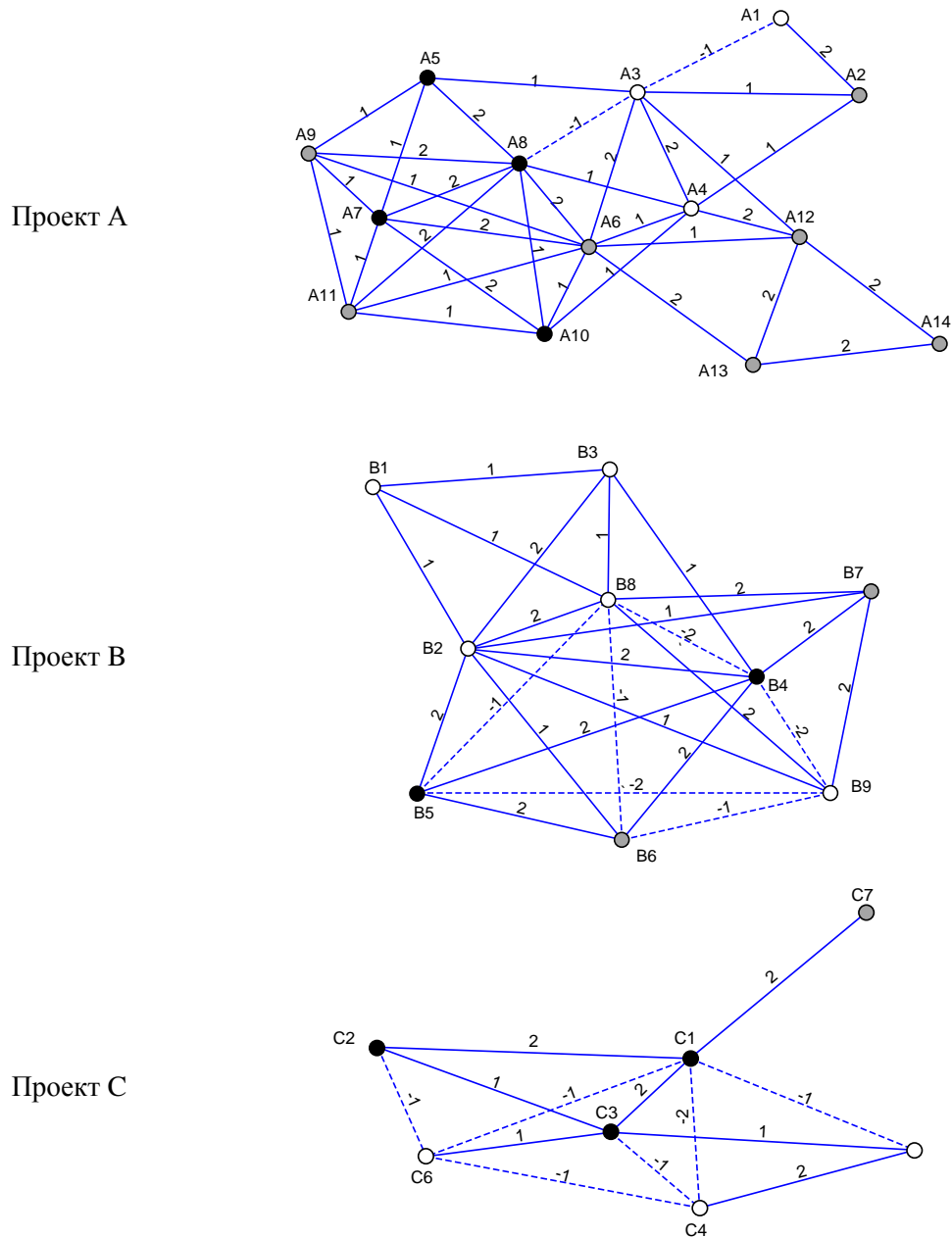
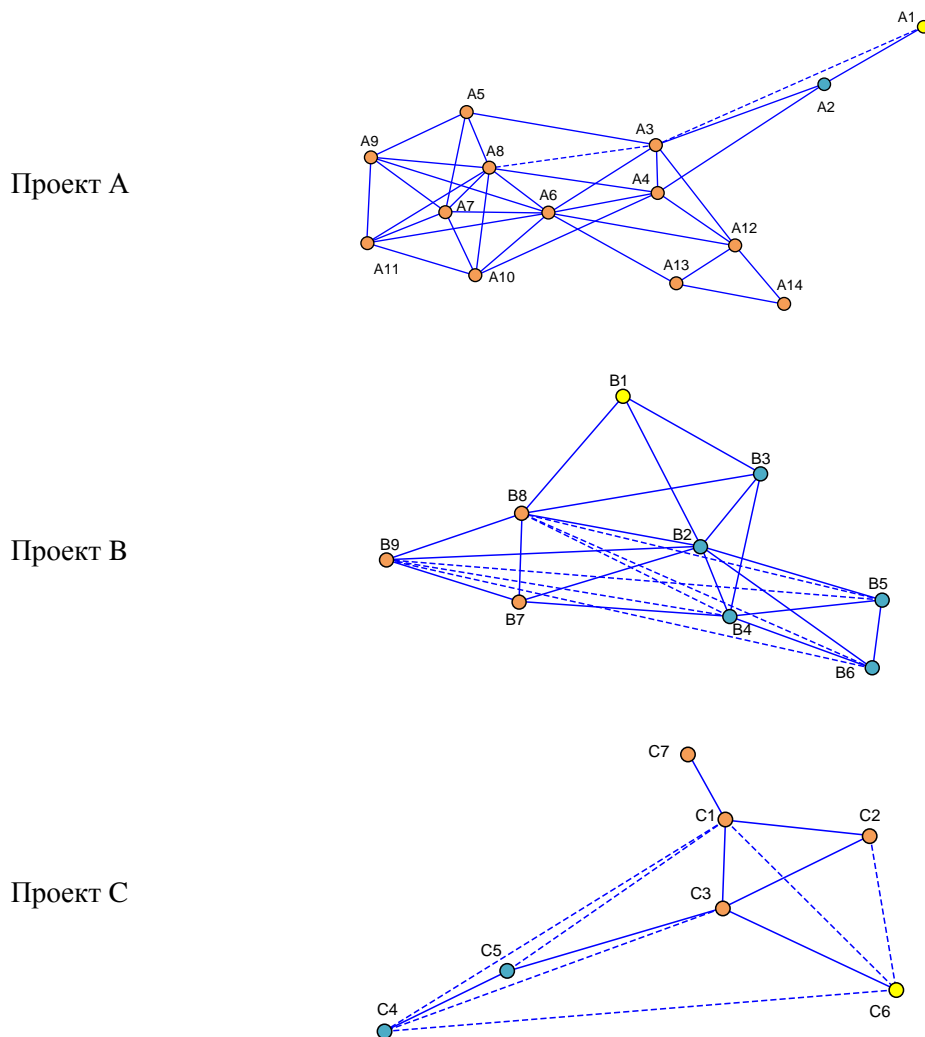


Рисунок 14. Модели внутрипроектных коммуникаций до начала конфликта



Обозначение позиции участников: ○ - “А” ● - “D” ● - “N”

Рисунок 15. Модели внутрипроектных коммуникаций в стадии конфликта



*Рисунок 16. Модели внутрипроектных коммуникаций в стадии конфликта после анализа сбалансированности*

## 5. Обсуждение результатов

Результаты анализа сбалансированности сети, выполненные в Paјek, приведены в табл. 8. Сопоставляя полученные решения с фактической информацией о проектах можно прийти к следующим выводам. В проекте А в стадии открытых разногласий находилось 7 участников, т. е. половина от общего числа участников проекта. Остальные демонстрировали нейтралитет. При этом надо отметить, что в структуре коммуникаций было всего две отрицательные связи. Анализ сбалансированно-

сти показал, что 12 участников состоят в общей подгруппе. Это свидетельствует о высокой эмоционально-психологической устойчивости и сплоченности команды проекта, на которую не повлияли различия во мнениях, и, следовательно, о высокой эффективности управления коммуникациями. По-видимому, это послужило существенным фактором, способствовавшим преодолению конфликтной стадии. Также надо отметить, что конфликт действительно привел к отставанию по срокам. Однако, принимая во внимание оценки результатов проекта, сделанные самими участниками, можно сделать вывод, что за счет эффективного управления коммуникациями и проектом противоречия были устранены, а цели достигнуты.

Таблица 8. Сводные параметры проектов, использованных при апробации

Параметр	Проект		
	А	В	С
Количество кластеров в сбалансированной сети	3	3	3
Число несбалансированных связей, между найденными кластерами	5	8	2

В структуре коммуникаций проекта В появляется большая доля отрицательных связей по сравнению с проектом А. Можно полагать, что в ситуации с проектом В конфликт протекал в более острой стадии, негативно влияя на отношения между участниками. Примечательно, что участников с позицией «Agree» больше, чем их оппонентов – 5 против 2. Но найденное сбалансированное решение показывает наличие двух подгрупп, почти одинаковых по количеству участников. Таким образом, характер коммуникаций между участниками стал возможной причиной более выраженного разделения внутривнутрипроектной сети на группы, а значит снижения уровня сотрудничества. Негативный фон в коммуникациях участника В6 с В8 и В9 способствует его переходу из нейтральной позиции к конфликтной по отношению к ним. Сложилась ситуация, когда у участника сети более хорошие отношения с оппонентом, чем с теми, кто разделяет его взгляды, что лишь усиливает разобщенность. Расхождения во взглядах, отсутствие симпатии в отношениях с единомышленниками отрицательно влияют на принятие решений. Это является признаками неэффективного управления коммуникации. Участники проекта В указывали на отсутствие единства в понимании целей. Анализ сбалансированности сети показал, что участники, между которыми было номинальное согласие, могли оказаться оппонентами. Конфликт, ставший причиной отклонений в ходе проекта, не был эффективно разрешен и привел к неудовлетворительным результатам.

Сеть участников проекта С довольно четко разделилась на 3 подгруппы, между которыми преобладают негативные отношения. У участников С4 и С6 по одной положительной связи с остальными, что затрудняет эффективное сотрудничество. Исходя из картины сбалансированной сети коммуникаций в проекте С, выход части

членов команды из проекта выглядит вполне естественным шагом. Коммуникации и отношения между участниками не способствовали разрешению конфликта, а, следовательно, в таком случае было сложно ожидать достижения поставленных целей.

В проекте А сеть коммуникаций между участниками оказалась устойчивой при возникновении конфликта. Его участники, даже имея противоположные точки зрения, сохраняли положительные связи со своими оппонентами. Следовательно, команда оставалась сплоченным коллективом, сохраняющим общность целей и видения проекта. Напротив, в проектах В и С легко выделяются обособленные подгруппы, находящиеся в устойчивой оппозиции друг к другу. Преобладающие отрицательные связи между подгруппами затрудняют информационный обмен, снижают общую продуктивность команды. Отсутствие анализа ситуации, в которой находились проекты В и С, и недостаточные усилия членов команды в отношении управления коммуникациями стали возможной причиной разобщенности и отрицательных результатов.

Анализируя данные по всем рассматриваемым проектам, можно сделать вывод, что недостаточное внимание коммуникациям действительно сказалось на ходе проектов, хотя в целом имело разные последствия. Во-первых, противоречия между участниками привели к отклонениям по срокам реализации во всех трех проектах. Однако, если в проекте А удалось достигнуть заявленные цели, то итог проекта В был признан неудовлетворительным, а в проекте С пришлось изменить команду участников.

Предложенная методика может дополнить инструменты управления проектами, используемые на практике инструменты. Прежде всего, она может быть использована как расширение методов контроля исполнения проектов. Этому должна способствовать сравнительная простота концепций, лежащих в ее основе.

При использовании средств анализа социальных коммуникаций на практике видится целесообразным иметь возможные варианты управленческих решений в зависимости от результатов анализа. Главным образом, это относится к разрешению конфликтов в проекте. Как отмечалось ранее, не выявленные вовремя или оставленные без внимания конфликты могут стать причиной неудач проектов. Рассмотренные подходы могут стать способом идентификации конфликтных ситуаций на ранних стадиях.

Для реализации методики на практике рекомендуется использовать стандартизированные опросные листы для построения матрицы коммуникаций. Такой способ существенно упростит сбор информации о коммуникациях внутри проекта. Полученная информация также будет востребована в контексте управления коммуникациями и командой проекта.

Ограничения предложенной методики связаны с ограничениями использования метода освоенного объема, а также с особенностями метода анализа социальных сетей.

Использование метода освоенного объема предполагает наличие развитых средств планирования и отслеживания выполнения работ. Такие средства используются далеко не всегда. В небольших проектах для мониторинга реализации проекта чаще применяется контроль статуса поставки промежуточных результатов на запланированную дату. Это не исключает применения методики, поскольку пороговые критерии отклонений могут быть заменены на сигнал об отсутствии промежуточного результата по графику. Однако при достаточно больших периодах между поставками будет сложно отследить снижение эффективности выполнения, а о превышении сроков будет известно по факту непосредственно на контрольную дату. Таким образом, для успешного использования методики должны быть разработаны и внедрены механизмы отслеживания хода работ, позволяющие оценить динамику изменений в проекте.

Другим ограничением методики является необходимость сбора информации о коммуникациях у одного лица для последующей обработки. В первую очередь таким лицом может выступить руководитель проекта, в чью зону ответственности входит управление коммуникациями. Важным условием будет являться то, что для исследования сбалансированности сети должны также учитываться неформальные коммуникации, которые достаточно сложно обозреть. Кроме того, в коммуникациях, осуществляемых между участниками, необходимо выделять составляющую, относящуюся непосредственно к теме проекта. Два участника, одновременно задействованные в нескольких проектах, могут иметь согласованную позицию по одному проекту и конфликтовать по вопросам другого. Таким образом, от лица, ведущего сбор и анализ коммуникаций, требуется корректный подход при отборе релевантной информации и ее оценке.

Следует отметить аспект нечеткости оценок коммуникаций, используемых при составлении матриц отношений. Такие оценки являются экспертными и часто формулируются в виде словесных выражений. Это может затруднить формальное использование методики.

Методы анализа социальных сетей в контексте управления коммуникациями видятся достаточно гибким и перспективным подходом, который только начинает использоваться в управленческой среде. Рассмотренная методика может быть расширена за счет включения в рассмотрение дополнительных параметров оценки коммуникаций, таких как индексы центральности, плотность. Это даст возможность проводить более глубокий анализ состояния коммуникаций, выявлять неформальных лидеров или узкие места в каналах распространения информации.

Кроме того, такие подходы целесообразно использовать не только применительно к отдельному проекту, но и в отношении всей организации.

Ранее была отмечена возможная проблема, связанная с нечеткостью оценок коммуникаций, выдаваемых участниками проекта. Для ее решения могут быть использованы методы нечеткой логики, позволяющие строить решения на основе нестрогих суждений, рассуждений.

## 6. Заключение

Коммуникации служат средой для интеграции участников, трансформируя их из отдельных исполнителей в единую команду. По мнению практиков проектного управления, в настоящее время фактором успеха становятся не процессы или методики, а коммуникации и отношения между участниками. Прежде всего, это касается инжиниринговых проектов, поскольку такие проекты нацелены на разработку новых, сложных инновационных технических продуктов, что требует взаимодействия целого ряда специалистов из различных подразделений и областей знаний. Формальные и неформальные связи участников проектной сети в совокупности образуя коммуникационную среду проекта. Характер и структура связей влияют на эффективность управления проектом и, следовательно, могут служить индикатором успешности проекта.

В настоящей работе на основе методов анализа социальных сетей был рассмотрен подход по оценке влияния социальных коммуникаций на эффективность проектного менеджмента на примере инжиниринговых проектов.

Сформулированы формальные способы описания внутрипроектных коммуникаций, описаны теоретические аспекты методики мониторинга исполнения проекта с учетом оценки влияния коммуникаций. За основу методики использован подход мониторинга эффективности управления проектами, используемый в методе освоенного объема. В свою очередь, оценка состояния коммуникаций ведется посредством анализа сбалансированности внутрипроектной сети. По итогам рассмотрен оптимизированный цикл мониторинга проекта и сформулированы его основные шаги.

По результатам апробации подготовлены рекомендации по использованию методики, а также сделаны необходимые замечания относительно возможных ограничений. Кроме того, приведены соображения по поводу направлений возможного развития методики. Отмечено, что рассматриваемый подход может быть расширен за счет включения в анализ дополнительных параметров (центральность, плотность и т. д.), использования правил нечеткой логики для построения оценок.



## Литература

- [1] ГОСТ Р 54869-11 «Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом».
- [2] ГОСТ Р 54870-2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению портфелем проектов»
- [3] ISO21500:2012 Guidance on project management. [Электронный ресурс] // Справочная система «ТехЭксперт». URL: www.cntd.ru.
- [4] Артонкина Н. В. Национальные стандарты по управлению проектами // *Современные технологии делопроизводства и документооборота*. 2013. № 9. С. 23–31.
- [5] Грашина М. Основы управления проектами. — Санкт-Петербург : Питер, 2006.
- [6] Девятко И. Ф. Методы социологического исследования. — М. : Книж. дом «Университет», 2010.
- [7] Ковчegov В. Б. Модель динамики групповых структур человеческих обществ // *Социология: методология, методы, математическое моделирование*. 1991. № 1. С. 75–98.
- [8] Колосова Е. В. Показатели освоенного объема в управлении проектами // *Управление большими системами : сборник трудов*. 2000. № 2. С. 62–70.
- [9] Олексиенко Ю. Г. Методы контроля исполнения проектов: автореф. дис. канд. экон. наук: 08.00.05. — М. : ГУ-ВШЭ, 2005.
- [10] Свод знаний по управлению проектами. Четвертое издание (Руководство РМВоК). – Project Management Institute, 2008.
- [11] Титов С.А., Титова Н.В., Новикова Н.А. Методы анализа социальной сети для оптимизации системы коммуникаций в проектно-ориентированной компании // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 12–2. С. 412–417.
- [12] Титов С. А. Проблемы и направления развития теории и практики управления высокотехнологическими проектами. — М. : МТИ, 2015.
- [13] Управление проектами: учебник для бакалавров / А. И. Балашов, Е. М. Рогова, М. В. Тихонова, Е. А. Ткаченко; под ред. Е. М. Роговой. — М. : Юрайт, 2013.
- [14] Управление проектом. Основы проектного управления : учебник / кол. авт.; под ред. проф. М. Л. Разу. — М.: КНОРУС, 2006.
- [15] Чураков А. Н. Анализ социальных сетей // *Социологические исследования*. 2001. № 1. С. 109–121.
- [16] Akgün A. E., Lynn G. S., Byrne J. C. Taking the guesswork out of new product development: how successful high-tech companies get that way // *Journal of Business Strategy*. 2004. VOL. 25, No. 4. P. 41–46.
- [17] Allen J., James A. D., Gamlen P. Formal versus informal knowledge networks in R&D: a case study using social network analysis // *R&D Management*. 2007. Vol. 37. No. 3. P. 179–196.

- [18] *Al-Rawas A., Easterbrook S.* Communication problems in requirements engineering: a field study // *Proceedings of the 1st Westminster Conference on Professional Awareness in Software Engineering*, London, February 1996. P. 47–60.
- [19] *Alsamadani R., Hallowell M., Javernick-Will A. N.* Measuring and modelling safety communication in small work crews in the US using social network analysis // *Construction Management and Economics*. 2013. Vol. 31. No. 6. P. 568–579.
- [20] *Anbari F. T.* Earned value project management method and extensions // *Project management journal*. 2003. Vol. 34. No. 4. P. 12–23.
- [21] *Archibald R. D.* The history of modern project management: key milestones in the early PERT/CPM/PDM days, 1987.
- [22] *Atkinson R.* Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria // *International journal of project management*. 1999. Vol. 17. No. 6. P. 337–342.
- [23] *Baccarini D.* The logical framework method for defining project success // *Project management journal*. 1999. Vol. 30. No. 4. P. 25–32.
- [24] *Baker B. N., Murphy D. C., Fisher D.* Factors affecting project success // *In Project Management Handbook; Second Edition*. — 2008. P. 902–919.
- [25] *Batagelj V. et al.* Generalized blockmodeling with Pajek // *Metodoloski zvezki*. 2004. Vol. 1. No. 2. P. 455.
- [26] *Brown S. L., Eisenhardt K. M.* Product development: Past research, present findings, and future directions // *Academy of management review*. 1995. Vol. 20. No. 2. P. 343–378.
- [27] *Chinowsky P. S., Diekmann J., O'Brien J.* Project organizations as social networks // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2009. Vol. 136. No. 4. P. 452–458.
- [28] *Chinowsky P., Diekmann J., Galotti V.* Social network model of construction // *Journal of construction engineering and management*. 2008. Vol. 134. No. 10. P. 804–812.
- [29] *Clarke A.* A practical use of key success factors to improve the effectiveness of project management // *International Journal of Project Management*. 1999. Vol. 17. No. 3. P. 139–145.
- [30] *Cooke-Davies T.* The “real” success factors on projects // *International journal of project management*. 2002. Vol. 20. No. 3. P. 185–190.
- [31] *Cooper R. G., Kleinschmidt E. J.* Winning businesses in product development: The critical success factors // *Research technology management*. 1996. Vol. 39. No. 4. P. 18.
- [32] *Crawford L., Pollack J.* Hard and soft projects: a framework for analysis // *International Journal of Project Management*. 2004. Vol. 22. No. 8. P. 645–653.
- [33] *Cross R., Parker A., Borgatti S. P.* A bird’s-eye view: Using social network analysis to improve knowledge creation and sharing. — IBM Institute for Business Value, 2002. P. 1669–1600.

- [34] De Marco A., Narbaev T. Earned value-based performance monitoring of facility construction projects // *Journal of Facilities Management*. 2013. Vol. 11. No. 1. P. 69–80.
- [35] De Nooy W., Mrvar A., Batagelj V. Exploratory social network analysis with Pajek. — Cambridge University Press, 2011.
- [36] De Wit A. Measurement of project success // *International journal of project management*. 1988. Vol. 6. No. 3. P. 164–170.
- [37] Doreian P., Mrvar A. Partitioning signed social networks // *Social Networks*. 2009. Vol. 31. No. 1. P. 1–11.
- [38] Fincham R. Narratives of success and failure in systems development // *British Journal of Management*. 2002. Vol. 13. No. 1. P. 1–14.
- [39] Fliaster A., Schloderer F. Dyadic ties among employees: Empirical analysis of creative performance and efficiency // *Human Relations*. 2010. Vol. 63. No. 10. P. 1513–1540.
- [40] Forsberg K., Mooz H., Cotterman H. Visualizing project management: models and frameworks for mastering complex systems. — John Wiley & Sons, 2005.
- [41] Ghosh S. et al. Enhance PMBOK® by Comparing it with P2M, ICB, PRINCE2, APM and Scrum Project Management Standards // *PM World Today*. 2012. Vol. 14. No. 1. P. 1–77.
- [42] Gillard S., Johansen J. Project management communication: a systems approach // *Journal of Information Science*. 2004. Vol. 30. No. 1. P. 23–29.
- [43] Grandori A., Soda G. Inter-firm networks: antecedents, mechanisms and forms // *Organization studies*. 1995. Vol. 16. No. 2. P. 183–214.
- [44] He P., Li B., Huang Y. Applying centrality measures to the behavior analysis of developers in open source software community // 2012 Second International Conference on Cloud and Green Computing (CGC). — IEEE, 2012. P. 418–423.
- [45] Hinds D., Lee R. M. Social network structure as a critical success condition for virtual communities // Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences. — IEEE, 2008. P. 323–323.
- [46] Ika L. A. Project success as a topic in project management journals // *Project Management Journal*. 2009. Vol. 40. No. 4. P. 6–19.
- [47] Jugdev K., Müller R. A retrospective look at our evolving understanding of project success. — Project Management Institute, 2005.
- [48] Kappelman L. A., McKeeman R., Zhang L. Early warning signs of IT project failure: The dominant dozen // *Information systems management*. 2006. Vol. 23. No. 4. P. 31–36.
- [49] Kelley J. E., Walker M. R. The origins of CPM: A personal history // *PM network*. 1989. Vol. 3. No. 2. P. 7–22.
- [50] Kerzner H. Advanced project management: Best practices on implementation. — John Wiley & Sons, 2004.

- [51] Kerzner H. R. Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling. — John Wiley & Sons, 2013.
- [52] Kratzer J., Gemünden H. G., Lettl C. Balancing creativity and time efficiency in multi-team R&D projects: the alignment of formal and informal networks // *R&D Management*. 2008. Vol. 38. No. 5. P. 538–549.
- [53] Lehtinen T. O. A. et al. Perceived causes of software project failures—An analysis of their relationships // *Information and Software Technology*. 2014. Vol. 56. No. 6. P. 623–643.
- [54] Lim C. S., Mohamed M. Z. Criteria of project success: an exploratory re-examination // *International journal of project management*. 1999. Vol. 17. No. 4. P. 243–248.
- [55] Loosemore M. Social network analysis: using a quantitative tool within an interpretative context to explore the management of construction crises // *Engineering, Construction and Architectural Management*. 1998. Vol. 5. No. 4. P. 315–326.
- [56] May L. J. Major causes of software project failures // *CrossTalk: The Journal of Defense Software Engineering*. 1998. Vol. 11. No. 6. P. 9–12.
- [57] McLeod L., MacDonell S. G. Factors that affect software systems development project outcomes: A survey of research // *ACM Computing Surveys (CSUR)*. 2011. Vol. 43. No. 4. P. 24.
- [58] Mead S. P. Using social network analysis to visualize project teams // *Project Management Journal*. 2001. Vol. 32. No. 4. P. 32–38.
- [59] Mueller-Prothmann T., Finke I. SELaKT—Social Network Analysis as a Method for Expert Localisation and Sustainable Knowledge Transfer // *J. UCS*. 2004. Vol. 10. No. 6. P. 691–701.
- [60] Munns A. K., Bjeirmi B. F. The role of project management in achieving project success // *International journal of project management*. 1996. Vol. 14. No. 2. P. 81–87.
- [61] Oliver A. L., Ebers M. Networking network studies: an analysis of conceptual configurations in the study of inter-organizational relationships // *Organization studies*. 1998. Vol. 19. No. 4. P. 549–583.
- [62] Osipov I. V. et al. Study of Monetization as a Way of Motivating Freemium Service Users // *Contemporary Engineering Sciences*, 2015. Vol. 8. No. 20. P. 911–918.
- [63] P. Dietrich. Mechanisms for inter-project integration—empirical analysis in program context // *Project Management Journal*. 2006. Vol. 37. No. 3. P. 49.
- [64] Pinto J. K., Slevin D. P. Project success: definitions and measurement techniques // *Project Management Journal*. 1988. Vol. 19. №. 3. P. 67–73.
- [65] Pinto M. B., Pinto J. K. Project team communication and cross-functional cooperation in new program development // *Journal of product innovation management*. 1990. Vol. 7. No. 3. P. 200–212.
- [66] Plokhov D., Osipov I. V., Bubnov G. Using social network analysis techniques to study the efficiency of interproject communication // *ITM Web of Conferences*. 2016. Vol. 6.

- [67] Plokhov D., Osipov I. V., Titov S., Nikulchev E. Study the efficiency of interproject communication with social network analysis // *Quality — Access to success*. 2016. Vol. 17. No. 153.
- [68] Posner B. Z. What's all the fighting about? Conflicts in project management // *IEEE Transactions on Engineering Management*. 1986. No. 4. P. 207–211.
- [69] Pryke S. D. Analysing construction project coalitions: exploring the application of social network analysis // *Construction Management and Economics*. 2004. Vol. 22. No. 8. P. 787–797.
- [70] Pryke S. D. Towards a social network theory of project governance // *Construction Management and Economics*. 2005. Vol. 23. No. 9. P. 927–939.
- [71] Reed W. A. Unexposed, unexplored, and unresolved conflict as precursors to the failure of high technology projects: This. — University of Missouri, 2006.
- [72] Rothwell R. Successful industrial innovation: critical factors for the 1990s // *R&D Management*. 1992. Vol. 22. No. 3. P. 221–240.
- [73] Shenhar A. J. et al. Project success: a multidimensional strategic concept // *Long range planning*. 2001. Vol. 34. No. 6. P. 699–725.
- [74] Shenhar A. J., Dvir D. Reinventing project management: the diamond approach to successful growth and innovation. — Harvard Business Review Press, 2007.
- [75] Shenhar A. J., Levy O., Dvir D. Mapping the dimensions of project success // *Project management journal*. 1997. Vol. 28. No. 2. P. 5–13.
- [76] Snyder J. R. Modern Project Management: How Did We Get Here — where Do We Go? // *Project management journal*. 1987. Vol. 18. No. 1. P. 28–29.
- [77] Song M., Noh J. Best new product development and management practices in the Korean high-tech industry // *Industrial Marketing Management*. 2006. Vol. 35. No. 3. P. 262–278.
- [78] Sumner M. Risk factors in enterprise-wide/ERP projects // *Journal of information technology*. 2000. Vol. 15. No. 4. P. 317–327.
- [79] Thamhaim H. J., Wilemon D. L. Conflict management in project life cycles // *Sloan Management Review*. 1975. Vol. 16. No. 3. P. 31.
- [80] Väänänen M. Communication in high technology product development projects. Project personnel's viewpoint for improvement: This. — University of Oulu, 2010.
- [81] Van Antwerp M., Madey G. The importance of social network structure in the open source software developer community // 2010 43rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). — IEEE, 2010. P. 1–10.
- [82] Van den Bulte C., Moenaert R. K. The effects of R&D team co-location on communication patterns among R&D, marketing, and manufacturing // *Management Science*. 1998. Vol. 44. No. 11 part 2. P. S1–S18.
- [83] Verma V. K. Conflict management // In: The Project Management Institute Project Management Handbook / Ed. Jeffrey Pinto. — 1998.

- [84] *Wallace L., Keil M., Rai A.* Understanding software project risk: a cluster analysis // *Information & Management*. 2004. Vol. 42. No. 1. P. 115–125.
- [85] *Wasserman S., Faust K.* Social network analysis: Methods and applications. — Cambridge university press, 1994.
- [86] *Wateridge J.* How can IS/IT projects be measured for success? // *International journal of project management*. 1998. Vol. 16. No. 1. P. 59–63.
- [87] *Дмитриев К., Филимонов А.* Стандарты по компетенциям в области управления проектами [Электронный ресурс] // НП «Ассоциация управления проектами «СОВНЕТ». URL: [www.sovnet.ru/library/publications/2792/](http://www.sovnet.ru/library/publications/2792/)
- [88] *Солянтэ А. Ю.* Обзор международных и национальных стандартов по управлению проектами [Электронный ресурс] // BPM Consulting Group. URL: [www.bpm-cg.ru/materials/content/00006\\_soolyatte\\_standards\\_pm\\_10\\_2012.pdf](http://www.bpm-cg.ru/materials/content/00006_soolyatte_standards_pm_10_2012.pdf).
- [89] *Haughey D.* Understanding the Project Management Triple Constraint [Электронный ресурс]// URL: [www.projectsart.co.uk/understanding-the-project-management-triple-constraint.php](http://www.projectsart.co.uk/understanding-the-project-management-triple-constraint.php).
- [90] The High Cost of Low Performance – The essential Role of Communication”, Project Management Institute, Pulse of the Profession In-Depth Report, May, 2013 [Электронный ресурс]// URL: <http://www.pmi.org/business-solutions/~media/PDF/Business-Solutions/The-High-Cost-Low-Performance-The-Essential-Role-of-Communications.ashx>

**Авторы:**

*Дмитрий Викторович Плохов* — магистрант Высшей школы системного инжиниринга, Московский физико-технический институт (технологический университет)

*Евгений Витальевич Никульчев* — доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, Московский технологический институт

*Сергей Анатольевич Титов* — кандидат экономических наук, доцент, декан факультета экономика и менеджмента, Московский технологический институт

*Илья Викторович Осипов* — директор, i2study Inc. (США, Сан-Франциско)

## Study of the Effect of a Social Communications on Success of Innovation Project

*D. Plokhov\*, E. Nikulchev\*\*, S. Titov\*\*, I. Osipov\*\*\**

*\*Moscow Institute of Physics and Technology  
9, Institutskij, Dolgoprudny, Moscow region, Russia, 141700*

*\*\*Moscow Technological Institute  
38A, Leninskiy pr., Moscow, Russia, 119334*

*\*\*\*i2i study, Inc.  
San Francisco, CA, USA*

*e-mail: plokhov.dmitry@yandex.ru, nikulchev@mail.ru, s\_titov@mti.edu.ru,  
ilyavosipov@gmail.com*

*Abstract.* Communications serve as the environment for integrating project participants, transforming them from individual office players into the cohesive project team. From the perspective of project management practitioners, communications and relations between project participants turn into essential project success factors. Taken together, formal and informal social ties of project network participants compose communication environment of the project. Connections' character and structure influence project management performance and therefore can be potentially seen as indicators of project success. In the present paper the approach based on social network analysis techniques is applied for assessing possible impact of social communications on performance of engineering projects.

*Keywords:* project management, innovation projects, project success, social communication

## References

- [1] Russian Standart P 54869-11 Project management Requirements for project management.
- [2] Russian Standart P 54870-2011 Project management. Requirements for projects portfolio management.
- [3] ISO21500:2012 Guidance on project management.
- [4] Artonkina N. V. (2013) *Sovremennye tehnologii deloproizvodstva i dokumentooborota*, 9:23–31. [In Rus]
- [5] Grashina M. (2006) *Osnovy upravlenija proektami*. Sankt-Peterburg. [In Rus]
- [6] Devjatko I. F. (2010) *Metody sociologicheskogo issledovaniya*. Moscow. [In Rus]
- [7] Kovchegov V. B. (1991) *Sociologija: metodologija, metody, matematicheskoe modelirovanie*, 1:75–98. [In Rus]
- [8] Kolosova E. V. (2000) *Upravlenie bol'shimi sistemami*, 2:62–70. [In Rus]



- [9] Oleksienko Y. G. (2005) Metody kontrolja ispolnenija proektov. Thisis. HSE. [In Rus]
- [10] Rukovodstvo PMBoK (2008) Project Management Institute, 2008. [In Rus]
- [11] Titov S.A. et al. (2015) *Fundamentalnye issledovanija*, **12**: 412–417. [In Rus]
- [12] Titov S. A. (2015) Problemy i napravlenija razvitija teorii i praktiki upravljenija vysokotehnologicheskimi proektami. Moscow, MTI. [In Rus]
- [13] Balashov A. I., Rogova E. M., Tihonova M. V., Tkachenko E. A. (2013) Upravlenie proektami: uchebnik dlja bakalavrov; Eds. E. M. Rogovoy. Moscow. [In Rus]
- [14] Razu M. L. (Eds.) (2006) Upravlenie proektom. Osnovy proektnogo upravljenija. Mscow. [In Rus]
- [15] Churakov A. N. (2001) *Sociologicheskie issledovanija*, 1:109–121. [In Rus]
- [16] Akgün A. E., Lynn G. S., Byrne J. C. (2004) *Journal of Business Strategy*, **25**(4):41–46.
- [17] Allen J., James A. D., Gamlen P. (2007) *R&D Management*, **37**(3):179–196.
- [18] Al-Rawas A., Easterbrook S. (1996) Communication problems in requirements engineering: a field study. In Proc. of the 1st Westminster Conference on Professional Awareness in Software Engineering, London, p. 47–60.
- [19] Alsamadani R., Hallowell M., Javernick-Will A. N. (2013) *Construction Management and Economics*, **31**(6):568–579.
- [20] Anbari F. T. (2003) *Project management journal*, **34**(4):12–23.
- [21] Archibald R. D. (1987) The history of modern project management: key milestones in the early PERT/CPM/PDM days.
- [22] Atkinson R. (1999) *International journal of project management*, **17**(6):337–342.
- [23] Baccarini D. (1999) *Project management journal*, **30**(4):25–32.
- [24] Baker B. N., Murphy D. C., Fisher D. (2008) Factors affecting project success. In Project Management Handbook; Second Edition, p. 902–919.
- [25] Batagelj V. et al. (2004) *Metodoloski zvezki*, **1**(2):455.
- [26] Brown S. L., Eisenhardt K. M. (1995) *Academy of management review*, **20**(2):343–378.
- [27] Chinowsky P. S., Diekmann J., O'Brien J. (2009) *Journal of Construction Engineering and Management*, **136**(4):452–458.
- [28] Chinowsky P., Diekmann J., Galotti V. (2008) *J. of const. engin. and manag.*, **134**(10):804.
- [29] Clarke A. (1999) *International Journal of Project Management*, **17**(3):139–145.
- [30] Cooke-Davies T. (2002) *International journal of project management*, **20**(3):185–190.
- [31] Cooper R. G., Kleinschmidt E. J. (1996) *Research technology management*, **39**(4):18.
- [32] Crawford L., Pollack J. (2004) *International Journal of Project Management*, **22**(8): 645–653.



- [33] Cross R., Parker A., Borgatti S. P. (2002) A bird's-eye view: Using social network analysis to improve knowledge creation and sharing. IBM Institute for Business Value, p. 1669–1600.
- [34] De Marco A., Narbaev T. (2013) *Journal of Facilities Management*, **11**(1):69–80.
- [35] De Nooy W., Mrvar A., Batagelj V. (2011) Exploratory social network analysis with Pajek. Cambridge University Press.
- [36] De Wit A. (1988) *International journal of project management*, **6**(3):164–170.
- [37] Doreian P., Mrvar A. (2009) *Social Networks*, **31**(1):1–11.
- [38] Fincham R. (2002) *British Journal of Management*, **13**(1):1–14.
- [39] Fliaster A., Schloderer F. (2010) *Human Relations*, **63**(10):1513–1540.
- [40] Forsberg K., Mooz H., Cotterman H. (2005) Visualizing project management: models and frameworks for mastering complex systems. John Wiley & Sons.
- [41] Ghosh S. et al. (2012) *PM World Today*, **14**(1):1–77.
- [42] Gillard S., Johansen J. (2004) *Journal of Information Science*, **30**(1):23–29.
- [43] Grandori A., Soda G. (1995) *Organization studies*, **16**(2):183–214.
- [44] He P., Li B., Huang Y. (2012) Applying centrality measures to the behavior analysis of developers in open source software community. In 2012 Second International Conference on Cloud and Green Computing (CGC), p. 418–423.
- [45] Hinds D., Lee R. M. (2008) Social network structure as a critical success condition for virtual communities. In Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences, p. 323–323.
- [46] Ika L. A. (2009) *Project Management Journal*, **40**(4):6–19.
- [47] Jugdev K., Müller R. (2005) A retrospective look at our evolving understanding of project success. Project Management Institute.
- [48] Kappelman L. A., McKeeman R., Zhang L. (2006) *Information systems management*, **23**(4):31–36.
- [49] Kelley J. E., Walker M. R. (1989) *PM network*, **3**(2):7–22.
- [50] Kerzner H. (2004) Advanced project management: Best practices on implementation. John Wiley & Sons.
- [51] Kerzner H. R. (2013) Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling. John Wiley & Sons.
- [52] Kratzer J., Gemünden H. G., Lettl C. (2008) *R&D Management*, **38**(5):538–549.
- [53] Lehtinen T. O. A. et al. (2014) *Information and Software Technology*, **56**(6):623–643.
- [54] Lim C. S., Mohamed M. Z. (1999) *Intern. journal of project management*, **17**(4):243–248.
- [55] Loosemore M. (1998) *Engineering, Construction and Architectural Manag.*, **5**(4):315–326.

- [56] May L. J. (1998) *CrossTalk: The Journal of Defense Software Engineering*, **11**(6):9–12.
- [57] McLeod L., MacDonell S. G. (2011) *ACM Computing Surveys (CSUR)*, **43**(4):24.
- [58] Mead S. P. (2001) *Project Management Journal*, **32**(4):32–38.
- [59] Mueller–Prothmann T., Finke I. (2004) *J. UCS*, **10**(6):691–701.
- [60] Munns A. K., Bjeirmi B. F. (1996) *International journal of project management*, **14**(2): 81–87.
- [61] Oliver A. L., Ebers M. (1998) *Organization studies*, **19**(4):549–583.
- [62] Osipov I. V. et al. (2015) *Contemporary Engineering Sciences*, **8**(20):911–918.
- [63] P. Dietrich (2006) *Project Management Journal*, **37**(3):49.
- [64] Pinto J. K., Slevin D. P. (1988) *Project Management Journal*, **19**(3):67–73.
- [65] Pinto M. B., Pinto J. K. (1990) *Journal of product innovation management*, **7**(3):200–212.
- [66] Plokhov D., Osipov I. V., Bubnov G. (2016) *ITM Web of Conferences*, **6**.
- [67] Plokhov D., Osipov I. V., Titov S., Nikulchev E. (2016) *Quality — Access to success*, **17**(153).
- [68] Posner B. Z. (1986) *IEEE Transactions on Engineering Management*, **4**:207–211.
- [69] Pryke S. D. (2004) *Construction Management and Economics*, **22**(8):787–797.
- [70] Pryke S. D. (2005) *Construction Management and Economics*, **23**(9):927–939.
- [71] Reed W. A. (2006) Unexposed, unexplored, and unresolved conflict as precursors to the failure of high technology projects: This. University of Missouri.
- [72] Rothwell R. (1992) *R&D Management*, **22**(3):221–240.
- [73] Shenhar A. J. et al. (2001) *Long range planning*, **34**(6):699–725.
- [74] Shenhar A. J., Dvir D. (2007) *Reinventing project management: the diamond approach to successful growth and innovation*. Harvard Business Review Press.
- [75] Shenhar A. J., Levy O., Dvir D. (1997) *Project management journal*, **28**(2):5–13.
- [76] Snyder J. R. (1987) *Project management journal*, **18**(1):28–29.
- [77] Song M., Noh J. (2006) *Industrial Marketing Management*, **35**(3):262–278.
- [78] Sumner M. (2000) *Journal of information technology*, **15**(4):317–327.
- [79] Thamhaim H. J., Wilemon D. L. (1975) *Sloan Management Review*, **16**(3):31.
- [80] Väänänen M. (2010) Communication in high technology product development projects. Project personnel’s viewpoint for improvement. This., University of Oulu.
- [81] Van Antwerp M., Madey G. (2010) The importance of social network structure in the open source software developer community. In 2010 43rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 1–10.
- [82] Van den Bulte C., Moenaert R. K. (1998) *Management Science*, **44**(11):S1–S18.

- [83] Verma V. K. (1998) Conflict management. In The Project Management Institute Project Management Handbook, Ed.: Jeffrey Pinto.
- [84] Wallace L., Keil M., Rai A. (2004) *Information & Management*, **42**(1):115–125.
- [85] Wasserman S., Faust K. (1994) Social network analysis: Methods and applications. Cambridge university press.
- [86] Wateridge J. (1998) *International journal of project management*, **16**(1):59–63.
- [87] [www.sovnet.ru/library/publications/2792/](http://www.sovnet.ru/library/publications/2792/)
- [88] [www.bpm-cg.ru/materials/content/00006\\_soolyatte\\_standards\\_pm\\_10\\_2012.pdf](http://www.bpm-cg.ru/materials/content/00006_soolyatte_standards_pm_10_2012.pdf).
- [89] [www.projectsmart.co.uk/understanding-the-project-management-triple-constraint.php](http://www.projectsmart.co.uk/understanding-the-project-management-triple-constraint.php).
- [90] <http://www.pmi.org/business-solutions/~media/PDF/Business-Solutions/The-High-Cost-Low-Performance-The-Essential-Role-of-Communications.ashx>

Свидетельство о регистрации СМИ в Федеральной службе  
по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых  
коммуникаций: Эл № ФС77–58766 от 28.07.2014 г.

*Учредитель:* Негосударственное образовательное учреждение высшего  
образования Московский технологический институт

*Адрес редакции:* 117292, г. Москва, ул. Кедрова, д. 8, корп. 2

*Контактный телефон:* +7 (495 648-62-26)

*e-mail:* e\_nikulchev@mti.edu.ru

*Отв. за выпуск:* Е. В. Никульчев

*Корректор:* С. Ф. Михайлова

Подписано в печать: 02.11.2016.

© Авторы статей

© НОУ ВО МосТех