

# Cloud of Science



Электронный журнал  
<http://CloudofScience.ru>

12 +

**Электронный журнал**  
**Cloud of Science**  
Том 1. № 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

**Никольчев 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)

**Андреинов 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,  
зав. каф., 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)

**Вольнский 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)

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

**Карпов А. С.**, к. т. н.  
декан, Московский технологический институт (Россия,  
Москва)

**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, Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН» (Россия, Москва)

**Куанг Чинь Лыонг**, 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, Московский государственный технический универ-  
ситет имени Н. Э. Баумана (Россия, Москва)

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

**Мокрицкая Т. П.**, д. г. н., доцент  
доцент, Днепропетровский национальный университет им.  
Олеся Гончара (Украина, Днепропетровск)

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

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

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

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

**Рогачев Г. Н.**, д. т. н., доцент  
доцент, Самарский государственный технический университет  
(Россия, Самара)

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

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

**Хранилов В. П.**, д. т. н., доцент  
зам. директора ИРИТ, Нижегородский государственный техни-  
ческий университет имени П. Е. Алексеева (Россия, Нижний  
Новгород)

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

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

**Шурина Э. П.**, д. т. н., профессор  
профессор, Новосибирский государственный технический  
университет, (Россия, Новосибирск)

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

## Содержание

Том 1. № 3

### СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

- А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова*  
Методы и интеллектуальные системы принятия решений для проведения ФОРСАЙТ-исследований ..... 353
- Ф. Н. Ковалев, В. П. Хранилов*  
Идентификация модели просветного радара на разных этапах технического проектирования радиолокационной системы..... 383
- Т. П. Мокрицкая*  
Хаотические модели деградации лёссов ..... 411

### ПАКЕТЫ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ

- В. Ф. Очков*  
Формулы в научно-технических публикациях: проблемы и решения ..... 421

### ПРИКЛАДНЫЕ ИТ-СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ

- И. В. Осипов*  
Построение стратегии выхода на рынок фримium-продукта на основе показателей виральности и ретеншна ..... 457
- А. В. Карюкин*  
Программное решение проблемы прогулов и опозданий на работу ..... 472
- Т. А. Федосеевко*  
Использование методов оптимизации запросов к распределенной базе данных для повышения эффективности информационных систем ..... 479
- В. В. Белов, М. В. Некрасов*  
Методика оценки затрат на внедрение модуля информационной системы управления на машиностроительном предприятии ..... 487

### ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ

- Г. Г. Попов*  
Хозяйственный порядок в Британии в XVIII – начале XX вв.  
О причинах кризиса капитализма «Нулевая депрессия» ..... 498
- С. С. Баранова*  
Исследования тенденций развития облачных сервисов ..... 517

## Методы и интеллектуальные системы принятия решений для проведения ФОРСАЙТ-исследований

А. В. Андрейчиков\*, О. Н. Андрейчикова\*\*

\*Московский государственный университет путей сообщения  
127994, ГСП-4, Москва, ул. Образцова, 15

\*\*Центральный экономико-математический институт Российской академии наук  
117418, г. Москва, Нахимовский пр-т, 47  
e-mail: alexandrol@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлены новые интеллектуальные методы принятия решений: метод анализа иерархий с динамическими суждениями, который можно применять для прогнозирования возможных последствий решений; метод аналитических сетей, позволяющий определить приоритеты альтернатив в условиях взаимного влияния; метод нечеткого логического вывода, обеспечивающий поддержку процессов принятия решений путем моделирования рассуждений на основе экспертных знаний; метод логического синтеза сценариев развития сложных систем, позволяющий прогнозировать будущее с учетом появления новых тенденций и событий, которые могли не иметь места в прошлом. Интеллектуальные системы компьютерной поддержки прошли практическую апробацию в течение нескольких лет при решении задач в таких областях, как экономика, инноватика, менеджмент организаций, концептуальное проектирование новой техники, оценка интеллектуального капитала и др.

*Ключевые слова:* методы принятия решений, интеллектуальные системы, прогнозирование, динамические приоритеты, аналитические сети, нечеткий логический вывод, логический синтез сценариев, методология прогнозирования.

### 1. Введение

Управление сложными социально-экономическими и социально-производственными системами — это деятельность, направленная на поиск, разработку и принятие решений различного масштаба. Стратегические, тактические и оперативные решения в управленческой практике приходится принимать в условиях неопределенности, что связано с неполнотой и неточностью информации, а также с постоянными и плохо предсказуемыми изменениями внешней среды. Применение научно обоснованных методик принятия решений позволяет сделать этот процесс понятным, прозрачным и обоснованным. Кроме того, такие методики существенно

облегчают распределение ответственности между руководителями разных уровней, а также контроль и согласование решений.

Применение математических методов и интеллектуальных систем компьютерной поддержки позволяет преодолеть сложность многих проблем управления, не прибегая к излишним упрощениям, которые могут быть оправданы на оперативном уровне, но нежелательны, а иногда недопустимы на стратегическом уровне, где необходимо учитывать факторы, определяющие развитие сложных систем, множество критериев оценки качества альтернативных вариантов, взаимное влияние критериев, факторов и альтернатив, а также тенденции изменения внешних условий, предпочтений и приоритетов лиц, принимающих решения (ЛПР).

Разнообразие проблем принятия решений [1–3] обусловлено большим количеством признаков, с помощью которых они могут быть описаны. Это — число и тип рассматриваемых вариантов действий (альтернатив); количество участников процесса принятия решений; число факторов и критериев, используемых для оценивания альтернатив; информация о связях между участниками выбора, целями, факторами, критериями и альтернативами; тип информации, характеризующей оценки альтернатив по критериям (количественная, качественная); устойчивость исходной информации во времени и т. д. Разнообразие задач порождает многообразие методов принятия решений. Правильное определение типа исследуемой проблемы во многом определяет ее успешное решение. Так, если рассматриваемая задача может быть представлена формальной математической моделью с количественными переменными и единственным критерием, то для выбора лучших решений можно применять методы оптимизации. Если описание проблемы на чисто количественном уровне невозможно, то целесообразно построить качественную модель, описывающую основные элементы проблемы и связи между ними. Подобная модель может использоваться для оценивания предпочтительности альтернативных вариантов на основе экспертных и измеряемых (вычисляемых) данных, важности критериев и факторов, а также степени влияния элементов проблемы друг на друга. Математическая обработка построенной модели с применением программных средств поддержки принятия решений позволяет получить развернутые и многовариантные результаты, которые могут использоваться для обоснования принимаемых решений или для корректирования исходной информации. Например, при выборе инвестиционного решения для оценки альтернативных вариантов могут одновременно использоваться количественные показатели (рентабельность, объем первоначальных инвестиций) и качественные признаки, характеризующие возможности сбыта производимого товара, производственный и инвестиционный риск. Предпочтительность альтернатив по качественным признакам оценивается ЛПР или экспертами с применением специальных методик, при этом перечисленные показатели могут детализироваться до такого уровня, на котором эксперты способны корректно оценить рассматриваемые альтернативы. Например, показатель «Возможности сбыта» может быть уточнен следующим набором критериев: потенциальная емкость рынка; доля рынка, которую можно захватить, прогнозируемый объем продаж, степень конкуренции.

Системный подход к принятию сложных решений делает этот процесс упорядоченным, превращая его в четкую процедуру сбора, обработки и анализа информации. Грамотный анализ рассматриваемых проблем не лишает руководителя права выбора, а помогает ему обосновать этот выбор и найти приемлемый компромисс между достоинствами и недостатками альтернативных вариантов решений.

Задачи стратегического планирования являются наиболее трудоемкими, так как включают в себя процедуры генерации образов будущего, процедуры прогнозирования и принятия решений. Для поддержки процессов стратегического планирования разработаны специализированные интеллектуальные системы компьютерной поддержки, которые прошли практическую апробацию в течение нескольких лет при решении задач в таких областях, как экономика [4, 5], концептуальное проектирование новой техники [6, 7], авторское право [8–10], менеджмент организаций [11] и др.

## **2. Прогнозирование на основе метода анализа иерархий с динамическими предпочтениями и приоритетами**

Метод анализа иерархий (МАИ) [12] основан на представлении знаний экспертов в виде иерархии целей, факторов, действующих сил (акторов), критериев, подкритериев и альтернатив. Предпочтения экспертов выявляются с помощью процедуры парных сравнений элементов иерархии нижележащих уровней относительно связанных с ними элементов более высокого уровня. Для измерения степени предпочтительности используется шкала отношений.

Для каждой матрицы парных сравнений (МПС) вычисляется главный правый собственный вектор, который интерпретируется как вектор приоритетов сравниваемых объектов. Затем осуществляется линейная свертка приоритетов альтернатив на иерархии критериев, акторов и целей. Метод отличается простотой и дает хорошее соответствие интуитивным представлениям.

Усовершенствованный МАИ с динамическими предпочтениями и приоритетами реализован в виде интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР). ИСППР позволяет решать принципиально новые задачи прогнозирования экспертных предпочтений, связанных с получением оценок приоритетности альтернатив в форме зависимостей от времени. Для этого исходные экспертные оценки должны содержать информацию об изменении предпочтительности одной альтернативы перед другой на некотором временном отрезке. Следовательно, оценка предпочтительности может быть задана не константой, а функцией. Подбор таких функций можно осуществить, либо предоставив в распоряжение эксперта некоторую функциональную шкалу [12], либо путем аппроксимации экспертных оценок, полученных в различные моменты времени [4]. Эти функции отражают интуитивные чувства лица, принимающего решения об изменении в тренде: постоянном, линейном, логарифмическом и экспоненциальном, возрастающем до мак-

симула и убывающем или опускающемся до минимума и возрастающем, колебательном и, наконец, допускающем катастрофические изменения.

Для динамических задач матрица парных сравнений содержит функции времени в качестве элементов, поэтому максимальное собственное число  $\lambda_{\max}$ , а также собственный вектор  $W$  также будут зависеть от времени, т. е.

$$A(t)W(t) = \lambda_{\max}(t)W(t). \quad (1)$$

Здесь  $A(t)$  — матрица парных сравнений объектов, содержащая информацию об изменении предпочтительности одной альтернативы перед другой на некотором промежутке времени, которая задана функцией.

Если порядок матрицы парных сравнений не превышает четырех, для уравнения (1) можно получить аналитическое решение [12]. Альтернативным способом является получение  $A(t)$  и  $W(t)$  численными методами [4]. Для этого необходимо иметь в распоряжении информацию о предпочтениях экспертов за определенный период времени. При накоплении такой информации в разработанной компьютерной системе становятся возможными прогнозирование предпочтений и оценка ближайших последствий принимаемых решений.

Проиллюстрируем применение этого подхода к прогнозированию приоритетов перспективности альтернативных инновационных технологий для виброзащиты (ВЗС) высокоскоростного наземного транспорта. Иерархия факторов, действующих сил и критериев задачи представлена на рис. 1.

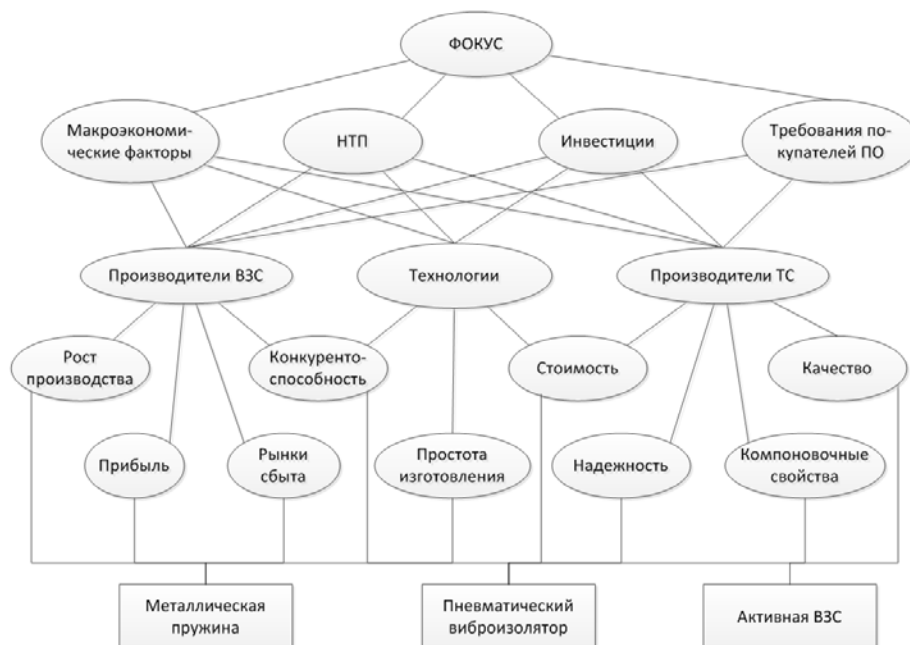


Рисунок 1. Иерархия динамической задачи выбора перспективной ВЗС



Главная цель задачи (фокус) — выбрать принципиальное технологическое решение ВЗС, которое будет предпочтительным для установки на высокоскоростных транспортных средствах (ТС) в течение установленного срока прогнозирования (6 лет). Основные факторы, влияющие на предпочтения, размещены на первом уровне иерархии. Это — макроэкономика, научно-технический прогресс (НТП), инвестиции и требования покупателей транспортных средств, предъявляемые к виброзащите. На втором уровне иерархии расположены главные действующие силы — производители ВЗС, производители ТС и технологии производства ВЗС. Элементы данного уровня влияют на выбор типа ВЗС через определенные требования, выраженные критериями качества, составляющими третий уровень иерархии. На последнем уровне находятся альтернативные типы ВЗС.

На первом этапе была решена статическая задача выбора лучшей из рассматриваемых альтернатив в настоящий момент времени  $t_0$ .

На втором этапе с помощью экспертов были определены предпочтения, зависящие от времени. Это — суждения экспертов о предпочтительности факторов относительно главной цели и суждения о предпочтительности критериев для производителей ТС и ВЗС. В данном примере предполагалось, что предпочтения, высказанные экспертами для альтернатив по критериям третьего уровня иерархии, не будут изменяться с течением времени. При заполнении динамических МПС эксперту было достаточно выбрать вид и определить параметры для  $(n-1)$  базовых функций, где  $n$  — размерность матрицы. Остальные  $(n^2 - 2n + 1)$  значения предпочтений вычислялись автоматически на основе базовых значений (*Auto*), исходя из свойства обратной симметричности и предположения абсолютной согласованности суждений. Начальные значения предпочтений определялись по данным статической задачи. Пример динамической МПС приведен ниже:

<b>ФОКУС</b>	<i>Макроэкономика</i>	<i>НТП</i>	<i>Инвестиции</i>	<i>Требования покупателей</i>
<i>Макроэкономика</i>	1	$1/0.25e^{0.6}$	<i>Auto</i>	$1/(0.2 - 0.05t + 0.08t^2)$
<i>НТП</i>	$0.25e^{0.6t}$	1	$0.2 - 0.18t + 0.15t^2$	<i>Auto</i>
<i>Инвестиции</i>	<i>Auto</i>	$1/(0.2 - 0.18t + 0.15t^2)$	1	<i>Auto</i>
<i>Требования покупателей</i>	$0.2 - 0.05t + 0.08t^2$	<i>Auto</i>	<i>Auto</i>	1

Полученные результаты показаны на рис. 2 и 3. Из рис. 2 видно, что важность научно-технических инноваций в будущем заметно возрастает. Приоритет требований покупателей увеличивается в течение срока прогнозирования немного слабее. Относительная значимость инвесторов и макроэкономических факторов снижается

в будущем. Такой прогноз можно считать достаточно оптимистическим. Он соответствует тенденциям стабильного экономического роста.

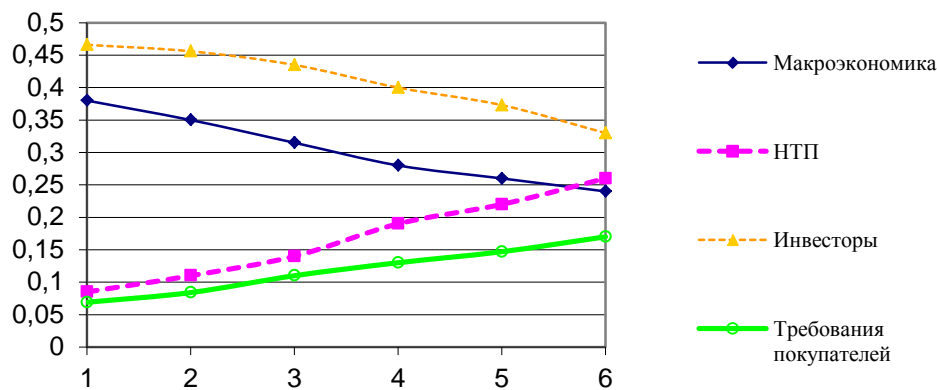


Рисунок 2. Изменение приоритетов факторов во времени.

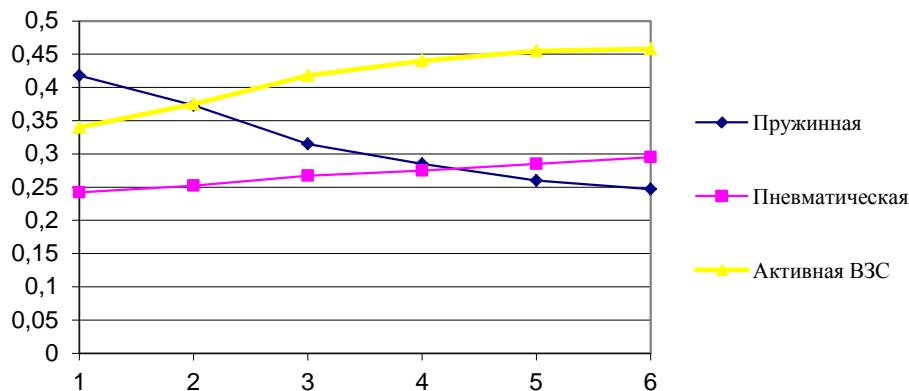


Рисунок 3. Изменение глобальных приоритетов альтернатив во времени

Глобальные динамические приоритеты альтернатив, вычисленные с учетом описанных изменений предпочтений (рис. 3), наглядно демонстрируют возрастание предпочтительности производства сложной и конкурентоспособной продукции (активная и пневматическая ВЗС) перед простой и дешевой (пружинная ВЗС) в будущем. Невысокий приоритет пневматических ВЗС в данном случае объясняется относительно высокой стоимостью и низкой надежностью систем данного класса.

Таким образом, принимая долгосрочные решения, важно учитывать тенденции изменения предпочтений с течением времени. Эти тенденции можно выявить на основе релевантных статистических данных. Если таковые отсутствуют, то дина-

мические задачи могут быть решены на основе обоснованных гипотез об изменении предпочтений.

### 3. Прогнозирование на основе метода аналитических сетей

Метод аналитических сетей (МАС, ANP) является обобщением МАИ на сетевые модели проблем принятия решений, в которых учитывается взаимное влияние целей, акторов, критериев и альтернатив [13]. В МАС иерархия заменяется сетью, при этом, как и в МАИ, экспертные суждения интегрируются определенным образом для того, чтобы получить обобщенные значения приоритетов. Команда экспертов вырабатывает шкалу для оценки суждений, на основе которых выбирается одно лучшее решение или ранжируется множество допустимых вариантов, при этом ресурсы распределяются пропорционально полученным приоритетам.

Актуальность использования МАС обусловлена тем, что многие проблемы принятия решений нельзя представить иерархическими структурами, потому что в них существуют зависимости и взаимодействия между элементами разных уровней иерархии. Существуют задачи, в которых не только важность критериев влияет на приоритеты альтернатив (как в иерархиях), но также важность альтернатив влияет на приоритеты критериев. Обратная связь позволяет нам ввести в структуру принятия решения факторы, учитывающие будущее, и определить политики достижения желаемого будущего. Структуры решений с обратными связями нельзя линейно упорядочить сверху донизу, они представляют собой сети, содержащие циклы и объединяющие элементы проблемы в компоненты, которые мы уже не можем называть уровнями. Кроме того, в них могут присутствовать петли обратной связи, отражающие взаимное влияние элементов одного компонента. Проблемы принятия решений, включающие обратные связи, часто возникают на практике. Поскольку наличие обратных связей приводит к возникновению циклов, и, следовательно, бесконечных маршрутов, то возникает необходимость применения более сложного, чем в МАИ, алгоритма вычисления приоритетов. Однако искусственное преодоление сложности путем сведения практических задач к примитивным структурам не позволяет надеяться на получение результатов, которые адекватно отражают реальность.

В общем случае, сеть состоит из компонентов и элементов, которые содержатся в этих компонентах. Но при создании структур для моделирования проблем могут использоваться совокупности компонентов — подсистемы. Таким образом, в порядке уменьшения размера можно выделить: собственно *систему*, состоящую из подсистем; *подсистемы*, состоящие из компонентов; и *компоненты*, содержащие множества *элементов*. Предположим, что сетевая структура принятия решения содержит  $n_h$  компонентов, которые будем обозначать  $C_h, h = \overline{1, m}$ . Влияния, которые оказывают элементы некоторого компонента на другие элементы в системе, можно представить векторами приоритетов, полученными на основе парных сравнений,



ца. Элементы взвешенной суперматрицы показывают непосредственное влияние каждого элемента системы на все другие элементы. Но один элемент может влиять на другой косвенно, через некоторый третий элемент, который, в свою очередь, влияет на второй. Потенциально может существовать множество таких транзитных элементов. Поэтому необходимо рассмотреть все возможные маршруты влияния через транзитные элементы. Оценку косвенного влияния во всех парах элементов через один промежуточный элемент можно получить, возведя взвешенную суперматрицу в квадрат. Для того, чтобы оценить все возможные влияния в аналитической сети, нужно вычислить предел  $\lim_{k \rightarrow \infty} W^k$ . Из математического анализа известно, что, если последовательность сходится к пределу, то ее чезаровская сумма (предел среднего значения последовательности из  $N$  степеней суперматрицы  $\lim_{k \rightarrow \infty} (1/N) \sum_{k=1}^N W^k$  сходится к тому же самому пределу. Так как последовательность задана целочисленными значениями показателя степени матрицы, достаточно выяснить предельное значение этой степени. Может оказаться, что последовательность сходится не к единственному пределу, но среднее чезаровских сумм, соответствующих различным пределам последовательности, дает единственный предел. Оба этих случая могут иметь место при возведении суперматриц в степень.

Таким образом, способ вычисления приоритетов воздействия зависит от структуры связей элементов задачи. Формирование структуры является сложным процессом, который может приводить к различным результатам. Этот процесс требует глубоких знаний проблемной области и рассмотрения множества вариантов. Для обеспечения такой возможности необходима компьютерная и информационная поддержка. На базе метода анализа сетей было разработано программное обеспечение, которое использовалось в процессе решения задач анализа сетевых структур.

Рассмотрим подход к прогнозированию стратегических намерений России по проблеме вступления в ВТО, который был осуществлен в 2004 году одной из инновационных компаний [14, 15]. Цель проведенного компанией исследования была сформулирована как многоаспектный анализ решения о вступлении России в ВТО с учетом взаимного влияния основных структурных элементов проблемы, направленный на выявление лучших альтернатив и наиболее важных факторов. Модель включает пять наиболее важных, с точки зрения инновационной компании, групп факторов (структурных элементов), определяющих анализируемое решение (рис. 4).

Даже эта упрощенная модель демонстрирует сложность рассматриваемой проблемы и всю условность часто употребляемого термина «оптимальное решение». На следующем шаге анализа с помощью парного сравнения элементов кластеров, подверженных влиянию, оценивалась их предпочтительность, важность или степень влияния относительно элементов влияющих кластеров. При этом использовались суждения экспертов, выраженные в целочисленной девятибалльной шкале отношений.

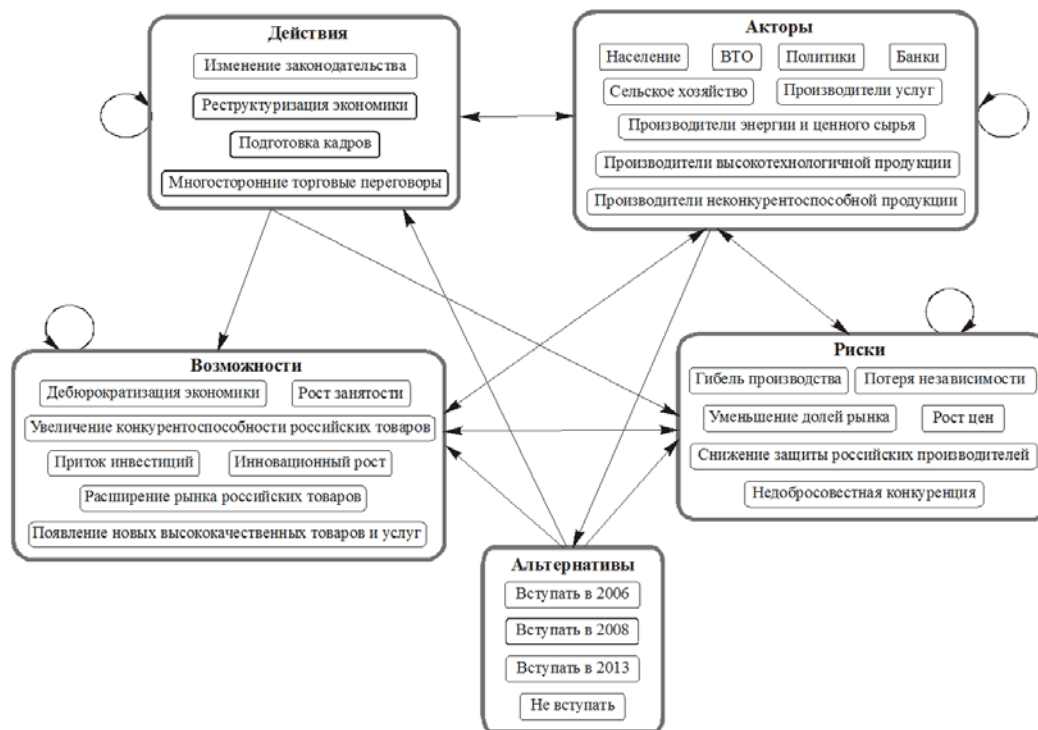


Рисунок 4. Структура качественной модели решения о вступлении России в ВТО

На первом этапе выявления экспертных суждений оценивалось взаимное влияние групп. Для этого потребовалось заполнить пять матриц парных сравнений (по количеству групп, имеющих влияние на другие группы). При заполнении матрицы числами из девятибалльной шкалы эксперты отвечали на вопрос: «На какой из двух сравниваемых кластеров (групп) больше влияет кластер «Действия»?»

Следующий этап методики аналитических сетей заключается в сравнении элементов групп, подверженных влиянию других элементов. Этот этап является достаточно трудоемким, так как здесь потребовалось заполнить 112 матриц парных сравнений и, кроме того, опросить нескольких экспертов с целью оценки устойчивости получаемых результатов. Ниже приведен пример заполнения матрицы парных сравнений для элемента актора «Сельское хозяйство» кластера «Актеры». При оценке степени влияния актора «Сельское хозяйство» на остальных акторов задавался вопрос: «На какого из двух сравниваемых акторов в большей степени влияет актор «Сельское хозяйство» и на сколько в большей?»

Результат обработки матрицы показывает, что сельское хозяйство больше всего влияет на актор «Население» и меньше всего на актор «ВТО»:

Сельское хозяйство	Банки	Производители энергии	Высокие технологии	Неконкурентоспособные производители	Население	Политики	Производители услуг	ВТО	W
Банки	1	1	3	1/2	1/4	1	1	9	0,1032
Производители энергии		1	3	1/2	1/4	1	1	9	0,1032
Высокие технологии			1	1/6	1/9	1/3	1/3	3	0,0356
Неконкурентоспособные производители				1	1/2	2	2	9	0,1887
Население					1	4	4	9	0,3465
Политики						1	1	9	0,1032
Производители услуг							1	9	0,1032
ВТО								1	0,0163

Оценка согласованности суждений  $CR=0,0209$  (допустимое значение  $\leq 0,1$ )

Из векторов приоритетов, вычисленных для всех матриц парных сравнений, формируется суперматрица, математическая обработка которой позволяет получить результат в виде вектора предельных приоритетов всех элементов рассматриваемой проблемы. Значения предельных приоритетов интерпретируются в зависимости от поставленной цели и вопросов, которые задавались при заполнении матриц. В данном случае высокие значения приоритетов будут соответствовать элементам, на которые в наибольшей степени скажется решение о вступлении в ВТО. В группе альтернатив наиболее предпочтительная в свете высказанных предпочтений и влияний альтернатива будет иметь самый высокий предельный приоритет; в группе акторов самый высокий приоритет будет соответствовать элементу, для которого последствия вступления в ВТО наиболее чувствительны; высокие приоритеты среди действий указывают на самые актуальные из них; высокие значения предельных приоритетов возможностей и рисков говорят об их важности для акторов и косвенно свидетельствуют о высокой вероятности их наступления.

На основе экспертных оценок влияния одних элементов на другие были вычислены приоритеты влияния факторов на элементы всех кластеров. Полученные результаты показаны на рис. 5, где можно видеть, что факторы, представленные графиками, оказывают неодинаковое влияние на элементы проблемы, расположенные по круговой оси.

На рис. 5 можно заметить некоторые закономерности, например, превалирующее влияние альтернатив на действия и риски, определяющее влияние акторов на альтернативы. Кроме того, можно заметить, что наибольшее влияние на возможности имеют действия, а мнения акторов определяются влиянием возможностей и рисков. Наблюдаем интересный факт, сравнивая факторы, влияющие на возможности и риски. Превалирующее влияние на возможности имеют действия, а на риски — альтернативы. Это свидетельствует об условном характере возможностей и случайной природе рисков. Рассматриваемые действия предоставляют определенные возможности акторам, и, хотя заранее неизвестно, смогут ли они ими воспользоваться, здесь можно наблюдать свойственный человеку оптимистический подход к оценке возможных выигрышей, который проявляется в том, что действия определяют приоритеты возможностей.

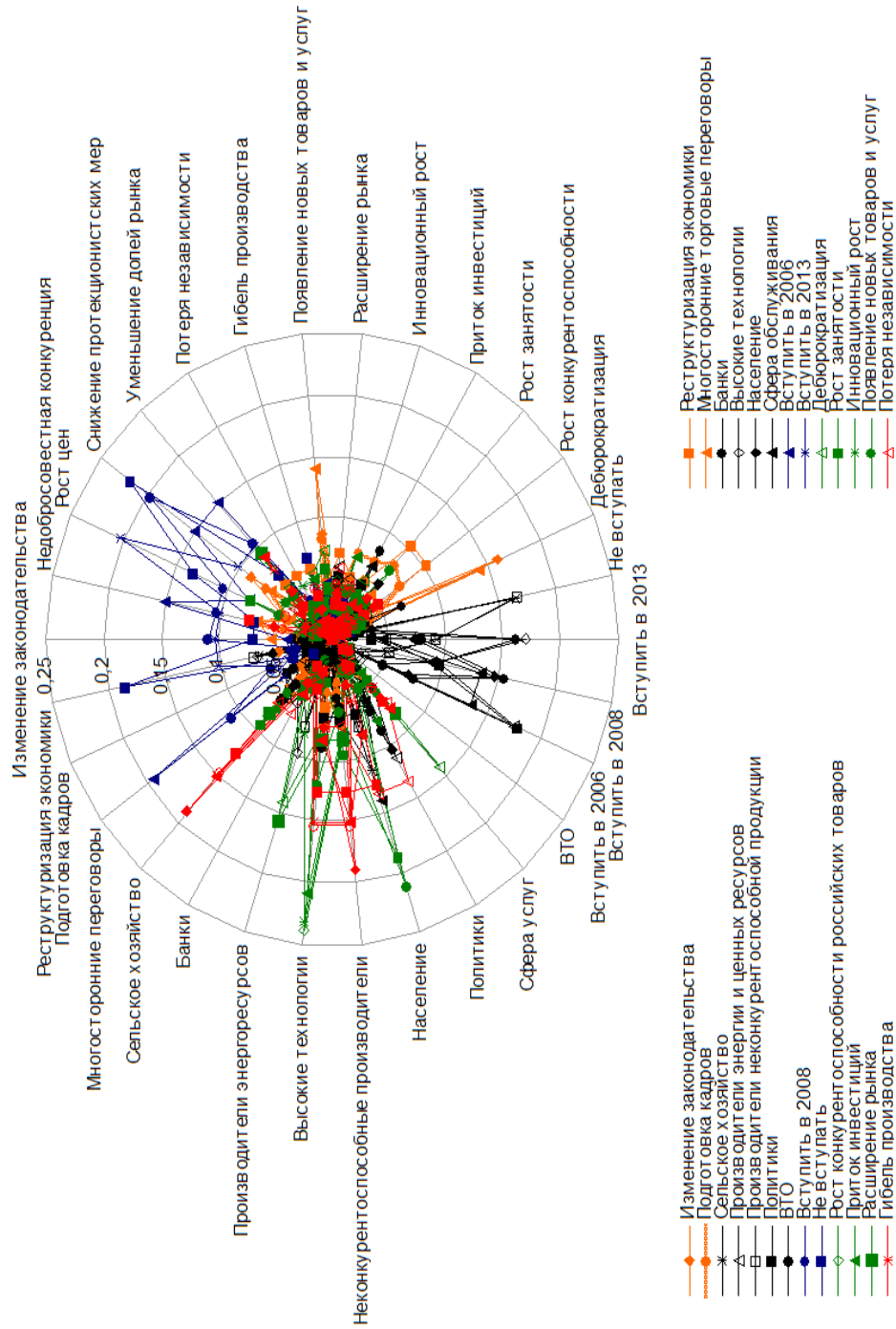


Рисунок 5. Приоритеты влияния рассматриваемых факторов



Предельный результат характеризует вклад каждого из рассматриваемых факторов в главную цель, которая заключается в принятии согласованного решения о вступлении России в ВТО с учетом взаимного влияния факторов. Этот результат представлен на рис. 6, который показывает, что в наибольшей степени это решение повлияет на акторы: сельское хозяйство, производители высокотехнологичной и неконкурентоспособной продукции. Лучшими альтернативами с учетом коллективного мнения и взаимного влияния акторов являлись акторы «Вступить в 2008» и «Вступить в 2013», имеющие примерно одинаковые приоритеты. Наиболее актуальным действием является реструктуризация экономики. С небольшим превосходством над остальными можно выделить две наиболее привлекательных возможности — приток инвестиций и расширение рынка. Наиболее вероятные риски — это уменьшение долей рынка и связанные с ним риски снижения защиты производителей, роста цен и недобросовестной конкуренции.

Полученный результат является определенным компромиссом интересов всех участников, вовлеченных в решение проблемы. Следует заметить, что этот компромисс достигнут не на основе какого-либо принципа усреднения мнений участников, а в результате учета их взаимного влияния. Наличие замкнутых контуров влияния на рис. 4 делает задачу динамической в том смысле, что каждый влияющий элемент подвергается влиянию других элементов, вследствие чего приоритеты постоянно изменяются. Однако это происходит не бесконечно, а приводит на определенном этапе к некоторому устойчивому набору значений приоритетов, которые затем остаются постоянными (см. рис. 6).

Таким образом, взаимные влияния элементов стабилизируются, что можно интерпретировать как компромисс и как прогноз устойчивого состояния, которого может достигнуть рассматриваемая система.

#### **4. Прогнозирование инструментами экспертных систем с нечетким логическим выводом**

Экспертные системы (ЭС) осуществляют поддержку процессов принятия решений путем моделирования рассуждений на основе экспертных знаний [16]. В связи с этим пользователем ЭС может быть человек, не обладающий квалификацией эксперта.

Оболочка экспертной системы с нечетким выводом «Нечеткая логика» разрабатывалась для исследования применения нечеткого логического вывода в задачах принятия решений, диагностики и прогнозирования [17]. Система «Нечеткая логика» способна осуществлять нечеткий логический вывод на последовательности правил, заданной пользователем. Вычисления в процессе логического вывода могут быть реализованы различными способами.

Система «Нечеткая логика» обеспечивает следующие основные функции: ввод лингвистических переменных; ввод значений лингвистических переменных в графическом виде; хранение, поиск и модификацию лингвистических переменных и их значений; ввод, хранение, поиск и модификацию правил различной структуры;

выполнение нечетких выводов с использованием различных способов реализации; сохранение промежуточных результатов в процессе логического вывода с целью построения цепочек выводов.

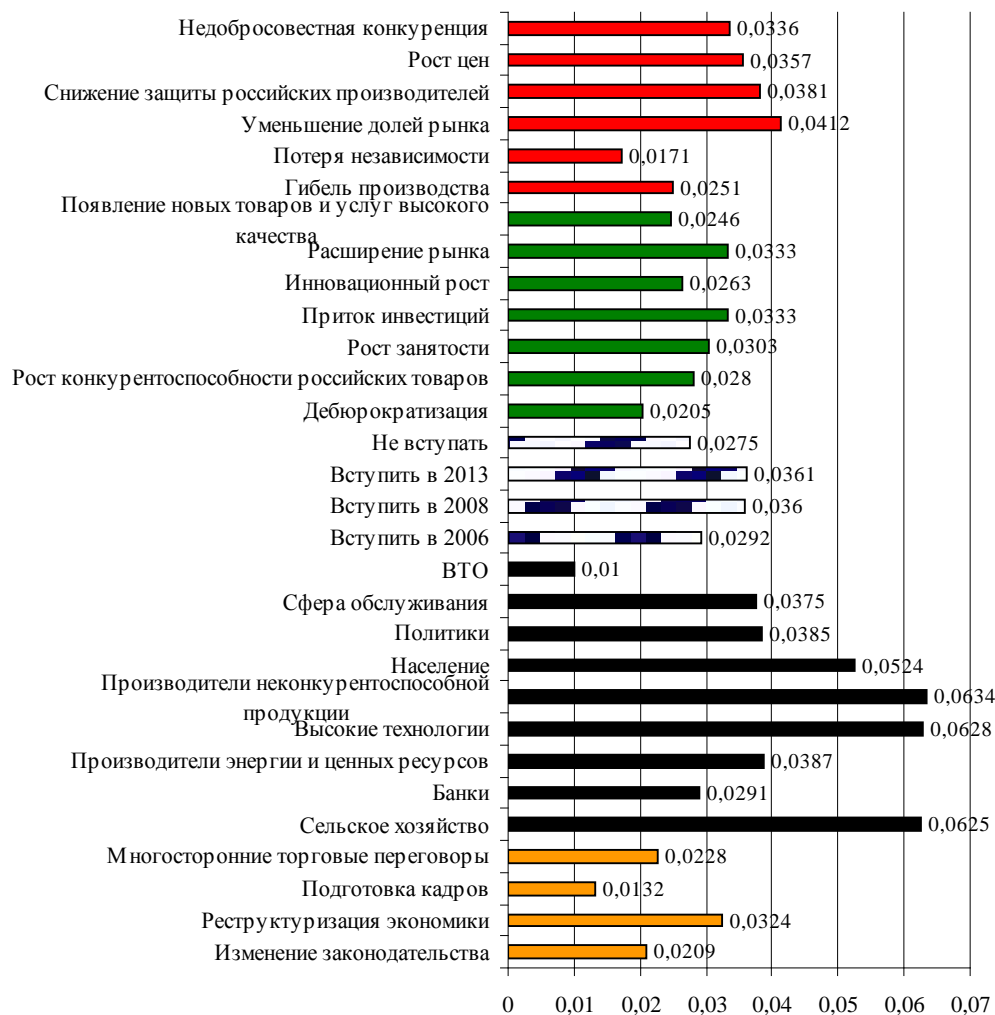


Рисунок 6. Предельные приоритеты факторов, характеризующие их вклад в главную цель

Разработанная система выполняет логические выводы на основе композиционного правила вывода — нечеткого аналога MODUS PONENS:

$$B^* = A^* \circ R,$$

где  $B^*$  — приближенное заключение;  $A^*$  — нечеткое представление исходного факта;  $R$  — нечеткое отношение, соответствующее импликации вида  $A \rightarrow B$ . Мера близости полученного заключения к эталонному образу  $B$  определяется визуально или с помощью скалярного индекса сходства нечетких множеств  $B$  и  $B^*$ .

В системе допускается организация правил с одним выходом «ЕСЛИ  $A$ , ТО  $B$ » и с двумя выходами «ЕСЛИ  $A$ , ТО  $B$ , ИНАЧЕ  $C$ ». При этом посылка может быть сложным логическим выражением, включающим операции отрицания, дизъюнкции и конъюнкции.

Для вычисления нечеткого отношения на нечетких множествах используются следующие способы: максиминное правило с одним выходом и с двумя выходами; размытое бинарное правило с одним выходом и с двумя выходами; импликация Лукасевича для правил с одним выходом и с двумя выходами; импликация Гёделя для правил с одним выходом и с двумя выходами; импликация Мамдани для правил с одним выходом.

Далее рассмотрен фрагмент ЭС с нечетким представлением знаний, которая может быть полезной при активном управлении предприятием. ЭС содержит базу знаний, которая используется для решения следующих задач:

- 1) диагностика текущего состояния предприятия;
- 2) прогнозирование будущего состояния предприятия;
- 3) подбор рекомендуемых мер для улучшения будущего состояния.

Знания в ЭС представлены в виде правил, содержащих выражения с лингвистическими переменными (ЛП), значениям которых соответствуют нечеткие множества. Для решения каждого вида задач сформированы наборы правил, которые могут быть скорректированы пользователем.

Правила диагностики включают ЛП, которые отражают тенденции, значения или экспертные оценки основных экономических показателей состояния предприятия, например: стадия жизненного цикла; форма собственности, технологическая оснащенность; направленность потоков сырья, комплектующих и готовой продукции (экспорт-импорт); относительная прибыльность; рентабельность; ликвидность, стоимость капитала; соотношение собственных и заемных средств; оборачиваемость средств; диверсификация продукции и т. д. На основе приближенного анализа набора показателей выводится нечеткая оценка текущего состояния предприятия, которая используется в процессе прогнозирования будущего состояния. При этом используется другой набор правил прогнозирования, включающих информацию о ресурсах, политиках и стратегиях предприятия, а также о предполагаемых изменениях внешних факторов. Задача выбора мероприятий, направленных на достижение благоприятного состояния предприятия в будущем, решается с использованием третьего набора правил, включающих значения оценок текущего и будущего состояний предприятия.

Рассмотрим возможный набор правил для диагностики состояния предприятия:

1. Если относительная прибыльность предприятия ( $RP$ ) падает до критического уровня ( $Critical$ ), то его цена ( $EntCost$ ) уменьшается ( $Fall$ ), в противном случае цена ( $EntCost$ ) остается стабильной ( $Constant$ ).
2. Если  $RP$  возрастает ( $Raise$ ), то  $EntCost$  увеличивается ( $Grow$ ).

3. Если  $RP$  падает (*Reduce, Critical*), то стоимость акций ( $ActCost$ ) понижается (*Fall*), иначе  $ActCost = Constant$ .
4. Если  $RP$  падает (*Reduce, Critical*), то риск потери капитала ( $Risk$ ) возрастает (*Up*), иначе  $Risk = Constant$ .
5. Если цена предприятия падает ( $EntCost = Fall$ ) и суммарные обязательства кредиторам ( $CreditPay$ ) велики (*Large*), то капитал акционеров уменьшается ( $Capital = Fall$ ), в противном случае  $Capital = NotFall$ .
6. Если стоимость акций падает ( $ActCost = Fall$ ) и риск возрастает ( $Risk = Up$ ), то возможности кредитования ( $CreditTake$ ) уменьшаются (*Fall*).
7. Если прибыльность предприятия падает ( $RP = Reduce, Critical$ ) и уменьшается кредитование ( $CreditTake = Fall$ ), то возможен дефицит средств ( $Deficit = Yes$ ), иначе  $Deficit = No$ .
8. Если есть дефицит средств ( $Deficit = Yes$ ) и акционерный капитал уменьшается ( $Capital = Fall$ ), то предприятия находится в состоянии технической неплатежеспособности ( $StateEnt = TechCrisis$ ).
9. Если уменьшился акционерный капитал предприятия ( $Capital = Fall$ ), снизилось кредитование ( $CreditTake = Fall$ ) и доля заемных средств велика ( $CreditMeans = Large$ ), то предприятие находится в состоянии кризиса ( $StateEnt = Crisis$ ).
10. Если  $EntCost = Constant$  и  $Deficit = No$ , то  $StateEnt = Norma$ .
11. Если  $EntCost = Grow$  и  $Deficit = No$  и  $CreditPay = NotLarge$ , то  $StateEnt = Growth$ .

Структура знаний в виде правил с нечеткими переменными показана на рис. 7. В процессе логического вывода на заданной цепочке правил получают нечеткие образы значений ЛП, которые по выбору пользователя записываются в БЗ для осуществления последующих шагов вывода, а также для использования в задачах прогнозирования. При этом могут использоваться правила с одним выходом или с двумя. Простые правила содержат антецедент, включающий только одно значение ЛП. Сложные правила могут содержать нечеткие операции конъюнкции и дизъюнкции. На рис. 8 показаны функции принадлежности к нечетким множествам, соответствующим значениям ЛП  $StateEnt$ , характеризующей возможные состояния предприятия (*Crisis; TechCrisis; Norma; Growth*).

Задача прогнозирования состояния предприятия на ближайшее будущее решается с использованием оценки текущего состояния на новом наборе правил, содержащих в качестве условий предположения о возможных состояниях окружения предприятия и возможных действиях руководства. Например, для предприятий, находящихся в нормальном состоянии, рассматривая вероятные изменения внешних факторов (падение курса рубля; удорожание кредитов; увеличение налогов; рост цен на энергоносители; ужесточение санитарных норм; усиление конкурентной борьбы; снижение покупательной способности населения; старение технологий; уменьшение доли рынка), можно получить неблагоприятный прогноз на бу-

дущее. Тогда возникает необходимость решения следующей задачи — разработки политики развития предприятия.

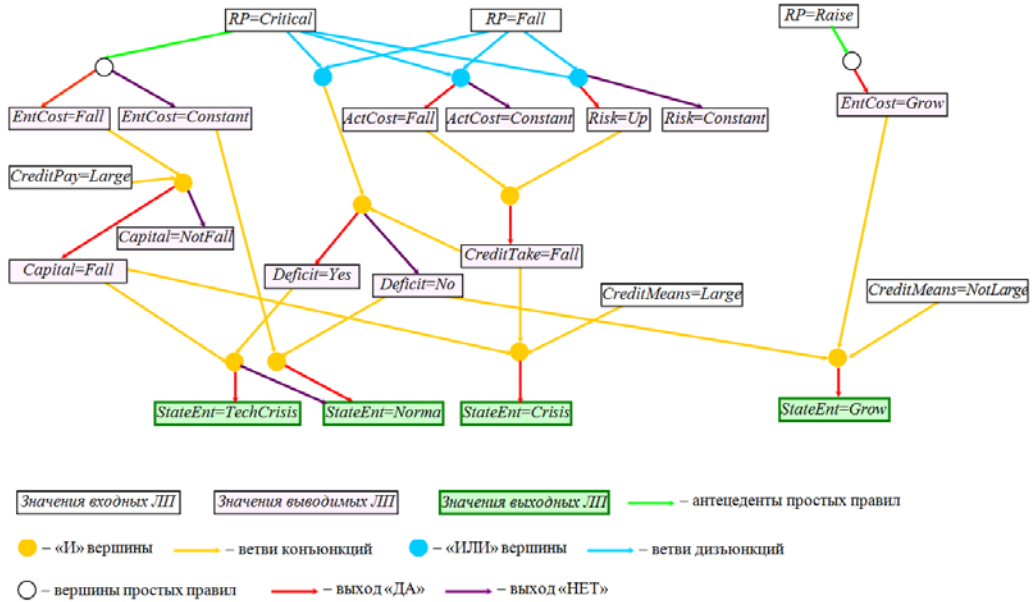


Рисунок 7. Пример подмножества нечетких правил из базы знаний, используемых в задаче диагностики состояния предприятия

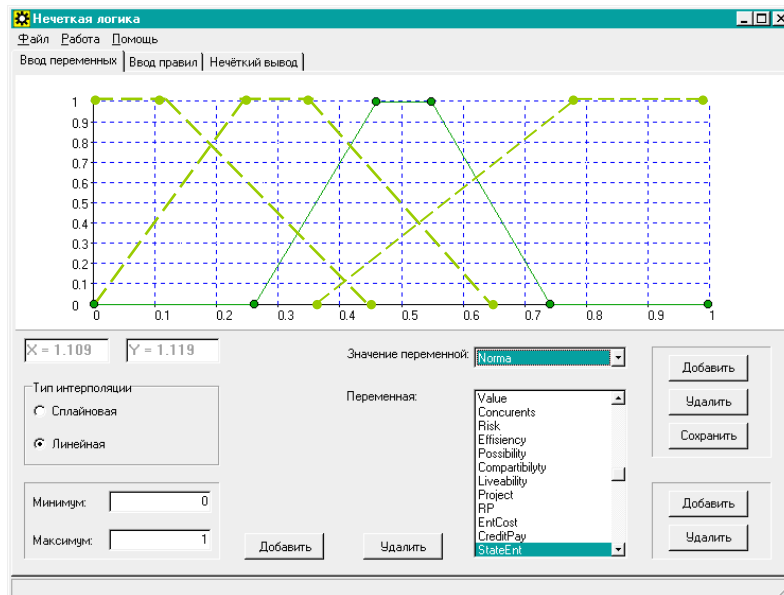


Рисунок 8. Функции принадлежности нечетких множеств значений переменной StateEnt

Предприятия с положительной динамикой экономических показателей также должны учитывать возможные изменения окружающей среды, чтобы принимать своевременные меры для обеспечения хорошего состояния в будущем. Для предприятий в состоянии кризиса отпадает необходимость прогнозирования, так как в этом случае можно сразу переходить к разработке антикризисных мер. Особую актуальность задачи прогнозирования и разработки политики имеют для предприятий, находящихся в предкризисном состоянии. В этом случае указанные задачи объединяются в одну, т. е. составляется один набор правил, элементами которых становятся прогнозируемые значения ЛП, описывающих внешние факторы, а также значения ЛП, соответствующих действиям по управлению предприятием. Иногда только за счет благоприятного изменения внешних условий такие объекты могут вернуться в нормальное состояние, однако выработка и своевременная реализация антикризисных мер необходима в любом случае. Влияние внешних факторов на состояние российских предприятий весьма велико по сравнению с их влиянием на зарубежные фирмы. Этот факт не снижает важности профессионального управления, а делает его еще более значимым, так как наличие стратегии и профессионализм менеджеров являются главными средствами в борьбе за выживание в быстро изменяющихся условиях.

Логический анализ ситуаций с нечеткими переменными обладает большей гибкостью, чем традиционная логика, и не требует полного набора аксиом для вывода. Эти качества обуславливают и основные недостатки нечеткого логического подхода к задачам диагностики и прогнозирования. Они заключаются в отсутствии обоснованных процедур построения функций принадлежности, в трудности представления знаний и интерпретации результатов.

## **5. Логический подход к синтезу сценариев развития сложных систем**

Сценарный подход к решению сложных плохо формализованных задач приобретает все большую популярность. Он активно используется в системах динамического и интеллектуального моделирования, а также как средство представления и структурирования знаний. Рассмотрим один из возможных подходов к построению сценариев с использованием логики предикатов в качестве средства представления знаний.

Решение задач проектирования развивающихся инновационных систем требует построения прогнозов возможных изменений в окружающей их среде. Существуют два принципиальных подхода к прогнозированию: прогнозирование будущего на основе прошлого и прогнозирование будущего с учетом появления новых тенденций и событий, которые могли не иметь места в прошлом. Прогнозы, получаемые первым способом, обычно имеют статистическое или теоретическое обоснование, однако они не способны описать новые ситуации. В отличие от них прогнозы, связанные с генерацией гипотез, не имеют строгого обоснования, но позво-

ляют получить представление о новых вариантах возможного будущего, которые не встречались в прошлом.

Первый подход широко используется для прогнозирования крупномасштабных явлений, при описании которых обычно не выделяются активно и непредсказуемо действующие субъекты. Второй подход чаще всего применяется для описания возможных вариантов поведения систем, содержащих активных участников (игроков), которые, не имея информации о стратегии противодействующих сторон, вынуждены их генерировать на основе доступных им знаний. Синтез сценариев, описанный в настоящем разделе, является реализацией второго подхода к прогнозированию [16, 18].

Под *сценарием* будем понимать последовательность взаимосвязанных событий, которая может иметь место при определенных условиях. Между событиями существуют причинно-следственные связи, которые можно представить правилами, записанными на языке логики. Синтез сценария осуществляется с использованием базы знаний, содержащей описание элементов сценария и связей между ними. Результатом синтеза является множество возможных сценариев, качество и достоверность которых зависят от исходной информации.

В качестве базовой модели представления знаний для реализации синтеза сценариев на основе причинно-следственных связей может использоваться логика предикатов первого порядка. В простых случаях для представления знаний можно применять логику высказываний. Синтез сценария сводится к построению формальной порождающей грамматики на определенном множестве терминальных и нетерминальных символов. Синтаксису логики высказываний соответствует контекстно-свободная порождающая грамматика, которая описывается четверкой  $G = (V, T, P, S)$ , где  $V$  — конечное множество нетерминальных символов, не пересекающееся с  $V$ ;  $P$  — конечное множество правил продукций, записанных в виде нотаций Бэкуса и представляющих собой расшифровку нетерминальных символов грамматики логическими выражениями, содержащими символы из  $T$  и  $V$ ;  $S$  — начальный символ грамматики.

Термин *грамматика*, взятый из лингвистики, означает набор правил некоторого языка, которые позволяют строить и распознавать «правильные» фразы на этом языке.

*Фраза* — это конечная последовательность слов, которые являются неделимыми элементами (терминальными символами). В любом языке разрешены не любые сочетания слов, поэтому «правильными» считаются фразы, соответствующие определенным правилам синтаксиса и семантики.

Формальная грамматика представляет собой набор логических правил (синтаксиса), которые устанавливают способы сочетания слов и словосочетаний (нетерминальных символов) для образования более сложных выражений. Правила применяются рекурсивно и позволяют порождать бесконечное множество фраз (логических формул), составляющих некоторый язык. Продукции формальных грамматик можно интерпретировать как логическую формализацию правил грамматики естественного языка, а фразы — как подмножества множества логических формул.





- (Действие≠снизить\_цену\_электроэнергии) ∨ (Фактор=Снижение\_инфляции)
- ... ..
- (Субъект≠РАО\_ЕЭС) ∨ (Действие=Повысить\_цену\_электроэнергии)
- (Субъект≠Государство) ∨ (Действие=Дотировать\_производство\_электроэнергии)
- (Субъект≠Армия) ∨ (Действие=Увеличить\_потребление\_электроэнергии)
- .....
- (Действие≠Увеличить\_потребление\_электроэнергии)∨(Субъект≠ФТЭК)∨ (Действие = Модернизация\_производства)
- .....
- (Субъект≠РАО\_ЕЭС)∨(Фактор≠Экономический\_рост)∨(Действие=Снизить\_цену\_электроэнергии)
- (Субъект≠РАО\_ЕЭС)∨(Фактор≠Спад\_производства)∨ (Действие=Сократить\_производство\_электроэнергии)
- .....
- (Субъект≠Промышленность)∨(Фактор≠Экономический\_рост)∨(Действие=Увеличить\_производство)
- .....
- (Субъект≠Население)∨(Фактор≠Глобальное\_потепление)∨(Действие=Снизить\_потребление\_электроэнергии)
- .....

В приведенном фрагменте грамматики каждое правило описывает возможные варианты подстановки логических формул, записанных в правой части (после стрелки), в качестве значения высказывания, содержащегося в левой части. При этом возможны альтернативные способы подстановки. Запятая, присутствующая в правых частях грамматических правил, соответствует операции конъюнкции.

*СЦЕНАРИЙ* (начальный символ грамматики) определяется как рекурсивная последовательность событий. События интерпретируются как действия, которые могут происходить произвольно или при выполнении определенных условий. При этом событие может быть обусловлено действием некоторого фактора (например, природного или макроэкономического) или действием активного субъекта. Варианты возможных событий показаны на рис. 9.

Ввод нетерминального символа *Условие* потребовался для того, чтобы ограничить произвольные сочетания действий, не соответствующих семантике. Правила, содержащие *Условие*, отражают связи между субъектами и их действиями, а также причинно-следственные отношения между событиями. При отсутствии подобных ограничений порождающая грамматика генерировала бы все комбинации терминальных и нетерминальных символов, т. е. морфологическое множество.



Рисунок 9. Варианты возможных событий в сценарии развития энергетики

Рассмотрим примеры построения фраз на приведенной грамматике, последовательно применяя правила подстановки:

Сценарий → Событие → Действие фактора → Фактор → Экономический рост;  
Событие → Действие фактора → Фактор → Ухудшение состояния атмосферы;  
Событие → Действие субъекта → (Субъект, Фактор, Условие, Действие) → (РАО ЕЭС, Экономический рост, ЕСЛИ Субъект = РАО ЕЭС И Фактор = Экономический рост, ТО Действие = Снизить цену электроэнергии, Снизить цену электроэнергии);  
Событие → Действие субъекта → (Субъект, Условие, Действие) → (РАО ЕЭС, ЕСЛИ Субъект = РАО ЕЭС, ТО Действие = Повысить цену электроэнергии, Повысить цену электроэнергии);

В процессе порождения фраз на грамматике возникает проблема выбора последовательности применения правил подстановки, так как при синтезе сценариев допускается наличие циклов событий и больших множеств  $T$  и  $V$ . В таких случаях необходимым компонентом программного обеспечения является подсистема, управляющая процессом формирования сценариев. При этом становится необходимой классификация событий и символов, например, в соответствии с возможностью использования случайного выбора, со статусом активности субъекта (фактора), отношениями принадлежности и причинности.

Использование многоместных предикатов позволяет лучше отразить специфику знаний предметной области, так как появляется возможность описать внутреннюю структуру используемых категорий, учитывать контекст и сделать грамматику более компактной. Грамматики с многоместными предикатами называются *грамматиками определенных клауз*, или контекстно-зависимыми грамматиками [16]. Применение таких грамматик для синтеза сценариев позволяет представить элементы знаний в виде описаний, содержащих наборы параметров, причем в процессе подстановки существует возможность согласования значений этих параметров. Например, любой *Субъект* в вышеописанном сценарии может быть представлен описанием следующего вида: *Субъект*(*<имя субъекта>*, *<статус>*, *<местоположение>*, *<условие выхода из игры>*, *<последнее совершенное действие>*, *<ожидаемое событие>*). С помощью этих атрибутов значительно упрощается процесс организации причинно-следственных связей между событиями, а также установление связей между субъектами и возможными для них действиями.

Важным вопросом при синтезе сценариев является представление *темпоральной* информации, т. е. описание времени и атрибутов, изменяющихся с течением времени. Многие события имеют определенную длительность, а их последствия могут наступать с запаздыванием.

В отличие от классических моделей динамических систем в виде систем дифференциальных уравнений, при моделировании сценариев происходит приближенная имитация динамических процессов, при которой важен качественный характер зависимостей и не выдвигаются жестких требований к точности вычислений. Введение в рассмотрение времени необходимо также для указания параллельно протекающих событий. При этом используется понятие параллельно-временной грамматики, которая описывается шестеркой

$$G = (V, T, P, S, Temp, F),$$

где множество  $Temp = \{t \in Temp\}$  состоит из элементов, характеризующих время выполнения действий, а множество  $F = \{', \square\}$  отражает параллелизм событий. Апостроф в левой части правила означает начало параллельных процессов, а пустой надстрочный символ ( $\square$ ) соответствует правилам, не входящим в циклы.

Грамматические правила могут быть представлены в следующем виде:

- $A \rightarrow B(t_B)$ , где  $t_B$  — время выполнения события  $B$  в моделируемом процессе;
- $A' \rightarrow B(t_B)$ , где апостроф указывает начало выполнения параллельного процесса. Это значит, что существует по крайней мере еще одно правило вида  $A' \rightarrow C(t_C)$ , которое выполняется одновременно с правилом  $A' \rightarrow B(t_B)$ ;
- $Z(t_z) \rightarrow B(t_B)$ , где  $Z$  — последний символ в циклически повторяемой части строки,  $B$  — первый символ в цикле.

Время  $t$  может быть представлено вещественным либо целым числом. В первом случае оно соответствует длительности события, а во втором — количеству повторений операций, входящих в цикл.

Мы применяли сценарный подход для построения образов будущего в задачах прогнозирования и стратегического планирования социально-экономических систем [16–18]. При этом кроме известных программных средств проводились разработка и исследование специального программного обеспечения для генерации сценариев на основе причинно-следственных связей с представлением знаний средствами логики предикатов. В разработанной системе используется дискретное время, длительность событий задается указанием начала и конца. Количественные характеристики объектов, факторов, событий и других элементов сценария вычисляются с помощью процедур, хранящихся в БЗ.

Сценарный подход к прогнозированию требует больших затрат труда и времени для сбора и представления знаний, а также для экспертной оценки элементов информации. Целесообразность затрат зависит от того, как будут использоваться полученные результаты. Наиболее известны приложения подобного подхода в политике. Генерация сценариев актуальна для мультиагентных систем. Весьма полезным, на наш взгляд, может оказаться применение сценариев в задачах стратегического планирования для синтеза вариантов желаемого будущего и политик его достижения. Синтез сценариев в автоматическом режиме с использованием БЗ большого объема порождает огромное количество вариантов, многие из которых имеют незначительные отличия и не представляют интереса для последующего анализа. Поэтому актуальной задачей является выделение подмножества ценных сценариев. Ее решение возможно только в том случае, если сформулированы принципы и критерии оценки порождаемых сценариев. Рассмотрим некоторые подходы, которые здесь можно использовать.

Сценарий можно оценивать по достигнутому исходу или с учетом всего пройденного пути. В общем случае компьютерная система должна предоставлять разнообразные возможности для оценки полученных сценариев.

Для оценки сценариев в БЗ необходимо добавить следующую информацию:

- о целях (конечных и промежуточных), если таковые имеются. В качестве целей могут выступать желаемые события или состояния объектов (субъектов);
- о критериях качества, по которым оцениваются состояния объектов, события и исходы;
- о предпочтениях экспертов, проводящих оценку сценариев по критериям качества;
- о дополнительных условиях, сформулированных на основе представления об эффективном целостном сценарии (например, минимальное число шагов до заданной цели, наибольшее среднее значение заданной характеристики объекта, присутствие в сценарии множества заданных событий и т. п.).

Элементы сценария, являющиеся целями, снабжаются соответствующими метками. Кроме того, формируются новые структуры данных (таблицы) для представления имеющихся и новых целей. Желаемые цели могут иметь разную важность и могут оказаться противоречивыми. Достижимость целей можно оценивать с использованием различных принципов, например, с использованием мер близости. При наличии множества целей в качестве оценки достижимости можно выбрать средневзвешенное арифметическое оценок достижения отдельных целей или среднегеометрическое.

Альтернативный принцип оценки достижимости целей ориентирован на обязательное достижение всех целей. Когда цели имеют нечеткие формулировки, то имеет смысл перейти от двузначной шкалы (0, 1) к более информативным шкалам. Экспертные оценки значимости целей используются в процессе формирования обобщенного показателя качества сценария. При этом берется не абсолютная, а относительная оценка достижения целей, вычисляемая как отношение обобщенной оценки сценария к максимально возможному значению, соответствующему достижению всех целей.

Наряду с желательными событиями и состояниями объектов/субъектов в сценариях могут присутствовать нежелательные события и состояния, которые оцениваются с помощью отрицательных значений. В сценариях могут встречаться неоднозначные события или состояния — такие, которые могут наступать многократно и/или в разные моменты времени, причем наступление событий (состояний) при одних обстоятельствах является благом, а при других — злом. Такие события или состояния оцениваются с помощью продукционных правил.

В разработанной версии программного обеспечения для синтеза сценариев предусмотрено вычисление аддитивных и мультипликативных оценок целостного сценария на основе экспертных оценок желательных и нежелательных событий и состояний объектов. В процессе синтеза сценариев используются фильтры для отсеивания вариантов, не удовлетворяющих заданным дополнительным условиям (списки желательных и нежелательных событий, длительность сценария, время достижения главной цели и т. п.).

Обработку знаний выполняет блок синтеза, реализованный на основе допущения о том, что синтезируемые сценарии разбиты на равные отрезки (кванты) времени, в течение которых могут происходить (или не происходить) события (действия факторов и ДЛ). Данный блок обеспечивает функционирование спроектированной грамматики, а также осуществляет разделение событий во времени. Функционирование системы иллюстрируется схемой на рис. 10.



Рисунок 10. Упрощенная схема функционирования генератора сценариев

## 6. Заключение

Развитие общества вызывает изменение задач управления сложными антропогенными системами, где важнейшую роль играют процессы принятия решений. Появление новых подходов к принятию решений [19] обусловлено следующими причинами:

- увеличением количества информации, используемой для принятия решений;
- привлечением большего числа участников к процессам принятия решений;
- коллективным характером процессов принятия сложных решений;
- необходимостью всесторонней оценки возможных последствий принимаемых решений;
- развитием вычислительных средств и теории принятия решений.

В связи с этим задачи принятия решений становятся более сложными. Увеличение количества информации приводит к увеличению размерности задач принятия решений. Кроме того, возникают задачи предварительного анализа и структурирования этой информации. Легко заметить, что наиболее актуальные задачи принятия решений относятся к области слабоструктурированных проблем, для решения ко-

торых необходимы интеллектуальные системы, способные накапливать информацию, извлекать из нее знания и применять их для решения конкретных проблем.

Коллективный характер и усложнение процессов принятия решений порождают новые проблемы, к которым можно отнести следующие: синтез сложных решений; разрешение конфликтов; учет взаимного влияния факторов, определяющих решение.

Истощение природных ресурсов, ухудшение экологии, возрастающее количество техногенных катастроф, терроризм как следствие экономического неравенства и другие факторы заставляют ответственно подходить к оценке возможных последствий решений, принимаемых в политической, социально-экономической и социально-технической сферах. Учет реакции внешней среды, прогнозирование ее возможных изменений, прогнозирование изменений предпочтений, приоритетов и последствий принимаемых решений становятся самыми актуальными проблемами сегодняшнего дня.

## Литература

- [1] *Moulin H.* Axioms of Cooperative Decision Making. — Cambridge : Cambridge University Press, 1988.
- [2] *Кини Р., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях. Предпочтения и замещения. — М. : Радио и связь, 1981.
- [3] *Нейман Дж. фон, Моргенштерн О.* Теория игр и экономическое поведение. — М. : Наука, 1970.
- [4] *Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н.* Анализ, синтез, планирование решений в экономике. — М. : Финансы и статистика, 2006.
- [5] *Andreichicov A. V., Andreichicova O. N.* Analytic Network Process as Qualitative Simulating Tool: Researching of Financial Crisis // Proceedings of 10<sup>th</sup> International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process Multi-criteria Decision Making ISANP'2009. — University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2009.
- [6] *Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н.* Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике. Концептуальное проектирование инновационных систем. — М. : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013.
- [7] *Andreichicov A. V., Andreichicova O. N.* Software for inventive problem-solving// International Journal of Technology Management. 2001. Vol. 21. No. 3/4. P. 277–297. (<http://inderscience.metapress.com/content/1tyjmwuquq4fgq45/>)
- [8] *Andreichicov A. V., Andreichicova O. N.* Deciding on Copyrights on the Internet with the Analytic Network Process // Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. 2012. Vol. 19. No. 1/2. P. 79–88. (doi: 10.1002/mcda.462)

- [9] *Андрейчикова О. Н., Андрейчиков А. В.* Что делать с авторским правом в сети Интернет? Поиск решения методом аналитических сетей // Информационные технологии. 2012. № 8. С. 28–35.
- [10] *Андрейчикова О. Н., Черняева Н. В.* Оценка технико-экономической значимости изобретения на основе методов многокритериального анализа // Качество. Инновации. Образование. 2010. № 9. С. 2–5.
- [11] *Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н.* Стратегический менеджмент в инновационных организациях. Системный анализ и принятие решений. — М. : Инфра-М, 2013.
- [12] *Saaty T. L.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М. : Радио и связь, 1989.
- [13] *Saaty T. L.* Decision Making With Dependence And Feedback: The Analytic Network Process. — Pittsburgh : RWS Publications, 2001.
- [14] *Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н.* Прогнозирование вступления России во Всемирную торговую организацию // Инновации. 2004. № 10. С. 76–79.
- [15] *Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н.* Исследования проблемы вступления России во Всемирную торговую организацию методом аналитических сетей // Информационные технологии. 2006. № 2. С. 55–64.
- [16] *Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н.* Интеллектуальные информационные системы. — М. : Финансы и статистика, 2004.
- [17] *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.
- [18] *Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н.* Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике: Математические, эвристические, интеллектуальные методы системного анализа и синтеза инноваций. — М. : Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2012
- [19] *Andreichicov A. V., Andreichicova O. N.* New Paradigms of Decision-Making // Proceedings of the Annual Conference of Administrative Science Association of Canada, Halifax. Management Science Division. 2003. Vol. 4. No. 2. P. 28–34.

**Авторы:**

*Андрейчиков Александр Валентинович*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры менеджмента качества Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ)

*Андрейчикова Ольга Николаевна*, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Центрального экономико-математического института РАН



## The Methods and Intelligent Decision-Support Software for the Foresight-Studies

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

\*Moscow State University of Railway Engineering  
15, Obraztsova Street, GSP-4, Moscow, 127994

\*\*Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences  
47, Nakhimovsky prospekt, Moscow, 117418  
e-mail: alexandrol@mail.ru

*Abstract.* The paper describes a number of methods for long-term decision-making: Analytic Hierarchy Process with dynamic judgments that can be used for forecasting possible decisions' implications; Analytic Network Process that enables to prioritize alternatives in terms of mutual influence; fuzzy inference technique for supporting the decision-making processes by modeling reasoning; the method of logic synthesis of scenarios of complex systems' behavior, permitting to predict the future, taking into account the emergence of new trends and developments that could not be in the past. These methods were implemented in the intelligent software that has been tested in a few years with real problem solving in different subject fields, such as economics, innovation, management, conceptual designing, evaluation of intellectual capital, and others.

*Keyword:* Decision-making, intelligent systems, forecasting, dynamic judgments, analytic network, analytic hierarchy fuzzy logic.

### Reference

- [1] *Moulin H.* (1988) *Axioms of Cooperative Decision Making.* Cambridge University Press.
- [2] *Keeney R. L., Raiffa H.* (1993) *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs.* Cambridge university press.
- [3] *J. von Neuman, O.* (1953) *Morgenshtern Theory of games and economic behavior.* Princeton Univers. Press.
- [4] *Andreichikov A. V., Andreichikova O. N.* (2006) *Analiz, sintez, planirovanie reshenij v jekonomike.* Moscow, Finansy i statistika (In rus.)
- [5] *Andreichikov A. V., Andreichikova O. N.* (2009) Analytic Network Process as Qualitative Simulating Tool: Researching of Financial Crisis // Proceedings of 10<sup>th</sup> International Symposium on the *Analytic Hierarchy/Network Process Multi-criteria Decision Making ISAHP'2009.*
- [6] *Andreichikov A. V., Andreichikova O. N.* (2013) *Systemnyj analiz i sintez strategicheskikh reshenij v innovatike. Konceptualnoe proektirovanie innovacionnyh sistem.* Moscow, LIBROKOM. (In Rus)

- [7] Andreichicov A. V., Andreichicova O. N. (2001) Software for inventive problem-solving. *International Journal of Technology Management*, 21(3/4), 277–297. (<http://inderscience.metapress.com/content/1tyjmwuquq4fgq45/>)
- [8] Andreichicov A. V., Andreichicova O. N. (2012) Deciding on Copyrights on the Internet with the Analytic Network Process. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 19(1/2), 79–88. (doi: 10.1002/mcda.462)
- [9] Andreichicov A. V., Andreichicova O. N. (2012) Chto delat s avtorskim pravom v seti Internet? Poisk reshenija metodom analiticheskikh setej. *Informacionnye tehnologii*, 8, 28–35. (In rus.)
- [10] Andreichicova O. N., Chernjaeva N. V. (2010) Ocenka tehniko-jekonomicheskoy znachimosti izobretenija na osnove metodov mnogokriterial'nogo analiza. *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie*, 9, 2–5. (In rus.)
- [11] Andreichicov A. V., Andreichicova O. N. (2013) *Strategicheskij menedzhment v innovacionnyh organizacijah. Sistemnyj analiz i prinjatje reshenij*. Moscow. (In rus.)
- [12] Saaty T. L. (1980) *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation*. New York : McGraw.
- [13] Saaty T. L. (2001) *Decision Making With Dependence And Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh : RWS Publications.
- [14] Andreichicov A. V., Andreichicova O. N. (2004) Prognozirovanie vstuplenija Rossii vo Vsemirnuju torgovuju organizaciju. *Innovacii*, 10, 76–79. (In rus.)
- [15] Andreichicov A. V., Andreichicova O. N. (2006) Issledovanija problemy vstuplenija Rossii vo Vsemirnuju torgovuju organizaciju metodom analiticheskikh setej. *Informacionnye tehnologii*, 2, 55–64. (In rus.)
- [16] Andreichicov A. V., Andreichicova O. N. (2004) *Intellektualnye informacionnye sistemy*. Moscow : Finansy i statistika. (In rus.)
- [17] Andreichikov A. V., Andreichikova O. N. (2013) *Systemnyj analiz i sintez strategicheskikh reshenij v innovatike. Konceptualnoe proektirovanie innovacionnyh sistem*. Moscow: LIBROKOM. (In Rus)
- [18] Andreichikov A. V., Andreichikova O. N. (2012) *Sistemnyj analiz i sintez strategicheskikh reshenij v innovatike: Matematicheskie, jevrsticheskie, intellektual'nye metody sistemnogo analiza i sinteza innovacij*. Moscow: LIBROKOM. (In Rus)
- [19] Andreichicov A. V., Andreichicova O. N. (2003) New Paradigms of Decision-Making. Proceedings of the Annual Conference of *Administrative Science Association of Canada, Halifax. Management Science Division*, 4(2), 28–34. (<http://libra.acadiau.ca/library/ASAC/v24/Proceedings/ManagementScience.pdf>)

## Идентификация модели просветного радара на разных этапах технического проектирования радиолокационной системы

*Ф. Н. Ковалев, В. П. Хранилов*

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева  
Россия, 603600, Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
e-mail: kovalev@nntu.nnov.ru, hranilov@nntu.nnov.ru*

*Аннотация.* Представлены результаты системного анализа и идентификации радиолокационной системы, использующей принцип локации «на просвет». Рассмотрены проблемы и задачи просветной радиолокации, построена и обоснована феноменологическая модель хронологической эволюции просветных радиолокационных систем. На основе этой модели построена и идентифицирована математическая модель, предназначенная для применения при анализе, разработке и проектировании просветных радиолокационных систем. Основное внимание в работе уделено исследованию, моделированию, структурной и параметрической идентификации получаемых при этом различных вариантов построения систем, описываемых разными динамическими моделями и характеризующихся разными возможностями по обеспечению эффективности решения основной задачи радиолокационных систем – определению координат объекта.

*Ключевые слова:* проектная модель, кибернетическая модель «черный ящик», идентификация модели, структурная идентификация, параметрическая идентификация, локация «на просвет», просветная радиолокационная система, эволюция просветных радиолокационных систем, системная модель, пространство параметров, пространство состояний, модель проектирования в пространстве состояний, структурный синтез, параметрический синтез, управление параметрами просветного радиолокатора.

### 1. Введение

Радиолокаторы (радары) представляют собой сложные радиотехнические устройства, состоящие из антенных систем, передающих трактов, приемников, передатчиков, устройств обработки сигналов, устройств отображения [1–3]. Во взаимодействии этих элементов проявляются основные свойства радиолокационных систем (РЛС): обнаруживать объекты, определять их местоположение и траектории, распознавать объекты.

Отдельный класс радаров представляют собой РЛС, использующие принцип локации «на просвет». Таким системам присущи свои особенности во всех перечисленных задачах обнаружения, сопровождения и распознавания.

Необходимость развития названного направления радиолокации, создания возможностей реализации более совершенных РЛС, внедрения их в практику исследования окружающей среды и другие отрасли человеческой деятельности требуют разработки более перспективных подходов к реализации их жизненного цикла (особенно наиболее ресурсоемких его стадий — проектирования и производства), основанных на принципах непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделий (CALS-технологий). В данной работе предпринята попытка применения такого системного подхода и идентификации соответствующих моделей, в соответствии с которым рассмотрены проблемы и задачи просветной радиолокации, построена и обоснована феноменологическая модель эволюции просветных РЛС. На основе данной модели построены и идентифицированы математические модели, предназначенные для применения при анализе, разработке и проектировании просветных РЛС на всех этапах их жизненного цикла. Основное внимание в работе уделено исследованию, моделированию, структурной и параметрической идентификации получаемых при этом различных вариантов построения систем, описываемых различными динамическими моделями и характеризующихся различными возможностями по эффективности решения одной из основных задач РЛС — определению координат объекта.

Проблемам создания, разработки и технического проектирования таких РЛС посвящено большое количество публикаций, составляющих единое научное направление просветной радиолокации [4–13, 26–28]. Подавляющее большинство работ раскрывает частные вопросы построения и функционирования просветных систем и в них, как следствие, отсутствует единый системный подход к просветной радиолокации в целом и системный подход к организации просветных РЛС различных назначений. Недостаточность и отсутствие глубины применения методов системного анализа при проектировании просветных РЛС, а также системного изложения проблем просветной радиолокации и рассмотрения соответствующих аналитических моделей, формализующих процессы, реализуемые на различных этапах их технического проектирования, в значительной степени ограничивает дальнейшее развитие этого перспективного инновационного направления в разработке и внедрении РЛС.

## **2. Системный анализ содержания предметной области исследования**

### **2.1. Просветный радиолокатор — радиотехническая система для извлечения информации**

Радиолокационные системы относятся к обширному классу информационных радиосистем извлечения информации при помощи радиоволн, являющихся носите-

лем радиосигналов [2, 3]. Система извлечения информации (рис. 1) состоит из нескольких элементов, связанных между собой для выполнения задачи извлечения информации об исследуемом объекте. Информация извлекается из собственных сигналов, излученных в направлении на исследуемый объект и отраженных от него (типичная система радиолокации [3]), или из сигналов других радиосистем (система радиоизмерений), или из собственного радиоизлучения различных тел (система пассивной радиоастрономии).

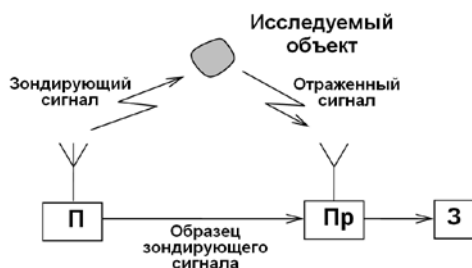


Рисунок 1. Схема системы извлечения информации

На рис. 1: радиопередающее устройство — передатчик (П) — излучает в направлении исследуемого объекта специальный (зондирующий) сигнал, который после рассеяния (отражения от объекта) поступает в радиоприемное устройство — приемник (Пр), отфильтровывается от помех и сравнивается с образцом зондирующего сигнала, поступающего непосредственно из радиопередающего устройства П, расположенного либо рядом с приемным устройством (как в совмещенных радиолокаторах), либо на расстоянии от него (как в разнесенных, или бистатических радиолокаторах [2–6, 11]). В результате этого сравнения извлекается информация о наличии или отсутствии объекта отражения, его местоположении, параметрах движения и рассеивающих свойствах. После чего информация поступает потребителю — заказчику (З).

В просветных РЛС, относящихся к классу бистатических или разнесенных радиолокационных систем, используется рассеянное излучение повышенной интенсивности (просветный эффект) в направлении тени [6]. Применение этого эффекта изначально предполагает расположение приемника по другую сторону от объекта относительно передатчика. Просветным системам присуща небольшая зона действия (в окрестности отрезка, соединяющего передатчик с приемником) [5] и малая задержка рассеянного сигнала относительно прямого сигнала передатчика, поступающего непосредственно на вход приемной системы (см. рис. 1).

## 2.2. Интеграция РЛС и повышение эффективности радиолокационного поля

Современной тенденцией развития радиолокации является объединение нескольких радаров в более сложную систему — многопозиционную радиолокацион-

ную систему (МПРЛС) [12]. Такое объединение позволяет получить новые свойства РЛС.

На рис. 2 показана возможная структура многопозиционной РЛС [2], включающая в себя однопозиционные РЛС (ОПРЛС1, ОПРЛС2), бистатические (БиРЛС1 ÷ БиРЛС6) и пассивные (ПРЛС1 ÷ ПРЛС4), расположенные в различных точках пространства. Расстояния между позициями называются базой и обозначены на рис. 2 буквой Б.

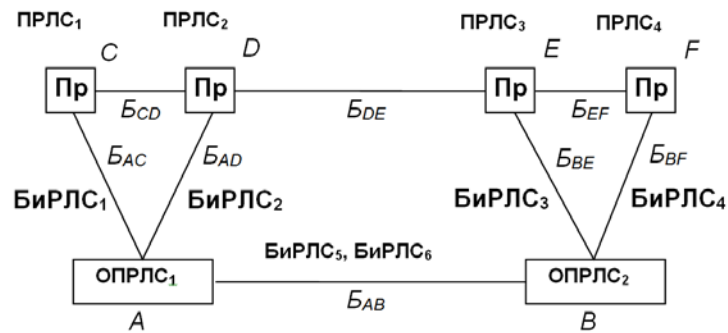


Рисунок 2. Возможная структура МПРЛС

В обобщенной структуре (рис. 3), выделяемой в результате анализа системных связей в МПРЛС (рис. 2), также выделяют основные компоненты системы [2]: аппаратуру разнесенных позиций (РП), каналы передачи информации (1), каналы синхронизации (2) и пункт обработки информации (ПОИ), где поступающие от разных позиций и систем сигналы и информация объединяются и обрабатываются совместно.

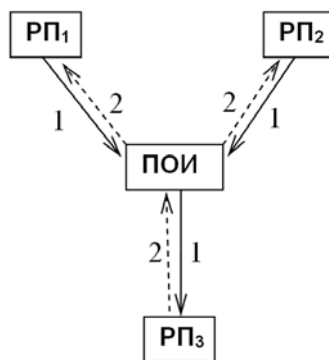


Рисунок 3. Обобщенная структурная схема МПРЛС

Просветные РЛС, изначально основанные на разнесении элементов (передатчика и приемника), удачно вписываются в концепцию многопозиционных радаров

[29], а из представленных схем и анализа их структурных преобразований следует, что изучение и всесторонние исследования возможностей просветных радаров позволяют четко определить их место и роль как в многопозиционных системах, так и в более крупном образовании — радиолокационном поле. Обозначенные возможности наиболее полно могут быть реализованы при условии применения методов и математического аппарата системного анализа, управления и обработки информации, так как возрастающая сложность РЛС требует применения адекватных их усложнению методов анализа, математических моделей и комплексных проектных решений.

### 2.3. Физические основы просветной радиолокации

Принцип просветной радиолокации состоит в применении разнесенной схемы радиолокационного наблюдения, когда рассеивающий объект (рис.1) находится между передатчиком и приемником [6]. Основная привлекательность такого способа наблюдения состоит в возможности принимать поле повышенной интенсивности, рассеянное в направлении тени объекта. Эффект повышенного переизлучения в направлении тени называют просветным [5]. Он начинает проявляться при размерах объекта, больших длины волны  $\lambda$ .

Расчет рассеянного на объекте поля в просветных системах основан на использовании принципа Бабинне [4], согласно которому плоский поглощающий экран конечных размеров можно заменить отверстием той же формы и размеров в бесконечном плоском экране. Соотношения для расчета и анализа получаются с применением для расчетов дифракционного интеграла Кирхгофа [5, 6]. Расчет рассеянного поля в этом случае сводят к дифракции на отверстии с границами и размерами, определяемыми проекцией теневого контура цели на плоскость, перпендикулярную направлению падающей волны. Рассеянное на объекте поле можно представить в виде суммы собственного поля рассеяния  $E_p$  и теневого поля  $E_t$ , имеющего наибольшую интенсивность в направлении геометрической тени объекта [4, 5]. Поле  $E_t$  определяется теньевым контуром, т. е. границей освещенной части поверхности [4]. Исключительно важным моментом является слабая зависимость теневого поля непрозрачных (черных) тел от поверхности тела и материала, из которого оно изготовлено [4, 5].

### 2.4. Состояние и системные проблемы просветной радиолокации

Исторически просветная схема наблюдения лежала у истоков всей радиолокации [1]. В первых опытах по радиосвязи А. С. Поповым была установлена возможность обнаружения объекта (корабля) при пересечении им линии радиосвязи между двумя другими кораблями. К РЛС просветного типа также относятся первая выпущенная серийно в конце 30-х годов XX века отечественная радиолокационная станция наземного базирования с непрерывным излучением РУС-1 и американская РЛС AN/FPS-23 («Fluttar») [6]. Однако последующее развитие радиолокации пошло

по пути создания и совершенствования импульсных совмещенных (однопозиционных) РЛС, считавшихся в 40-50-е годы более передовыми по отношению к радарам первого поколения.

Интерес к просветному способу радиолокационного наблюдения возродился в 70–80-х годах прошлого века в связи с их уникальными возможностями по обнаружению «черных тел» и появлением самолетов-невидимок Stealth. В отмеченный период времени стали появляться публикации по просветной радиолокации, методам расчета теневого поля и принципам распознавания объектов [4, 6]. С некоторой задержкой, в 1990–2000 годах, вышли работы, посвященные методам определения координат цели [5, 8, 9]. В отличие от простейших просветных систем с одним передатчиком и одним приемником и выделением доплеровских биений, оценка координат потребовала усложнения приемника — добавления в нем угломерного устройства (местоположение определялось по измерениям азимута и доплеровской частоты).

В 2000-е годы Нижегородским федеральным научно-производственным центром радиолокации (ННИИРТ) представлен серийный образец просветного радиолокатора. Предполагалось, что построение систем с траекторной обработкой, несмотря на исходную «плохую» геометрию просветных радиолокаторов [13], существенно расширяет их возможности. Определение координат в бистатических просветных радиолокаторах производят на основе угломерно-дальномерного метода [9, 13] и приближенных выражении, получаемых для равномерного прямолинейного движения цели ортогонально линии базы [7].

В настоящее время на основе совокупности достижений нескольких известных российских научных школ констатируется формирование единого научного направления — просветной радиолокации, с приоритетом, признаваемым в зарубежном научном мире. Достигнутые теоретические результаты охватывают в основном физические принципы действия просветных РЛС, проблемы моделирования и адекватной математической обработки первичной информации, получаемой с антенных устройств, вопросы совершенствования методов формирования антенных полей и использования фазированных антенных решеток, методы цифровой обработки сигналов на всех элементах трактов передачи информации, в том числе приемных трактов и трактов отображения информации и т. д. Прикладные достижения в этой области позволили начать внедрение идеи просветной радиолокации на практике.

Однако специфика создаваемых устройств, а также необходимость возможно быстрого внедрения просветных РЛС, отодвинули на второстепенный план системотехнические проблемы создаваемых РЛС, относящихся по общепринятой классификации к разряду «больших информационных систем» с разнообразными и разнородными по своей природе и структуре информационными потоками, с характерных для практики проектирования таких систем применением принципов системного подхода и соответствующего инструментария исследований, моделирования и разработки, построенных на теоретической основе системного анализа, технической кибернетики с использованием присущего им математического аппарата.



Отсутствие единого системного подхода к просветной радиолокации в целом и системного подхода к организации просветных РЛС различного назначения, недостаточное внимание разработчиков к применению методов системного анализа при проектировании просветных РЛС, а также отсутствие соответствующих аналитических моделей, формализующих процессы проектирования, приводят в совокупности к ограничению в значительной степени дальнейшего развития этого перспективного инновационного направления радиолокации в разработке и внедрении современных РЛС.

### **3. Системная модель эволюционного развития просветных систем**

Хронологический анализ развития любой технической системы позволяет получить множество полезной информации, позволяющей систематизировать и формализовать существующие тенденции и закономерности их развития в ходе непрерывного совершенствования качественных и количественных характеристик, определяющих их функциональность. Такой анализ [14, 15], проведенный для предметной области вычислительных систем, дал возможность определить тенденции, выделить тренды и приоритеты развития отдельных направлений.

Исходя из обоснованно выделенных в ходе анализа развития проблемы просветной радиолокации п. 2.4 системных проблем просветных РЛС, вполне разумно и целесообразно применить зарекомендовавший себя прием системного анализа для построения и идентификации феноменологической модели эволюционного развития изучаемой предметной области, ожидая при этом достижения аналогичных целей — определение тенденций, выделение трендов и приоритетов развития отдельных направлений и технологий просветной радиолокации в целом, и, в частности, РЛС, использующих просветный эффект.

Модель эволюционного развития просветных систем можно построить и идентифицировать, исходя из следующих предпосылок:

- устойчиво сложившаяся в практике применения на протяжении от их появления до нашего времени структура просветных систем (структурирование-идентификация в пространстве качественного состава основных элементов РЛС и их структуры, т. е. в пространстве состояний [17]);
- хронологическая последовательность изменения структуры и параметров элементов отдельных компонентов РЛС (структурирование-идентификация во временной области [17]);
- нормированные безразмерные обобщенные показатели временных уровней эволюции просветных систем (структурирование-идентификация в пространстве обобщенных параметров компонентов РЛС, т. е. в пространстве параметров [17]).

Предметная область просветных систем (от начала появления и в будущем) может быть условно разбита на РЛС 1÷5 поколений.

В соответствии с номером поколений менялись возможности систем и их структура:

- РЛС обнаружения (О) [12] (первая отечественная РЛС РУС-1);
- однозвенная и двухзвенная системы с одним передатчиком и двумя приемниками (РУС-1);
- РЛС обнаружения и распознавания (Р) [6];
- РЛС обнаружения, распознавания и локации (Л) [5, 10];
- многозвенная система, т. е. системы с несколькими последовательными ячейками П-Пр [28];
- многопозиционные РЛС (МПРЛС) [29];
- МПРЛС на основе передатчиков других систем (создание космических систем);
- РЛС с управляемым зондирующим сигналом и изменяемой структурой обработки в зависимости от типа обнаруживаемого объекта (адаптивные РЛС — АРЛС) — предполагаемая фаза развития в будущем.

Анализ эволюционного развития просветных РЛС на обозначенных основаниях и выделенных поколениях систем позволяет построить феноменологическую модель развития просветных систем с применением теоретико-множественного подхода (рис. 4). При этом вводится в рассмотрение характеризующий систему интегральный параметр ИП.

Так, для системы третьего поколения его можно представить следующим:

$$\text{ИП}_3 = \text{O} \cup \text{P} \cup \text{L}. \quad (1)$$

На рис. 4 существующее (третье) поколение отмечено серым цветом. Соответственно для двух предыдущих поколений параметр ИП принимает вид:

$$\text{ИП}_1 = \text{O}, \quad (2)$$

$$\text{ИП}_2 = \text{O} \cup \text{P}, \quad (3)$$

Модели систем других поколений получаются аналогично, в соответствии с рис. 4., при помощи теоретико-множественных операций объединения, пересечения разности, используя исключение и добавление новых характеристик.

Анализ построенной и идентифицированной модели позволяет выявить следующие закономерности и тенденции в развитии техники просветных РЛС. Из (1), (2), (3) несложно видеть изменение параметра  $\text{ИП}_i$  по мере развития просветных РЛС. Основой изменений является как углубление теоретических моделей, описывающих процессы в системе, так и, что особенно важно, совершенствование средств обработки сигнала. Так, если в системах первого поколения ( $\text{ИП}_1$ ) использовались достаточно простые (по современным меркам) аналоговые средства регистрации сигнала и наблюдения, то в перспективных системах следует ожидать применения как более чувствительных приемников, так и вычислительных машин большой мощности. Все это совместно с новыми методами цифровой обработки

сигналов позволяет производить более «тонкий» анализ рассеянного сигнала и получать большее число сведений о наблюдаемых объектах [6, 11].

	О	Р	Л	МПРЛС	АРЛС
1					
2					
3					
4					
5					

Рисунок 4. Теоретико-множественная модель эволюции просветных РЛС

С развитием технологий цифровой обработки сигналов, производством высокопроизводительных компактных вычислительных устройств связаны перспективные направления развития просветной радиолокации. Одним из них является многопозиционная радиолокация [27, 29], что соответствует общему направлению развития радиолокации в целом [12]. Применение разнесенного приема позволяет, в частности, увеличить объем сигнальной информации и, как следствие, повышает качество распознавания и сопровождения объектов.

Полученные в результате анализа тренды развития подтверждены в практике разработок, ведущихся в профильных исследовательских коллективах. Следует заметить, что выделение отдельной процедуры идентификации модели эволюционного развития просветных систем в пространствах состояний (структур) и параметров позволяет получить необходимую информацию для прогноза технического развития просветных РЛС не только в плане их ретроспективного развития, а и как источник рекомендаций по их совершенствованию и модернизации.

## 4. Проектная модель просветной РЛС

### 4.1. Модели просветного радара

Просветные радары и многопозиционные системы на их основе относятся к категории «больших информационных систем», обладающих повышенной сложностью структуры, с большим количеством элементов, разнообразными и разнородными по своей природе и структуре информационными связями. Наиболее существенными факторами, определяющими их качественные характеристики можно считать [18]:

- наличие единой цели функционирования для всей системы;
- многообразии и разнородности функций, реализуемых системой;

- большое число информационно-связанных и взаимодействующих элементов;
- возможность деления системы на подсистемы;
- иерархическая структура связей подсистем;
- наличие в системе управления и высокая степень его автоматизации;
- устойчивость к воздействию внешних и внутренних возмущающих факторов и наличие элементов стабилизации и самоорганизации.

Математическая постановка задач, возникающих при анализе и проектировании просветных систем, так или иначе связана с оптимизацией параметров элементов и интегральных характеристик. Важное значение здесь имеет задание и построение иерархии моделей, их идентификация в пространствах состояний (структур), параметров и во временной области. В этом случае каждому этапу исследования и проектирования сопоставляется самостоятельная модель элементов и системы и, тем самым, поставленные задачи необоснованно не усложняются. Тесно связанным с вопросом задания моделей является выбор параметров, которые наиболее точно характеризуют соответствие системы исходным или промежуточным (на этапе проектирования) целям.

#### 4.2. Обобщенные кибернетические модели просветной системы на этапе проектирования

Математическую модель (ММ) просветного радиолокатора можно задать в виде традиционной кибернетической модели «черного ящика» [19, 20]:

$$\Sigma_M = \{T_M, X_M, U_M, \Omega_M, Y_M, \Gamma_M, H_M, G_M\}, \quad (4)$$

где  $T_M$  — множество моментов времени;  $X_M$  — множество состояний системы;  $U_M$  — множество мгновенных значений входных воздействий;  $\Omega_M$  — множество допустимых входных воздействий;  $Y_M$  — множество мгновенных значений выходных воздействий;  $\Gamma_M$  — множество допустимых выходных воздействий;  $H_M$  — оператор переходов, устанавливающий функциональную связь между состояниями  $X_M$ ;  $G_M$  — оператор, устанавливающий связь между состоянием системы и ее выходной интегральной характеристикой, предопределяющей множество  $\Gamma_M$ .

В зависимости от уровня и назначения модели под величинами  $X_M, U_M, \Omega_M, Y_M, \Gamma_M$  можно подразумевать разные процессы. Например, в качестве  $U_M$  и  $Y_M$  можно взять входные и выходные процессы только приемника. При дальнейшем углублении модели моделью (4) можно описывать только вторичную обработку сигнала, а в качестве  $U_M$  использовать результаты первичных измерений просветного радиолокатора (доплеровская частота, запаздывания сигнала и т. д).

Под множеством моментов времени  $T_M$  здесь подразумевается последовательность дискретных моментов времени  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$ , а соответствующие им процессы можно назвать отсчетами.

Дальнейшее представление модели (4) основано на более детальном учете отдельных аспектов и зависит от назначения модели. При проектировании просветной системы часть управляющих функций осуществляется при помощи автоматизированной управляющей системы (АС), однако остается приоритетной доля человеческого участия. Поэтому управление при проектировании осуществляется непосредственно со стороны человека, как лица, принимающего решения (ЛПР) и при помощи автоматизированной управляющей системы. Процесс управления на стадии проектирования можно представить в виде замкнутой схемы на рис. 5.

Таким образом, для начальной стадии проектирования просветной системы можно использовать следующую модель [21, 22]:

$$Y_M = F(X_M, \Lambda_M, U_M, U'_M), \quad (5)$$

где  $X_M$  — условно можно назвать вектором состояний ресурсов системы (элементов внутренних параметров, задаваемых в общем случае технико-экономическими характеристиками);  $\Lambda_M$  — вектор параметров внешних воздействий (к ним можно отнести не только мешающие воздействия, но и сами цели с указанием с той или иной точностью их параметров);  $U_M$  — вектор управляющих воздействий;  $U'_M$  — вектор корректирующих управляющих воздействий;  $Y_M$  — вектор выходных параметров (интегральных технико-экономических характеристик просветного радиолокатора, или, в более узком смысле, информацию для заказчика-потребителя, см. рис. 1), отображающий результаты управления ресурсами и параметрами системы;  $F_M$  — теоретико-множественный функционал, выражающий соответствие  $q_M = (X_M, Y_M, F_M)$  с учетом воздействия внешних факторов  $\Lambda_M$  и управляющих воздействий  $U_M, U'_M$  и  $Z_M$  (рис. 5).

На схеме (рис.5) обозначены основные функциональные зависимости составляющих ММ, описывающие процесс управления ресурсами состояний системы  $X_M$  при проектировании РЛС.

### 4.3. Идентификация модели в пространстве состояний

В большинстве случаев для представления в ММ просветного радиолокатора (4) пространства состояний (ПС) в качестве ядра ММ применяются дифференциальные уравнения и, соответственно, ПС может быть выражено множеством фазовых состояний, задаваемых с учетом трех основных составляющих: имеющихся ограничений; заданной дискретности отсчетов времени; закона эволюции, отображающего любую точку фазового пространства при любом отсчете времени в однозначно определенное состояние системы [16, 17]. Состояние  $x_i$  определяется как структурой модели, так и сложившимися в определенный момент времени набора-

ми параметров, т. е. применение традиционного разложения модели на ПС и ПП и следующая за ним отдельная обработка модели не представляются вполне корректной проектной операцией, хотя в ряде случаев, например, при проектировании систем автоматического управления [19, 20], вполне уместна и зарекомендовала себя с положительной стороны, приводя к конструктивным решениям, обладающим необходимыми качественными показателями.

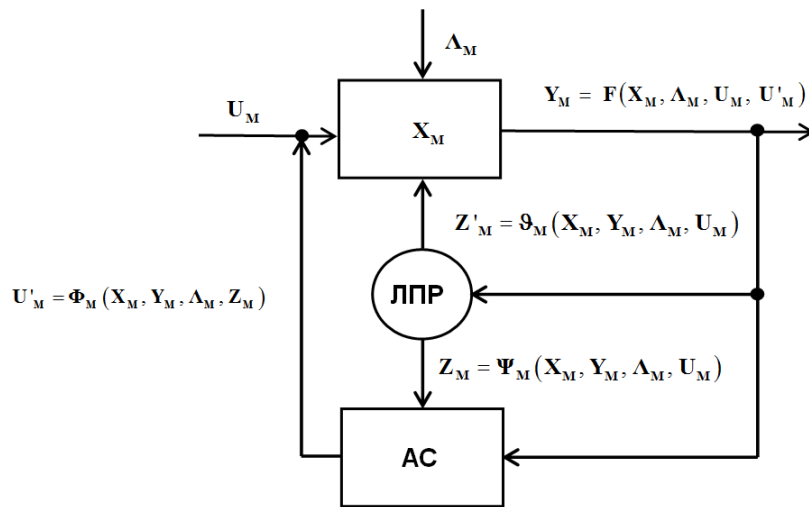


Рисунок 5. Модель прямого интерактивного (автоматизированного) управления при проектировании прожекторной РЛС

Однако, при необходимости получения решения в условиях неопределенности, порождаемой вариациями структуры и параметров элементов проектируемой системы в процессе структурного и параметрического синтеза, изменением вектора управления и внешних воздействий  $U$ , а также определяемой наличием неустойчивости параметров или интерактивного управления, применение традиционного математического аппарата при создании алгоритмического и программного обеспечения не приводит к приемлемым результатам проектирования, адекватным ожидаемым и удовлетворяющим запросы разработчиков.

Для сохранения общности в математической записи выражения модели множество дискретных состояний системы  $X_M$ , представляющее множество вариантов схемы устройства со своими фиксированными наборами элементов, обозначим как  $S = \{s_0, s_1, s_2, \dots, s_n\}$  (рис. 6).

Таким образом, для формализованного описания состояний проектируемой ТС в ПС, определенного в обозначениях рассматриваемой ММ, имеем

$$S(t_2) = H_M(S(t_1), U, \Omega),$$

следовательно, для единичных мгновенных состояний проектируемой ТС в ПС

$$s(t_2) = \varphi(s(t_1), u(t_1)), u(t_1) \in \Omega.$$

Введем также в рассмотрение множества параметров элементов системы —  $\mathbf{P}$ , и множество их допустимых значений —  $\mathbf{D}_P$ , определяющих состояния системы и предназначенных в данном случае для организации взаимосвязи и отображения изменений в ПП при изменениях в ПС и наоборот.

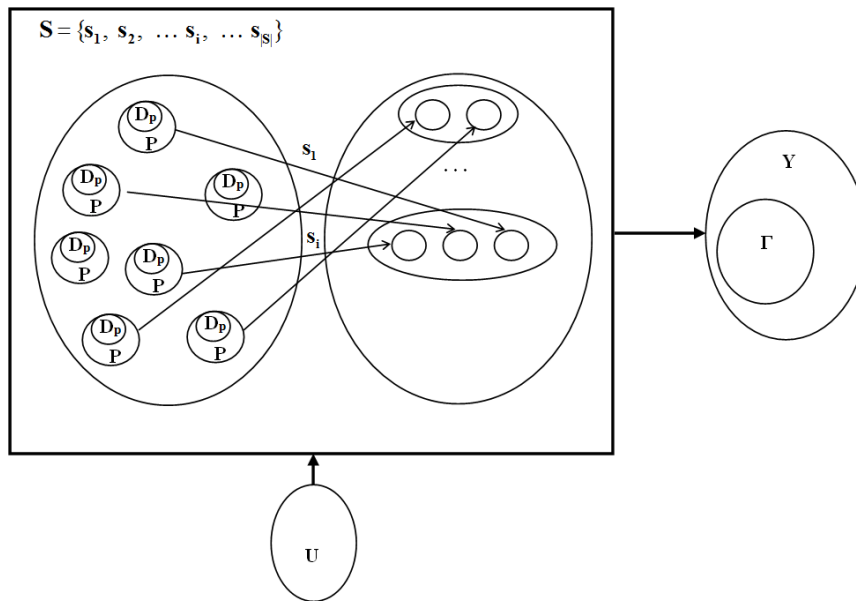


Рисунок 6. Модель изменения состояний в результате структурного синтеза

Введение в рассмотрение множества  $\mathbf{P}$  приводит к необходимости проведения дополнительного анализа применяемого внутреннего оператора  $\mathbf{H}_M$  и выделения в нем компоненты  $\mathbf{F}_M$ , отображающей преобразование параметров, вызванное структурными изменениями и функциональными связями между параметрами:  $\mathbf{H}_M = \mathbf{H}'_M \cup \mathbf{F}_M$ . Это требуется для обеспечения согласованного описания подмножеств состояний (вариантов структурных решений) в ПС модели проектируемой РЛС и их параметрических описаний в ПП.

#### 4.4. Идентификация внутренних операторов модели просветной системы на этапе проектирования

*Идентификация оператора  $\mathbf{H}'_M$ .* Для внутреннего оператора  $\mathbf{H}'_M$ , устанавливающего связь между состояниями системы, наиболее целесообразным для идентификации будет его выражение в ПС в виде теоретико-множественного соответствия в форме отображения  $\mathbf{Г} : \mathbf{M} \rightarrow \mathbf{Q}$  (рис. 7).

В этом случае задача проектирования РЛС, как распределенной системы  $\mathbf{Q}$ , состоящей из объектно-ориентированных модулей-наборов (ООН)  $\mathbf{Q}_i$ , реализующих

необходимые рабочие функции РЛС, рассматривается как их формирование из элементов  $m_i \in \mathbf{M}$  проблемно-ориентированного набора (ПОН) —  $\mathbf{M}$  [16, 17, 21, 22]. Реализация процесса формирования ООН  $\mathbf{Q}_i$  подразумевает интерактивное взаимодействие разработчика и системы проектирования, т. е. соответствует принятой в п. 4.2 схеме замкнутого непрямого управления (рис. 5). Для идентификации ММ в пространстве состояний процесс формирования ООН описывается отображением  $\Gamma: \mathbf{M} \rightarrow \mathbf{Q}$ . При описании операций передачи модулей между базовым множеством ПОН —  $\mathbf{M}$  и множеством ООН —  $\mathbf{Q}$  исходное отображение  $\Gamma: \mathbf{M} \rightarrow \mathbf{Q}$  целесообразно разбить на два уровня:  $\Gamma_1: \mathbf{M} \rightarrow \mathbf{V}$  и  $\Gamma_2: \mathbf{V} \rightarrow \mathbf{Q}$ , дополнив процесс формирования виртуальной фазой, соответствующей на практике созданию и апробации виртуальных моделей пробных вариантов РЛС, обозначаемых множеством  $\mathbf{V}$  (рис. 7). Доказывается [25], что универсальным математическим аппаратом для описания состояний элементов проектируемой РЛСС  $m_i \in \mathbf{M}$  с учетом неопределенности условий вхождения в различные ООН является нечеткое множество (НМ)  $\tilde{A}$ , заданное на базовом множестве  $\mathbf{M}$  и образованное прямым отображением  $\Gamma: \mathbf{M} \rightarrow \mathbf{Q}$ :

$$\tilde{A}(m_i) = \{ \langle \mu_{\mathbf{Q}_i}(m_i), \mathbf{Q} \rangle \} = \\ = \{ \mu_{\mathbf{Q}_1}(m_i) / \mathbf{Q}_1; \mu_{\mathbf{Q}_2}(m_i) / \mathbf{Q}_2; \dots; \mu_{\mathbf{Q}_i}(m_i) / \mathbf{Q}_i; \dots; \mu_{\mathbf{Q}_m}(m_i) / \mathbf{Q}_m \},$$

где  $\mu_{\mathbf{Q}_i}(m_i)$  — степень принадлежности  $m_i$  к ООН  $\mathbf{Q}_i$ ;  $n = |\mathbf{M}|$ ;  $m = |\mathbf{Q}|$ .

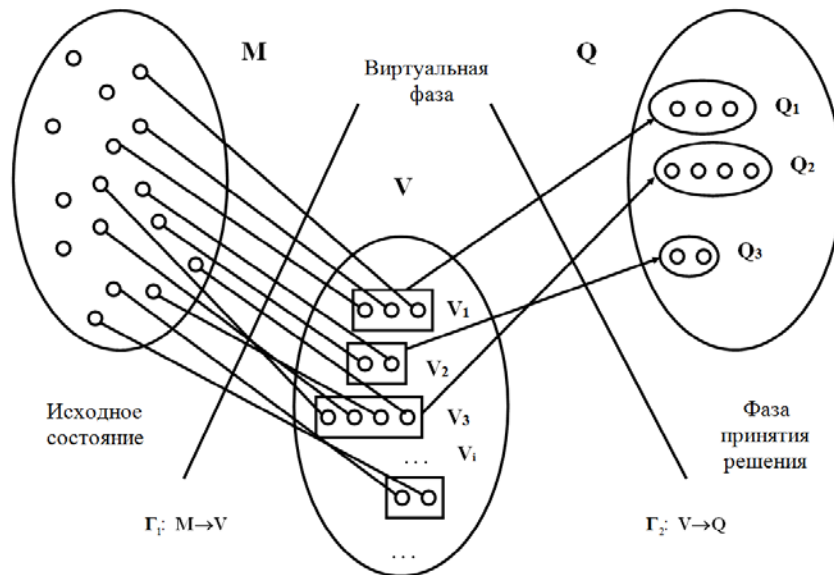


Рисунок 7. Формализованное описание процесса проектирования РЛС  
в пространстве состояний



Геометрической интерпретацией варианта объекта при идентификации ММ в ПП является точка в  $n$ -мерном Евклидовом пространстве внутренних параметров, в котором для каждой из  $n$  управляемых переменных выделена соответствующая координатная ось [25]. Модель проектируемых объектов идентифицируется в ПП с использованием соотношений, полученных в п. 4.2.

Таким образом, для формализованного описания единичных мгновенных состояний элементов проектируемой ТС в ПС, определенного в обозначениях рассматриваемой ММ, имеем  $s(t_2) = \varphi'(s(t_1), u(t_1))$ ,  $\varphi' \in \mathbf{H}'_M$ ,  $\mathbf{H}'_M \in \mathbf{H}_M$ ,  $u(t_1) \in \Omega$ . В соответствии с принятой моделью переходов в виде теоретико-множественных отображений получается:  $s(t) = s_1(t) \cup s_2(t)$ , где  $s_1(t) | v_j = \Gamma_1 m_i$ ;  $s_2(t) | q_k = \Gamma_2 v_j$  при  $m_i, v_i, q_i \in \mathbf{M}$ .

*Идентификация оператора  $\mathbf{F}_M$ .* Для выражения внутреннего оператора  $\mathbf{F}_M$ , устанавливающего изменения параметров элементов при переходах между состояниями, применяются, как правило, математические модели физических процессов, определяющих функционирование проектируемого объекта. Принятое, как правило, в этом случае применение математического аппарата дифференциальных уравнений способно продвинуть решение задачи и получить удовлетворительные результаты лишь при условии строго фиксированной структуры модели, т. е. только в ПП без отображения связей и взаимодействий, неизбежно возникающих при структурных изменениях [19, 20], традиционно вынесенных в ПС и отображаемых там с применением соответствующих математических описаний в виде графов. Вместе с тем при обращении к конкретной предметной области проектирования РЛС почти всегда имеются рекомендации, учитывающие эти взаимосвязи, и накопленные опытным путем [1–3, 7–11, 13]. В некоторых случаях эти взаимосвязи формализованы в результате специальных исследований и последующего анализа [7, 11, 13]. Применение этих зависимостей позволяет учитывать взаимные влияния элементов путем введения в алгоритмы расчетов соответствующих корректирующих поправок в виде отдельных расчетных моделей, поправочных коэффициентов и т. п. При использовании современных САЕ-систем и наличии в их составе надежных и приемлемых по временным затратам (быстродействующих) моделей элементов и корректно реализованных алгоритмов их сборки при структурном синтезе РЛС их рекомендуется использовать после необходимых преобразований, позволяющих извлекать зависимости, отображающие взаимные связи параметров элементов.

Таким образом, для формализованного описания единичного мгновенного состояния проектируемой РЛС в ПП, определенного в обозначениях рассматриваемой ММ, имеем  $p(t_2) = f(p(t_1), u(t_1))$ , где  $f \in \mathbf{F}_M$ ,  $\mathbf{F}_M \in \mathbf{H}_M$  может быть выражена непосредственными аналитическими зависимостями, полученными заранее в результате применения к массивам взаимосвязанных параметров регрессионного [16] или корреляционного [16, 22] анализа. Вместе с тем в работе [23] показана принципиальная возможность применения для этих целей математического аппарата искусственных нейронных сетей.

*Идентификация оператора  $\mathbf{G}_M$ .* Внутренний оператор  $\mathbf{G}_M$  устанавливает связь между состояниями системы и ее выходными характеристиками в ПП. Подмножества управляемых параметров  $\mathbf{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ , выходных параметров  $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$  и управляющих параметров  $\mathbf{U} = (u_1, u_2, \dots, u_p)$  формируют ПП ММ. При помощи скалярной свертки векторов управляемых и управляющих параметров, соответственно  $\mathbf{P}$  и  $\mathbf{U}$  формируется образ вектора выходных параметров. Вместе с описанием ПС, определенным множествами  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{V}$ ,  $\mathbf{Q}$  и отображениями  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  (рис. 7), использование согласованного параметрического описания характеристик отдельных элементов —  $\mathbf{P}$  и всей проектируемой ТС в целом —  $\mathbf{Y}$ , в виде скалярной свертки, позволяют установить необходимую для процесса проектирования связь между ними во временной области  $T = (t_0, t_1, t_2, \dots, t_n)$ .

Таким образом, для формализованного описания состояний проектируемой ТС в ПП, определенного в обозначениях рассматриваемой ММ, имеем  $\mathbf{Y}(t) = \mathbf{G}_M(\mathbf{S}(t), \mathbf{U}, \mathbf{G}, \mathbf{\Omega})$ , следовательно, для единичных мгновенных состояний проектируемой ТС в ПП:  $y(t) = \eta(s(t), u(t))$ ,  $u(t) \in \mathbf{\Omega}$ ,  $y(t) \in \mathbf{G}$ , где  $\eta \in \mathbf{G}_M$ .

#### 4.5. Идентификация модели процесса проектирования просветной РЛС

Формально описать этапы процесса проектирования просветной РЛС, т. е. фактически идентифицировать модель проектирования в пространстве состояний (структур) можно, представив ее в виде трехфазного процесса трансформации структуры проектируемой РЛС (рис. 7). Следует заметить, что предлагаемая схема процесса проектирования, реализуемая в модели, формально отражает основные этапы конструирования РЛС с заданными характеристиками из имеющегося набора исходных компонентов, из которых и «собирается» радар.

Аналогичные модели и процесс их идентификации апробированы в различных приложениях [17, 21–24] и зарекомендовали себя как хорошее средство адекватного моделирования и описания процессов проектирования разнообразных технических систем.

Рассмотрим задачу проектирования РЛС как распределенной системы  $\mathbf{Q}$ , состоящей из объектно-ориентированных модулей-наборов (ООН)  $\mathbf{Q}_i$ , реализующих процессы управления на рабочих станциях  $\mathbf{V}_j$  [21, 22] и формируемых в процессе интерактивного взаимодействия разработчика и системы проектирования из элементов  $m_i \in \mathbf{M}$  проблемно-ориентированного набора (ПОН) —  $\mathbf{M}$  (рис. 8). Для идентификации ММ в пространстве состояний процесс формирования ООН описывается отображением  $\Gamma: \mathbf{M} \rightarrow \mathbf{Q}$ . При описании операций передачи модулей между базовым множеством  $\mathbf{M}$ , множеством маршрутов  $\mathbf{V}$  и множеством ООН —  $\mathbf{Q}$  исходное отображение  $\Gamma: \mathbf{M} \rightarrow \mathbf{Q}$  целесообразно разбить на два уровня:  $\Gamma_1: \mathbf{M} \rightarrow \mathbf{V}$  и  $\Gamma_2: \mathbf{V} \rightarrow \mathbf{Q}$ . Доказывается [25], что универсальным математическим аппаратом

для описания состояний элементов проектируемой ТС  $m_i \in \mathbf{M}$  с учетом неопределенности условий вхождения в различные ООН является нечеткое множество (НМ)  $\tilde{A}$ , заданное на базовом множестве  $\mathbf{M}$  и образованное прямым отображением  $\Gamma: \mathbf{M} \rightarrow \mathbf{Q}$ :

$$\begin{aligned} \tilde{A}(m_i) &= \{ \langle \mu_{Q_i}(m_i), \mathbf{Q} \rangle \} = \\ &= \{ \mu_{Q_1}(m_i) / \mathbf{Q}_1; \mu_{Q_2}(m_i) / \mathbf{Q}_2; \dots; \mu_{Q_i}(m_i) / \mathbf{Q}_i; \dots; \mu_{Q_m}(m_i) / \mathbf{Q}_m \}, \end{aligned}$$

где  $\mu_{Q_i}(m_i)$  — степень принадлежности  $m_i$  к ООН  $\mathbf{Q}_i$ ;  $n = |\mathbf{M}|$ ;  $m = |\mathbf{Q}|$ .

Состояния элементов  $m_i \in \mathbf{M}$  в наборах  $\mathbf{V}_j$  описываются НМ:

$$\begin{aligned} \tilde{B}(m_i) &= \{ \langle \mu_{V_j}(m_i), \mathbf{V} \rangle \} = \\ &= \{ \mu_{V_1}(m_i) / \mathbf{V}_1; \mu_{V_2}(m_i) / \mathbf{V}_2; \dots; \mu_{V_j}(m_i) / \mathbf{V}_j; \dots; \mu_{V_m}(m_i) / \mathbf{V}_m \}, \end{aligned}$$

где  $\mu_{V_j}(m_i)$  — степень принадлежности элемента  $m_i \in \mathbf{M}$  к модулю  $\mathbf{V}_j$ .

Состояния модулей-наборов  $\mathbf{V}_j \subset \mathbf{V}$  описываются НМ:

$$\begin{aligned} \tilde{C}(m_i) &= \{ \langle \mu_{Q_i}(\mathbf{V}_j), \mathbf{Q} \rangle \} = \\ &= \{ \mu_{Q_1}(\mathbf{V}_j) / \mathbf{Q}_1; \mu_{Q_2}(\mathbf{V}_j) / \mathbf{Q}_2; \dots; \mu_{Q_i}(\mathbf{V}_j) / \mathbf{Q}_i; \dots; \mu_{Q_m}(\mathbf{V}_j) / \mathbf{Q}_m \}, \end{aligned}$$

где  $\mu_{Q_i}(\mathbf{V}_j)$  — степень принадлежности модуля  $\mathbf{V}_j$  к ООН  $\mathbf{Q}_i$ .

Геометрической интерпретацией варианта объекта в пространстве параметров при идентификации ММ в пространстве параметров является точка в  $n$ -мерном Евклидовом пространстве внутренних параметров, в котором для каждой из  $n$  управляемых переменных выделена соответствующая координатная ось [25]. Модель проектируемых объектов идентифицируется в пространстве параметров с использованием соотношений, полученных в п. 4.2.

Полученный в результате вариант модели, идентифицированный в пространстве состояний (структуры РЛС) приведен на рис. 8.

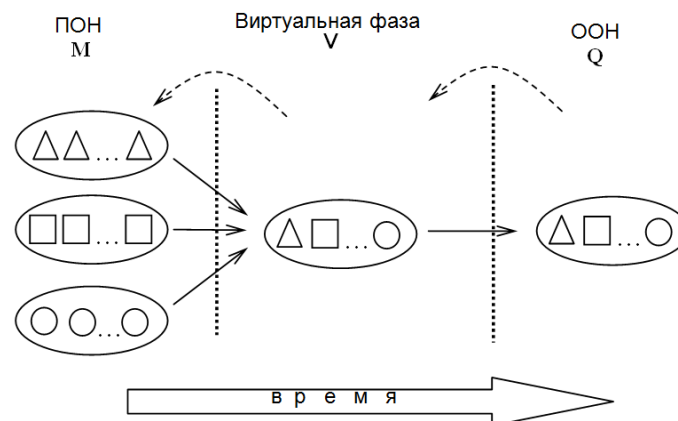


Рисунок 8. Формальное описание (модель) процесса проектирования

Треугольниками на рисунке показаны варианты геометрических параметров системы (длина волны, расстояние между передатчиком и приемником, и т. д.); квадратиками — различные виды сигнала (монохроматический сигнал, модулированный сигнал, или как подвид последнего — импульсный сигнал); кружочками — структура приемника, которая определяет первичные измеряемые параметры и в конечном счете точность и выходные параметры, получаемые заказчиком. Исходными предпосылками к созданию системы является техническое задание, в котором описаны предназначение системы (классы обнаруживаемых объектов), место размещения системы (наземное, на подвижных носителях и т. д.), требуемые характеристики обнаружения и сопровождения и т. д.

Здесь следует отметить приоритетное построение просветной РЛС с непрерывным излучением, например, монохроматическим [5, 6, 11], или излучением на двух гармониках [7]. Данный приоритет связан с одновременным воздействием на приемник прямого и рассеянного сигнала при относительно небольшой временной разнице между ними [28], а также традиционной схеме построения просветных радиолокаторов с прямым сигналом в качестве опорного и использованием амплитудного детектирования для выделения колебания доплеровской частоты [5, 27–29].

Стрелками на рис. 8 обозначены переходы от одной фазы к другой — эти переходы осуществляются последовательно во времени. Пунктирными стрелками показаны возможные возвраты и изменения выбора тех или иных вариантов элементов и параметров системы. Такие возвраты возможны, например, в случае моделирования системы (виртуальной фазы) [21, 22] и при невыполнении заранее заложенных техническим заданием требований.

#### 4.6. Структурная идентификация модели просветной системы

Очевидно, что вопросы, касающиеся внутреннего устройства и функционирования системы, невозможно решить только с использованием модели «черного ящика». Для этого необходимы более развитые модели — модели состава и функционирования просветного радиолокатора.

Простейшая модель состава может быть получена на основе рис. 1 и состоять всего из четырех классов элементов, располагаемых в виде матрицы (рис. 9).

В общем случае передатчики излучают разные сигналы; также в системе может осуществляться переключение от одного передатчика к другому. В состав радиолокационной системы могут входить несколько приемников, причем с различной структурой (определяемой типом зондирующего сигнала и типом объекта, а также геометрическими размерами системы). На рис. 9 изображено несколько заказчиков (З) и несколько объектов (Об), что является вполне возможной ситуацией. Причем объекты могут быть различного характера (в том числе и создающие помехи). То же относится и к заказчику (потребителю), каждый из которых может потребовать разную информацию по результатам радиолокационного наблюдения.

На начальном этапе анализа и проектирования, с целью определения методов и алгоритмов обработки сигнала и траекторной обработки целесообразно рассмотреть работу системы с одним объектом и одним потребителем информации о координатах объекта — именно такой случай является исходным пунктом изучения любого радиолокатора.



Рисунок 9. Комбинационная модель состава просветной РЛС, состоящая из множества блоков: передатчиков (П<sub>i</sub>), приемников (Пр<sub>i</sub>), объектов (Об<sub>i</sub>) и заказчиков (З<sub>i</sub>)

Указание связи между элементами модели (рис. 9) позволяет перейти к модели следующего уровня — модели структуры или структурной схеме, в которой описано взаимодействие между элементами радиолокатора.

## 5. Возможности применения проектных моделей при разработке просветных РЛС

Одной из наиболее важных задач проектирования является использование методов и средств системного анализа с целью разработки предпосылок создания проектных ММ просветных РЛС с различной конфигурацией. Разработка и исследование таких ММ позволяет определиться с выбором в пользу того или иного структурного решения в зависимости от задач создаваемой просветной системы с использованием структурной идентификации (п. 4.5). Основное внимание при этом уделено вторичной обработке информации, исходным параметром которой является вектор первичных измерений  $\vec{z}$ . Приведенные в предыдущих разделах положения позволили создать условия для проведения системного анализа процесса проектирования просветных РЛС и получить важные для данной предметной области результаты [7, 11, 26].

Далее приводятся разные варианты функциональных схем просветных РЛС, полученные в результате структурной идентификации проектной модели в ПС, а также даются краткие содержательные комментарии к полученным решениям.

На рис. 10 рассмотрена модель структуры простейшего просветного радиолокатора. В виде отдельных блоков учтены времена распространения  $t_3$  и  $t_{пр}$  рассеянного и прямого сигналов соответственно. Блок  $K_p$  — коэффициент передачи объекта, учитывает рассеивающие свойства объекта.

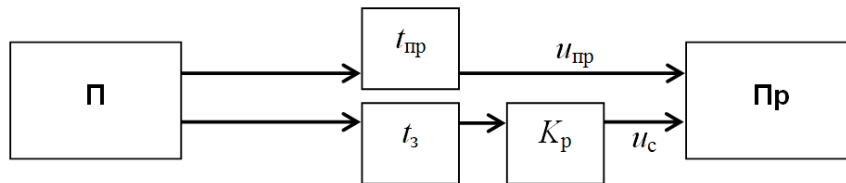


Рисунок 10. Структурная схема просветного радиолокатора с одним передатчиком (П) и одним приемником (Пр):  $u_{пр}$  — прямой сигнал;  $u_c$  — рассеянный сигнал

Далее для определенности будем полагать, что объект находится на достаточно больших расстояниях от передатчика и приемника в окрестности отрезка, их соединяющего. При движении объекта значения  $t_3$  и  $K_p$  меняются. Блок  $K_p$  — коэффициент передачи объекта, учитывает рассеивающие свойства объекта. Совокупность блоков  $t_3$  и  $K_p$  описывает рассеивающий объект.

При движении объекта значения  $t_3$  и  $K_p$  меняются. Коэффициент  $K_p$  учитывает медленные изменения амплитуды и фазы сигнала, обусловленные диаграммой направленности теневой апертуры  $A$ . Быстрые изменения, связанные с движением объекта, учитываются в изменении фазы принимаемого сигнала  $\phi_3 = -\omega t_3$ ,  $\omega$  — частоты несущего колебания. Производная последней определяет доплеровское смещение (доплеровскую частоту), на которое отличается частота принимаемого колебания от зондирующего.

Приемник просветной РЛС, в свою очередь, можно представить в виде последовательного соединения блоков оценки первичных параметров  $\vec{z}$  (доплеровской частоты рассеянного сигнала [8, 27], задержки рассеянного сигнала относительно прямого и т. д.) и траекторных параметров  $\vec{\chi}$  (рис. 11).

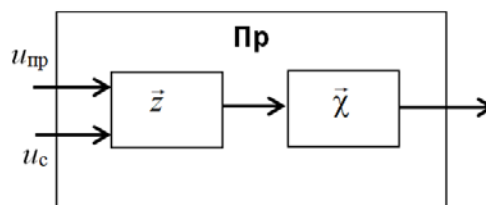


Рисунок 11. Структурная схема приемника простейшего просветного радиолокатора

На этапе разработки алгоритмов определения координат и траекторного сопровождения (данная задача имеет особую значимость с учетом особенностей просветной РЛС — узости зоны действия системы и необходимости учета влияния прямого сигнала, а ее решение в значительной степени определяет конструкцию приемника и возможности радиолокатора [7, 11, 28]) следует положить, что вектор  $\vec{\chi}$ , вычисляемый по вектору  $\vec{z}$ , состоит из набора траекторных параметров и(или) текущих координат. После оценки вектора  $\vec{\chi}$  информация может передаваться на пункт обработки информации (ПОИ, см. рис. 3) либо потребителю.

Применяемая при проектировании ММ является динамической и может быть построена на основе решения задачи статистического оценивания вектора  $\vec{\chi}$  по вектору наблюдений  $\vec{z}$  [7–9, 27]:

$$\vec{z} = \vec{h}(\vec{\chi}) + \Delta\vec{z}, \quad (6)$$

где вектор ошибок  $\Delta\vec{z}$  распределен нормально [8, 28];  $\vec{h}(\vec{\chi})$  — векторная функция, определяющая зависимость первичных параметров от траекторных параметров.

Можно положить, что вектор  $\vec{z}$  состоит из набора сделанных последовательно измерений доплеровской частоты  $f$  или доплеровских частот в разнесенных приемниках или доплеровской частоты и угловой координаты  $\varphi$  (или угловых координат). Не исключены и другие комбинации параметров. Так, вектор  $\vec{z}$  могут составить оценки частот, задержек  $\Xi$  рассеянного сигнала относительно прямого и углов в разнесенных пунктах [7].

Если допустить, что приемник принимает сигнал в единственной точке пространства (такое допущение позволяет отказаться от условностей, связанных с измерением угла рассредоточенной (протяженной) в пространстве приемной антенной системой), то в зависимости от типа зондирующего колебания и обработки сигнала первичными измеряемыми параметрами в одиночном пункте могут быть задержка  $\Xi$  рассеянного сигнала относительно прямого сигнала передатчика или доплеровская частота  $f$ .

К недостаткам схемы просветной РЛС с одиночным передатчиком и приемником (рис. 10) следует отнести невозможность оценки большинства траекторных параметров [27]. Поэтому возникает вопрос создания систем с несколькими приемниками, которые взаимодействуют между собой (рис. 12).

Как видно из рис. 12, в системе в этом случае появился новый блок синхронизации. Временная синхронизация является ключевым условием совместного функционирования отдельных частей в сложной системе (рис. 3) [2, 12]. Кроме этого, возможно, что часть операций блока вторичной обработки  $\vec{\chi}$  может быть делегирована в приемники  $Пр_1$  и  $Пр_2$ . Появление у системы двух идентичных приемников аналогично появлению у системы еще одной степени свободы и приводит к возможности однозначной оценки координат объекта, движущегося в плоскости расположения передатчика и приемников. Здесь же отметим, что добавление еще одного (третьего) приемника, расположенного не в одной плоскости с предыдущими

приемниками, добавляет очередную степень свободы и возможность определения пространственного положения объекта.

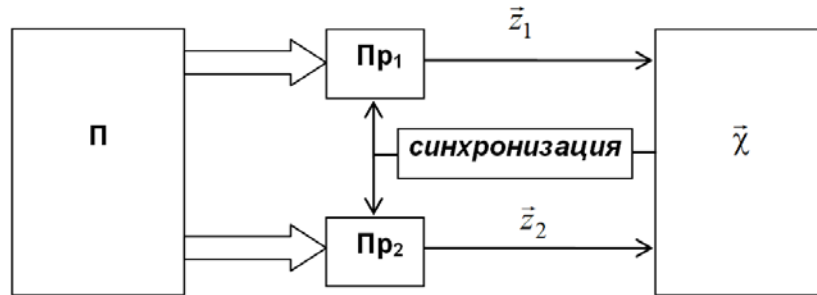


Рисунок 12. Структурная модель просветного радиолокатора с двумя приемниками.  
Утолщенные стрелки учитывают совместное воздействие на приемник  
прямого и рассеянного сигналов

Условно процесс преобразования вектора  $\vec{z}$  в вектор  $\vec{\chi}$  в просветном радиолокаторе можно представить в виде двух следующих друг за другом блоков (рис. 13).

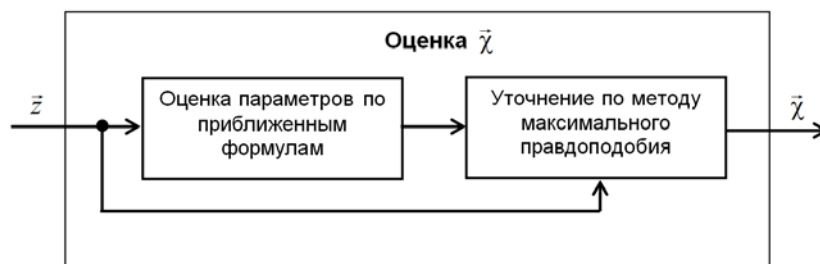


Рисунок 13. Схема блока оценки траекторных параметров

Качественная начальная оценка координат в блоке «Оценка параметров по приближенным формулам» является залогом успешной работы всей системы траекторной обработки. В зависимости от конфигурации РЛС — количества позиций и их взаимного расположения — найдены различные способы (формулы) получения начальной оценки координат и правила их применения. Показано, что разработанные способы дают высокую точность и являются надежным основанием для проведения последующей формальной процедуры — уточнения параметров траектории методом максимального правдоподобия [7, 8, 11, 27, 30]. Последний блок в схеме (рис. 13) может быть выполнен также на основе и других известных методов фильтрации первичных измерений [2, 9, 12].

Необходимо отметить, что для идентификации рассмотренных проектных моделей в ПП использовались обобщенные кибернетические модели просветной си-



стемы (4), (5) и динамическая ММ наблюдений (6). Перечень и назначение различных параметров определялись разработчиком, а внутренние операторы ММ (4) задавались в соответствии с соображениями, приведенными в п. 4.4 настоящей статьи и в [16].

## 6. Заключение

Таким образом, применение принципов системного подхода, выраженное в проведенном системном анализе актуальной проблемы проектирования просветных РЛС, позволило получить математические модели и прикладные способы их структурной и параметрической идентификации. В результате хронологического анализа развития идеи радиолокации «на просвет» построена и обоснована феноменологическая модель эволюции просветных РЛС, и на ее основе, построена и идентифицирована математическая модель, предназначенная для применения при анализе, разработке и проектировании радиосистем подобного класса. Показаны результаты исследования, структурной и параметрической идентификации получаемых при этом различных вариантов построения систем, описываемых разными динамическими моделями и характеризующихся разными возможностями по эффективности решения основной задачи РЛС – определению координат объекта.

## Литература

- [1] Ширман Я. Д., Голиков В. Н., Бусыгин И. Н. и др. Теоретические основы радиолокации: учебное пособие для вузов / под ред. Я. Д. Ширмана. — М. : Сов. радио, 1970.
- [2] Бакулев П. А. Радиолокационные системы : учебник для вузов. — М. : Радиотехника, 2004.
- [3] Лезин Ю. С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем : учеб. пособие для вузов. — М. : Радио и связь, 1986.
- [4] Уфимцев П. Я. Основы физической теории дифракции. — М. : БИНОМ, 2011.
- [5] Бляхман А. Б., Рунова И. А. Бистатическая эффективная площадь рассеяния и обнаружение объектов при радиолокации на просвет // Радиотехника и электроника. 2001. Т. 46. № 4. С. 424–432.
- [6] Чапурский В. В. Синтезированная теневая радиоголография в бистатической радиолокации // Радиотехника. 2009. № 3. С. 52–69.
- [7] Ковалев Ф. Н., Кондратьев В. В. Особенности угломерно-дальномерного метода определения местоположения цели в просветных бистатических радиолокаторах // Журнал Радиотехники : электронный журнал. 2014. № 4. (<http://jre.cplire.ru/jre/apr14/1/text.pdf>).
- [8] Рындык А. Г., Сидоров С. Б., Бляхман А. Б., Ковалев Ф. Н. Точность определения координат методом максимального правдоподобия при локации «на просвет» // Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44. № 12. С. 1436–1440.

- [9] Бляхман А. Б., Ковалев Ф. Н., Рындык А. Г. Метод определения координат движущихся целей в бистатической РЛС // Радиотехника. 2001. № 1. С. 4–9.
- [10] Бляхман А. Б., Матюгин С. Н. Распознавание воздушных объектов при радиолокации на просвет // Радиотехника и электроника. 2001. Т. 46. № 11. С. 1356–1360.
- [11] Ковалев Ф. Н., Кондратьев В. В. Фазовая пеленгация в системах радиолокации на просвет // Доклады Академии наук. 2014. Т. 455. № 4. С. 401–403.
- [12] Черняк В. С. Многопозиционная радиолокация. — М. : Радио и связь, 1993.
- [13] Ковалев А. Н., Ковалев Ф. Н. Статистические характеристики ошибок местопредопределения цели в бистатической радиолокационной системе просветного типа // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2014. Т. 57. № 3. С. 3–9.
- [14] Хранилов В. П. Математическая модель развития комплекса обеспечений автоматизированных систем // Материалы всероссийской научно-методической конференции: Информационные технологии в учебном процессе. — Н. Новгород : НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2007. С. 214–220.
- [15] Хранилов В. П. Хронологический анализ эволюционного развития комплекса обеспечений автоматизированных систем // Материалы всероссийской научно-методической конференции: Информационные технологии в учебном процессе. — Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2007. С. 220–223.
- [16] Хранилов В. П. Идентификация внутренних операторов моделей управления для задач проектирования технических систем // Тр. XII Всероссийск. совещания по проблемам управления ВСПУ–2014. — М. : ИПУ РАН им. В. А. Трапезникова, 2014. С. 3281–3288.
- [17] Хранилов В. П. Классификация состояний в динамических дискретных системах распределения вычислительных ресурсов информационных систем // Материалы международного симпозиума INTELS'2010 / под. ред. К. А. Пупкова. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. С. 90–94.
- [18] Системный анализ и принятие решений: словарь-справочник / под. ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. — М. : Высшая школа, 2004.
- [19] Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. — М. : Наука, 1978.
- [20] Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем / под. ред. Я. З. Цыпкина. — М. : Мир, 1971.
- [21] Хранилов В. П. Динамическая модель интерактивного виртуального распределения ресурсов при проектировании технических систем // Материалы международного симпозиума INTELS'2008 / под ред. К. А. Пупкова. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. С. 234–238.
- [22] Хранилов В. П. Нечеткая модель динамической системы интерактивного распределения ресурсов при проектировании и ее приложения // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2007. № 2. С. 32–41.

- [23] Хранилов В. П., Тесленко Е. В., Андреев В. В. Формирование динамической модели управления конструкторско-технологическим взаимодействием в проектировании деталей машиностроения // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 286–290.
- [24] Гунин Л. Н., Кашенков А. В., Хранилов В. П. Идентификация математической модели внедрения CALS-технологий на предприятии радиоприборостроения // Идентификация систем и задачи управления: тр. 9-й международной конференции. — М.: ИПУ РАН им. В. А. Трапезникова, 2012. С. 266–278.
- [25] Диагностика оборудования компрессорных станций : монография серии «Научные труды к 45-летию ОАО «Гипрогазцентр» / А. Ф. Пужайло, О. В. Крюков, Э. С. Соколова, В. П. Хранилов [и др.] / под ред. О. В. Крюкова. Т. 2. — Н. Новгород : Исток, 2013.
- [26] Ковалев Ф. Н., Кондратьев В. В. Устранение неоднозначности измерений угловых координат фазовым методом в просветных радиолокаторах // Оборонный комплекс научно-техническому прогрессу России. 2014. № 3 (123). С. 31–35.
- [27] Ковалев Ф. Н. Определение координат движущихся целей по измерениям доплеровской частоты в радиолокационных системах с обнаружением «на просвет» // Радиотехника и электроника. 2007. Т. 52. № 3. С. 331–339.
- [28] Nezhlin D.V. [et al]. Bistatic Radar. Principles and Practice / ed.: M. Cherniakov. — England: Wiley, 2007.
- [29] Ковалев А. Н., Ковалев Ф. Н. Определение координат движущейся цели в просветной многопозиционной радиолокационной системе // Вестник РГРТУ. 2013. № 4–1 (46). С. 46–49.

**Авторы:**

*Ковалев Федор Николаевич*, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных радиосистем института радиоэлектроники и информационных технологий Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева

*Хранилов Валерий Павлович*, доктор технических наук, доцент, заместитель директора института радиоэлектроники и информационных технологий, профессор кафедры компьютерных технологий в проектировании и производстве Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева

## Identification of Model of Forward-Scattering Radar on Different Stages of Engineering Design of Radar System

F. N. Kovalev, V. P. Khranilov

Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev  
24 Minin Street, Nizhny Novgorod, 603950 Russia  
E-mail: kovalev@nntu.nnov.ru, khranilov@nntu.nnov.ru

*Abstract.* The results of the system analysis and identification of forward-scattering radar system are considered. The problems and the tasks of forward-scattering radar system are considered; phenomenological model of the chronological evolution of forward-scattering radar systems is constructed and justified. On the basis of this model is constructed and identified mathematical model for development, design and analysis of forward-scattering radar systems. The main attention in the article is paid to research, modeling, structural and parametric identification of various options for building systems. These variants of radar system are describes of the different dynamic models and are characterized of the different opportunities in solving the problem of determining the coordinates of the object.

*Keywords:* design model, cybernetic model "black box", model identification, structural identification, parametrical identification, forward-scattering radar, forward-scattering radar system, evolution of forward-scattering radar systems, system model, space of parameters, space of states, design model in space of states, structural synthesis, parametric synthesis, control of parameters of forward-scattering radar.

### Reference

- [1] Shirman Y. D. (Ed.) (1970) *Theoretical foundations of radiolocation*. Moscow: Sovetskoe Radio. (In rus.)
- [2] Bakoulev P. A. (2004) *Radar systems*. Moscow: Radiotekhnika, 2004. (In rus.)
- [3] Lezin Y. S. (1986) *Introduction to the theory and technique of radio systems*. Moscow: Radio i svyaz. (In rus.)
- [4] Ufimtsev P. Ia. (2011) *Fundamentals of the physical theory of diffraction*. Moscow: BINOM. (In rus.)
- [5] Blyakhman A. B., Runova I. A. (2001) Bistatic radar cross section and the detection of objects from their forward scatter. *Radio engineering and electronics*, 46(4), 424–432. (In rus.)
- [6] Chapursky V. V. (2009) The Synthesized Shadow Radioholography in Bistatic Radiolocation. *Radiotekhnika*. 3, 52–69.

- [7] Kovalev F. N., Kondrat'ev V. V. (2014) Features of the estimating the target location in forward-scattering bistatic radar systems. *JOURNAL OF RADIO ELECTRONICS: electronic journal*, 4. (<http://jre.cplire.ru/jre/apr14/1/text.pdf>.) (In rus.)
- [8] Ryndyk A. G., Sidorov S. B., Bliakhman A. B., Kovalev F. N. (1999) Accuracy of estimation the target coordinates by the maximum likelihood method using a forward scatter radar. *Radio engineering and electronics*, 44(12), 1436–1440. (In rus.)
- [9] Bliakhman A. B., Kovalev F. N., Ryndyk A. G. (2001) The method of determining the coordinates of a moving target in forward-scatter radar. *Radiotekhnika*. 1, 4–9. (In rus.)
- [10] Bliakhman A. B., Mat'ugin S. N. (2001) Recognition of flying object in the forward-scattering radar systems. *Radio engineering and electronics*, 46(11), 1356–1360. (In rus.)
- [11] Kovalev F. N., Kondrat'ev V. V. (2014) Phase direction finding in forward-scattering radars. *Doklady Physics*, 59(4), 173–175.
- [12] Chernyak V. S. (1993) *Multistatic radar*. Moscow: Radio i svyaz. (In rus.)
- [13] Kovalev A. N., Kovalev F. N. (2014) Statistical characteristics of target location finding error in bistatic forward scattering radars. *Izvestia vuzov. Radioelectronics*, 57(3), 3–9. (In rus.)
- [14] Khranilov V. P. (2007) Mathematical model of development of a complex wares of the automated systems. Proceedings of the All-Russia scientific — methodical conference: *Information technologies in educational process*. N. Novgorod: NNSTU, 2007? pp. 214–220. (In rus.)
- [15] Khranilov V. P. (2007) The chronological analysis of evolutionary development of a complex wares of the automated systems. Proceedings of the All-Russia scientific — methodical conference: *Information technologies in educational process*. N. Novgorod: NNSTU, pp. 220–223. (In rus.)
- [16] Khranilov V. P. (2014) Identification of the internal operators of models of management for tasks of designing of technical systems. Proceedings of the XII *All-Russian Conference on Control Problems*. RCCP-2014. Moscow: Institute of Control Sciences, pp. 3281–3288. (In rus.)
- [17] Khranilov V. P. (2012) Classification of statuses in dynamic discrete systems of distribution of computing resources of information systems. Proceedings of the 9 International Symposium «*Intelligent Systems*». INTELS'2012 / Ed. By K. A. Pupkov. Moscow: BMSTU, pp. 90–94. (In rus.)
- [18] Volkov V. N., Kozlov V. N. (eds.) (2004) *Systems analysis and decision making*. Moscow: Vusshaia shkola. (In rus.)
- [19] Buslenko N. P. (1978) *Modeling of Complex Systems*. Moscow: Nauka. (In rus.)
- [20] Kalman R. E., Falb P. L., Arbib M. A. (1971) *Topics in mathematical system theory*.
- [21] Khranilov V. P. (2008) Dynamic model of interactive virtual distribution of resources at designing technical systems. Proceedings of the 8 International Symposium: Intel-

- igent Systems INTELS'2008 / Ed. By K.A.Pupkov. Moscow: BMSTU, pp. 234–238. (In rus.)
- [22] *Khranilov V. P.* (2007) Fuzzy Sets model of dynamic system of interactive distribution of resources at designing and its application. *Information technologies in designing and manufacture*, 2, 32–41. (In rus.)
- [23] *Khranilov V. P., Teslenko E. V., Andreev V. V.* (2013) Formation of dynamic model of management of Design-technological interaction in designing details of mechanical engineering. *Scientific and Technical bulletin Volga*, 3, 286–290. (In rus.)
- [24] *Gunin L. N., Kashenkov A. V., Khranilov V. P.* (2012) Identification of mathematical model of introduction of CALS-technologies not the enterprise of radioinstrument making. *System identification and control problems: Proceedings of the 9 international Conference SICPRO'03*. Moscow: Institute of Control Sciences, pp. 266–278. (In rus.)
- [25] *Kryukov O. V.* (ed.) (2013) Diagnostics of the equipment of compressor stations: the monography of a series «The Proceedings to 45- anniversary public joint-stock company «Giprogaztsentr»». *Puzhaylo A.F., Kryukov O.V., Sokolova E.S., Khranilov V.P. [et al]*. N.Novgorod: Istok, (In rus.)
- [26] *Kovalev F. N., Kondrat'ev V. V.* (2014) Liquidation the ambiguity of measurements of the angular coordinates by phase method in forward scattering radar systems. *Defense complex to scientific and technical progress of Russia*, 3(123), 31–35. (In rus.)
- [27] *Kovalev F. N.* (2007) Estimating the coordinates of a moving target from the Doppler data measured by forward-scattering radar systems. *Radio engineering and electronics*, 52(3), 331–339. (In rus.)
- [28] *Cherniakov M.* (ed.) (2007) *Bistatic Radar. Principles and Practice*. D. V. Nezlin [et al]. England: Wiley.
- [29] *Kovalev A. N., Kovalev F. N.* (2013) Estimating the coordinates of a moving target in forward-scattering multistatic radar system. *Vestnik RSREU*. 4–1(46), 46–49. (In rus.)

## Хаотические модели деградации лёссов

Т. П. Мокрицкая

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара  
49044, Украина, Днепропетровск, пр. К. Маркса, 36  
e-mail: mokritska@i.ua

*Аннотация.* Приведены некоторые результаты анализа временной изменчивости компонентов геологической среды на территориях городов, указывающие на присутствие элементов хаотического состояния в динамике свойств грунтов и динамике подземных вод на застроенных территориях. Проанализирована изменчивость свойств лёссовых пород в период 1926–2007 годов на территории крупных и небольших городов Приднепровского промышленного региона Украины.

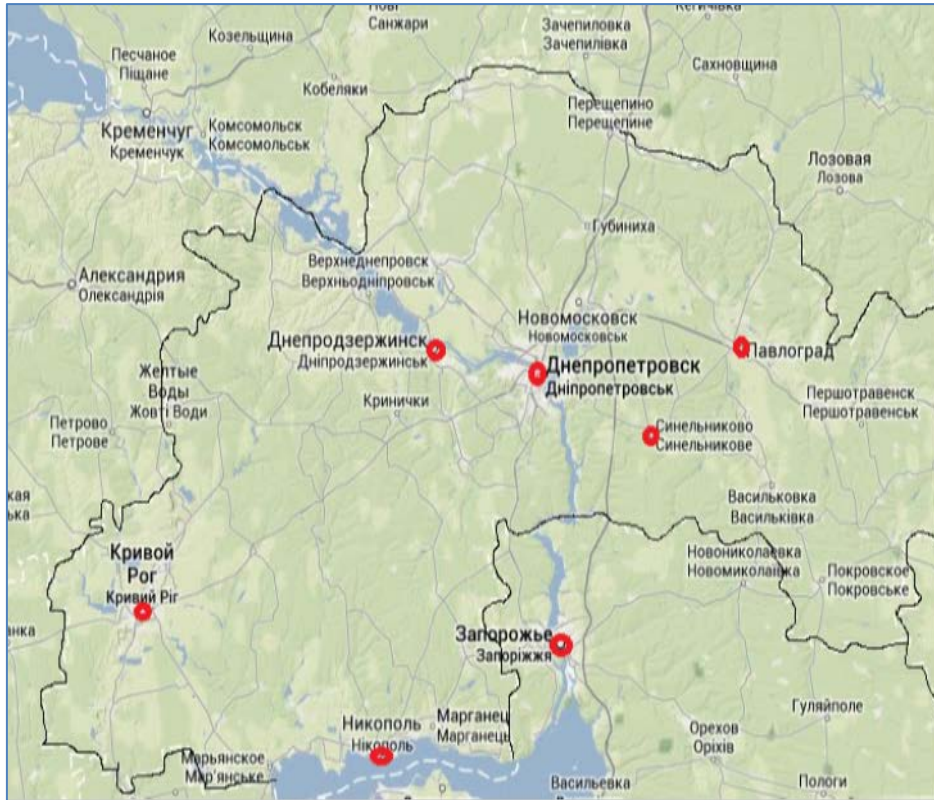
*Ключевые слова:* лёсс, деградация, хаос.

### 1. Вступление

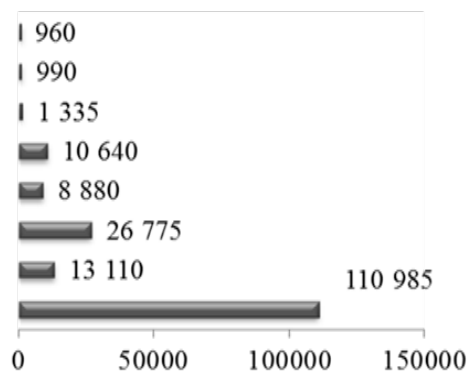
В условиях многофакторных внешних воздействий в зоне влияния города происходит изменение свойств горных пород, в частности, деградация просадочных свойств массива (Ю. М. Абелев, А. К. Ларионов, В. Ф. Краев, В. Т. Трофимов и др.). Скорость деградации просадочности (В. И. Коробкин) определяется внешними (техногенными) и внутренними (природными) факторами. Длительная деградация просадочных свойств массива при интенсивном техногенном воздействии влияет на уязвимость (В. И. Осипов) геологической среды.

Произвольный выбор мест для строительства новых зданий и сооружений на территориях городов приводит к тому, что в зону их влияния вовлекаются участки, неодинаковые по степени измененности. Сезонная и многолетняя цикличности изменения уровня подземных вод на однотипных территориях с устойчивой тенденцией к подтоплению нарушается, изменяется частота и длительность ритмов. Переход от порядка к хаосу сопровождается необратимым изменением компонентов, в частности, свойств и структуры грунтов. Действующие методики оценки состояния компонентов в природных и техногенных условиях основаны на использовании модели однородной случайной величины, не отражают необратимость и направленность изменений.

Проанализирована изменчивость свойств лёссовых пород в период 1926–2007 годов на территории крупных и небольших городов Приднепровского промышленного региона Украины. Данные были сгруппированы по годам, этапам интенсивности техногенеза и территориям (рис. 1). Выборочные совокупности имеют неодинаковый объем, как правило, статистически неоднородны.



а)



■ Количество частных значений

б)

Рис. 1. Схема расположения изученных территорий (приднепровский промышленный регион, Украина): а) расположение изученных объектов; б) общее количество данных



В статье приведены результаты моделирования деградации грунтов, относящихся к формации внеледниковых четвертичных субаэральные лёссовых отложений, внутриформационная изменчивость которой определяется региональными факторами инженерно-геологических условий. В техногенном (предельном) состоянии происходит стирание различий между свойствами лёссовых и палеопочвенных горизонтов формации. Формирование новой области состояний свойств изначально неоднородного в стратиграфо-генетическом отношении массива имеет черты сходства с перемешиванием.

## 2. Методы исследований

Привлекались методы стохастического и индуктивного математического моделирования. Выполнялся первичный статистический, корреляционный, регрессионный, авторегрессионный виды анализа данных. Для изучения особенностей деградации микроструктуры и описания изменчивости среды, процессов привлекались методы фрактального анализа. При выполнении исследований привлекалось программное обеспечение STATISTICA, Фрактан (trial-версии) и авторское программное обеспечение (Коряшкина Л.С. [1]).

Анализ изменений уровня режима водоносного горизонта эолово-делювиальных отложений, оказывающего наибольшее влияние на деградацию просадочных свойств, включал анализ траекторий приращений глубин залегания. По материалам режимных наблюдений за положением уровня подземных вод было выполнено построение траекторий приращений. Тенденции к повышению уровня водоносного горизонта эолово-делювиальных отложений проявлялись неодинаково. Амплитуды декадных колебаний в годовом цикле не превышали 0,3 м, на склонах амплитуды достигали 0,5–1,1 м. В зависимости от геоморфологической зональности, длительности и интенсивности техногенеза траектория приращений отличается особенностями распределения и выраженностью тенденций, сезонных и многолетних циклов, что влияет на скорость деградации просадочных свойств.

С позиций инженерной геологии важно создать модель геологической среды и модель процесса деградации свойств. Важно установить неявные причинно-следственные связи и закономерности, скрытые в ретроспективных данных, для уточнения физической модели процесса деградации. Индуктивное моделирование выполнялось методом группового учета аргументов, что позволило выполнить анализ и прогноз свойств и состояния лёссовых грунтов в процессе их деградации. В качестве входных параметров рассматривали значения природной влажности  $w$ , пределов пластичности  $w_L$ ,  $w_p$  плотности грунта  $\rho$  и частиц  $\rho_s$ , содержания фракций, пространственные координаты, время. Входные параметры описывают состояние грунта в определенных координатах. В качестве выходных рассматривали прогнозные значения механических свойств: относительную просадочность, модуль и величины деформации, угол внутреннего трения, удельное сцепление. Выходные параметры характеризуют вероятные механические реакции грунта в опре-

деленный момент времени, в тех же координатах. Модели связи входных и выходных параметров, при таком подходе, описывают процесс деградации во времени, пространстве и при изменении состояния грунта.

В настоящей работе описываются результаты моделирования процесса деградации просадочности. Под деградацией понимается упорядоченный в пространственно-временных координатах процесс разрушения грунта. Известно, что в городах техногенное воздействие является многофакторным, имеет разную природу. Предполагается, что в этих условиях разрушение структуры просадочного грунта (лёсса) выражается в изменениях гранулометрического состава, физического состояния и, как результат, приводит к изменению прочности и деформируемости. Этот процесс сопровождается разрушением стохастических связей между показателями состояния и прогнозных величин механических реакций.

Для решения задачи структурно-параметрической идентификации был применен метод группового учета аргументов (МГУА, автор А. Г. Ивахненко [2–4]). Получены модели функциональной зависимости величины относительной просадочности  $\varepsilon_{sl}$  от координат, года определения и физических свойств массива просадочных грунтов. Адекватная модель, определяющую зависимость физико-механических свойств от показателей физических свойств, имеет наименьшую сложность и может использоваться для краткосрочного прогнозирования реакций массива. Анализ вида, сложности моделей, состава факторных переменных, выраженности детерминированной компоненты позволяет выполнить содержательную интерпретацию особенностей процесса, установить закономерности деградации грунтов при техногенезе в различных региональных условиях.

### 3. Результаты моделирования

Для получения эпигнозных моделей просадочности (1956–2007 годов) на территории одной из природно-техногенных систем (ПТС) регионального уровня были обработаны данные о свойствах лёссов и палеопочвенных горизонтов, данные о временной изменчивости уровня режима подземных вод. Общее количество монолитов составило 3104. Был получен временной ряд средних значений (обобщенных оценок свойств формации в зоне аэрации) как подсистемы ПТС. Ранее было показано, что общей тенденцией застроенных территорий является ухудшение во времени зависимости от плановых пространственных координат [5].

Выполнив построение траектории приращений уровня подземных вод в координатах «глубина уровня подземных вод в соседние моменты времени»

$$\Delta h = f(x_t, x_{t+1}),$$

получили траекторию, отражающую динамику уровня водоносного горизонта на протяжении двухлетнего цикла (рис. 2). Тенденция к повышению уровня устойчива, выражена во всех рядах. Соответствуют природной норме закономерности временной динамики уровня режима на водораздельных пространствах, с относительно низкой плотностью сооружений (рис. 2б). Выраженность циклов указывает

на устойчивость сезонной компоненты даже в условиях устойчивого повышения уровня подземных вод на водораздельных пространствах. Длительное техногенное воздействие приводит к сглаживанию цикличности, что можно трактовать как искажение симметрии [6, 7], признак перехода к хаотическому (техногенно-нарушенному) состоянию. Такой режим характеризуется плохой выраженностью и сдвигом (искажением) циклов.

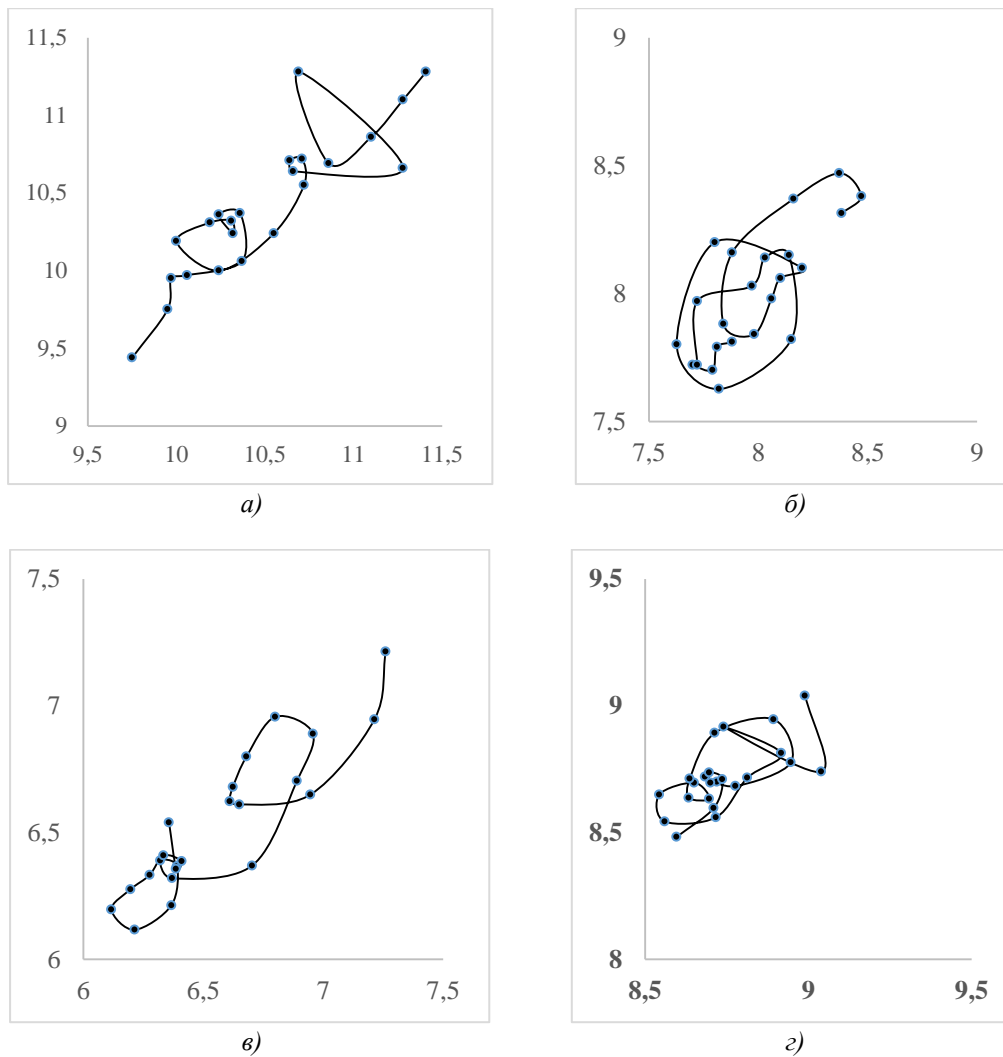


Рис. 2. Траектории изменений положения уровня в скважинах, расположенных на водоразделе (скв. 2) и вблизи тальвега (скв. 1): а) траектория приращений уровня подземных вод в скважине 1 в период 1986-1987 годов; б) то же, в период 1991-1992 годов; в) траектория приращений уровня подземных вод в скважине 2 в период 1986-1987 годов; г) то же, в период 1991-1992 годов

Ранговая корреляция показателей свойств грунтов зоны аэрации, относящихся к одной формации, показала, что содержание отдельных фракций, величины модуля деформации  $E$ , МПа, удельного сцепления  $C$ , МПа, угла внутреннего трения  $FI$ , не только изменяются во времени, но и коррелируют с годом определения (рис. 3). Некоторые показатели не теряют связи с глубиной отбора  $z$ , т. е. имеют смысл пространственных переменных. Множественная регрессия (метод пошаговой регрессии) показала, что выбор зависимой переменной, как правило, определяет состав независимых переменных, включаемых в уравнение.

Данные были упорядочены во времени (рассчитаны средние в году) и по абсолютной отметке глубины отбора. Анализ связей между входными и выходными переменными выполнялся в следующем порядке. Устанавливался набор переменных, включенных в модель зависимости прогнозного показателя от показателей состава и состояния грунта. Эти переменные рассматривались как факторные.

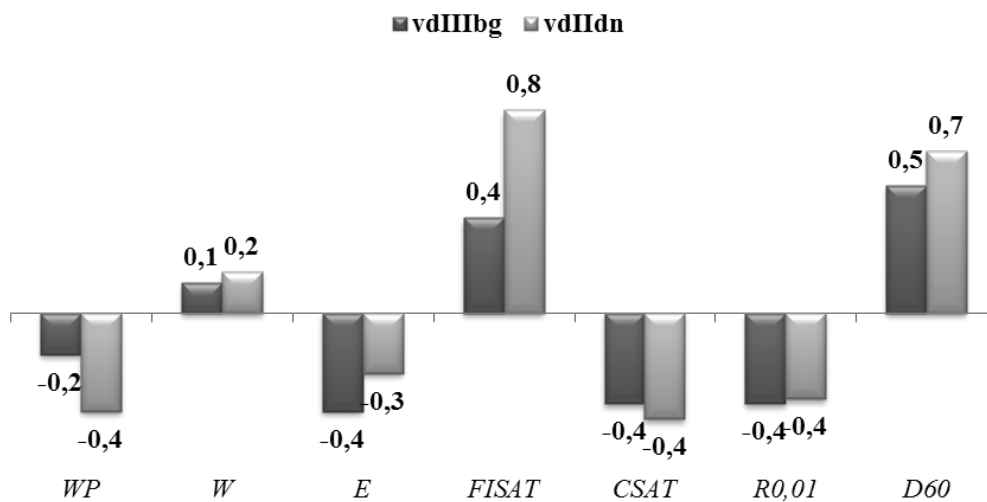


Рисунок 3. Коэффициенты ранговой корреляции показателей свойств бугского  $vdIIIbg$  и днепровского  $vdIIIn$  горизонтов с годом определения (г. Днепропетровск, 1983 — 1993 гг.). Здесь:  $-0,2$  — коэффициент ранговой корреляции;  $vdIIIbg$  — стратиграфо-генетический индекс;  $WP$  — нижний предел пластичности;  $W$  — природная влажность, д, ед.;  $E$  — модуль деформации;  $FISAT$  — угол внутреннего трения грунта в состоянии полного водонасыщения, град.;  $CSAT$  — удельное сцепление, МПа, грунта в состоянии полного водонасыщения;  $R0,01$  — содержание частиц размером  $0,005-0,01$  мм;  $D60$  — эффективный диаметр частиц, мм

Выполнялся анализ сложности моделей связи, важности детерминированной компоненты. Сложность модели оценивалась по числу и виду компонентов, порядку модели. Важность факторной переменной оценивали по знаку и величине коэффициента при линейной компоненте связи между зависимой и данной независимой переменной. Уравнения не приводятся из-за большого числа компонентов.

Находилась фракция гранулометрического состава, которая в наибольшей степени определяет значения относительной просадочности на данной ступени давления (табл.). Анализ результатов показал, что на ступени давления, приблизительно равного давлению, создаваемому в природных условиях (0–0,05 МПа), гранулометрический состав не является детерминированным фактором деградации просадочности, так как ни одна из фракций не была выбрана как детерминированная факторная переменная. Чем больше давление, тем больше размер разрушаемых агрегатов, которые являются детерминированной факторной компонентой модели деградации просадочных свойств лёссового грунта. Такой вывод можно сделать, проанализировав выбор в качестве факторной переменной относительной просадочности размер фракций, в наибольшей степени влияющий на значения относительной просадочности, в определенном диапазоне нагрузок.

Таблица. Коэффициенты при линейных компонентах факторных переменных моделей деградации просадочности лёссовидных суглинков (Днепропетровск, 1956–2007 годы).

$P$ , мПа	$R$	Коэффициенты при линейных компонентах факторных переменных						
		$t$	$w_L$	$w_p$	$w$	$\rho_s$	$\rho$	$R$
0–0,05	0,25–0,1	–	0,001	+	–	–	–	+
	0,05–0,01	0,001	–	–	–	+	0,0017	–
	0,01–0,005	+	0,01	–	0,005	+	+	–
0,05–0,1	1,0–0,5	–	–	–	+	+		0,107
	0,5–0,25	–	+	256,42	91,846	0,005	1,173	1,807
	0,25–0,1	+	+	–	–	0,006	–0,048	0,028
	0,1–0,05	0,867	24,604	+	0,135	0,032	–0,016	0,986
	0,05–0,01	+	–	–0,053	–	+	0,002	+
0,25–0,3	1,0–0,5	–	–	+	0,177	+	0,001	0,006
	0,5–0,25	+	–	0,07	–0,831	0,004	+	0,002
	0,25–0,1	–	0,03	0,006	0,378	–	0,006	–

Примечания: (+) — факторная переменная нелинейная; (–) переменная не является факторной;  $P$  — интервал давления, мПа, в которой определялась относительная просадочность,  $\varepsilon_{SL}$ , д.ед.

Факторные переменные:  $R$  — процентное содержание гранулометрической фракции, мм;  $t$  — фактор времени, год;  $w_L, w_p$  — пределы пластичности, д. ед.;  $\rho_s$  — плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>;  $w$  — природная влажность, д. ед.;  $\rho$  — плотность грунта, г/см<sup>3</sup>.

Анализ знаков сложных нелинейных моделей зависимости относительной просадочности от координат и факторов состояния грунта показал, что в интервале нагрузок, близких к пределу структурной прочности лёссов (0,05–0,1 МПа), на про-

тяжении изучаемого времени, происходило слабое увеличение содержания частиц размером 0,25–0,1 мм. Одновременно происходил распад агрегатов размером 0,5–0,25 и 0,1–0,05 мм. На ступени давления, соответствующему величинам дополнительных давлений (0,3 МПа) происходит распад агрегатов размером 0,5–0,25 мм.

Анализ величин коэффициентов при линейной факторной переменной «содержание фракции» показал, что линейный характер связей лучше выражен на ступени давления 0,05–0,1 МПа. Линейная связь лучше проявляется в интервале размеров макро- и микроагрегатов [8, с. 146] в лёссах: от 1 до 0,05 мм. Не линейна связь приращений фракции 0,05–0,01 мм и деградации просадочности. Такие особенности указывают на связь деградации и изменений агрегатного состава [8, 9].

Факторной переменной деградации палеопочвенных горизонтов чаще выбиралась плотность частиц грунта  $\rho_s$ . Линейная связь между содержанием песчаных и пылеватых фракций и деградацией просадочности устанавливается в том же, общем для формации, интервале давлений 0,1–0,3 мПа. Изменения микроагрегатного состава палеопочвенных горизонтов выражены хуже, чем в лёссовидных суглинках. В процессе деградации просадочности рост содержания глинистых частиц сопровождается уменьшением содержания фракции 0,01–0,005 мм. Линейные связи с годом определения подтверждены только для значений модуля деформации  $E$ , тенденции не соответствуют изменениям показателей механических свойств просадочных лёссовидных суглинков.

#### 4. Выводы

По результатам индуктивного математического моделирования процесса деградации методом группового учета аргументов получены нелинейные динамические модели, отражающие сопряженные изменения гранулометрического состава, физических и механических свойств грунтов во времени в зоне влияния городов.

Тенденции изменения агрегатного состава лёссовидных суглинков и палеопочвенных горизонтов в процессе деградации просадочности разные, что является следствием перехода к хаотическому состоянию — перемешиванию.

#### Литература

- [1] Мокрицкая Т. П., Коряшкина Л. С. Факторы и модели деградации просадочности // Вісник Національного гірничого університету. 2013. № 4. С. 5–12.
- [2] Ивахненко А. Г., Мюллер Й. Ф. Самоорганизация прогнозирующих систем. — Киев : Техніка, 1985.
- [3] Ивахненко А. Г., Юрачковский Ю. П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. — М. : Радио и связь, 1987.
- [4] Грешилов А. А., Стакун В. А., Стакун А. А. Математические методы построения прогнозов. — М. : Радио и связь, 1997.

- [5] *Mokritskaya T. P., Shestopalov V. M.* Features of conduct ground loess formation by technogenetic impact on the example Dnipropetrovsk // (EngeoPro-2011) International conference under the aegis of IAEG, Moscow, Russia, September 6-8, 2011, P. 561–564.
- [6] *Никольчев Е. В.* Моделирование систем с хаотической динамикой на основе оценки слабого нарушения симметрий в реконструированном аттракторе. — М. : МГУП, 2010.
- [7] *Никольчев Е. В.* Моделирование систем с хаотической динамикой на основе оценки слабого нарушения симметрий в реконструированных аттракторах // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. С. 227. (<http://www.science-education.ru/118-14319>)
- [8] *Ларионов А. К., Приклонский В. А., Ананьев В. П.* Лессовые породы СССР и их строительные свойства. — М. : Госгеолтехиздат, 1959.
- [9] *Russels A. R.* A compression line for soils with evolving particle and pore size distributions due to particle crushing // *Geotechnique Letters*. 2011. Vol. 1. No. 1. P. 5–9. (doi: 10.1680/geolett.10.00003)

**Автор:**

*Мокрицкая Татьяна Петровна*, доктор геологических наук, доцент, доцент кафедры геологии и гидрогеологии, заместитель декана геолого-географического факультета Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара

## Chotic Models Degradation Loess Rocks

T. P. Mokritskaya

Dnipropetrovsk national university Oles Honchar  
36 K. Marcs Ave., Dnipropetrovsk, 49044 Ukraine  
e-mail: mokritska@i.ua

*Abstract.* Analysis of temporal variability the components of the geological environment in the territories of cities was performed. The models of the degradation of the indexes of loess in time in the vadose zone were created. The results indicate the exist elements of chaos in dynamics properties of soils and groundwater in the city.

*Keywords:* loess, degradation, chaos.

### Reference

- [1] Mokritskaya T. P., Koriaschkina L. S. (2013) Degradation in loesses: factors and models. *Visnik Nacionalnogo girnichogo universitetu*, 4, 5–12. (In Rus)
- [2] Ivahnenko A. G., Mjuller J. F. (1985) *Samoorganizacija prognozirujushhih sistem*. Kiev: Tehnika.
- [3] Ivahnenko A. G., Jurachkovskij Ju. P. (1987) *Modelirovanie slozhnyh sistem po jeksperimentalnym dannym*. Moscow: Radio i svjaz.
- [4] Greshilov A. A., Stakun V. A., Stakun A. A. (1997) *Matematicheskie metody postroenija prognozov*. Moscow, Radio i svjaz.
- [5] Mokritskaya T. P., Shestopalov V. M. (2011) Features of conduct ground loess formation by technogenetic impact on the example Dnipropetrovsk. (EngeoPro-2011). International conference under the aegis of IAEG, Moscow, Russia, 561–564.
- [6] Nikulchev E. V. (2010) *Modelirovanie sistem s haoticheskoy dinamikoju na osnove ocenki slabogo narushenija simmetrij v rekonstruirovannom attraktore*. Moscow: MGUP.
- [7] Nikulchev E. V. (2014) Modelirovanie sistem s haoticheskoy dinamikoju na osnove ocenki slabogo narushenija simmetrij v rekonstruirovannyh attraktorah. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 4, 227. (<http://www.science-education.ru/118-14319>)
- [8] Larionov A. K., Priklonskij V. A., Ananev V. P. (1959) *Lessovye porody SSSR i ih stroitel'nye svojstva*. Moscow: Gosgeoltehzdat.
- [9] Russels A. R. (2011) A compression line for soils with evolving particle and pore size distributions due to particle crushing. *Geotechnique Letters*, 1(1), 5–9. (doi: 10.1680/geolett.10.00003)



## Формулы<sup>1</sup> в научно-технических публикациях: проблемы и решения

В. Ф. Очков

Национальный исследовательский университет  
«Московский энергетический институт»,  
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д 14  
e-mail: ochkov@twi.mpei.ac.ru

*Аннотация.* Автор с коллегами готовил к изданию справочник по теплофизическим свойствам теплоносителей и рабочих тел энергетики, который поддерживается сайтом <http://twi.mpei.ac.ru/rbtp> с сетевыми, интерактивными, открытыми расчетами. Справочник содержит, в частности, описание сайта. При подготовке этой части рукописи и отладке сайта возникла необходимость соединить в одном тексте общепринятые математические нотации и специальные формы записи математических выражений в компьютерных математических программах. Здесь излагаются возникшие проблемы и возможные способы их решения.

*Ключевые слова:* математические выражения, пакеты программ.

### Введение

В настоящее время в научно-технических публикациях (монографиях, учебниках, справочниках, диссертациях, авторефератах, журнальных статьях, студенческих курсовых и дипломных работах и т. д.) все чаще и чаще *формулы* представляют собой не наборы символов, введенных «от руки»<sup>2</sup> или с помощью специальных программ Word Equation (дополнение к Word), LaTeX и др., а *фрагменты расчетов*, сделанных в средах компьютерных *математических программ* Mathcad, Maple, Mathematica и др. (см. сайт [www.exponenta.ru](http://www.exponenta.ru), их поддерживающий). Более того, отмеченные математические программы имеют собственные средства комментирования расчетов, что позволяет с их помощью полностью *готовить рукописи*<sup>3</sup> к публикации, не прибегая к специализированным программам — текстовым процессорам Word, Adobe Acrobat и др.

---

<sup>1</sup> А также графики и таблицы — особые формы записи *формул*, функциональных зависимостей явных и скрытых.

<sup>2</sup> Так делали до эры персональных компьютеров — во времена печатных машинок, когда при подготовке так называемой оперативной и не очень качественной полиграфии (статей для сборников научных трудов, методических материалов и др.) вручную вписывали формулы в машинописный текст.

<sup>3</sup> Сейчас более уместно говорить не о «рукописях», а о неких «компьюписях». Хотя к клавиатуре компьютера по-прежнему касаются руки человека.

Наиболее распространенной является компромиссная технология, когда автор передает в издательство или редакцию журнала «гладкий» текст в файле формата doc и растровые рисунки в отдельных файлах формата bmp, например. Затем специалисты издательства объединяют эти файлы и готовят публикацию по стандартам издательства.

В bmp-файлах могут храниться не только традиционные рисунки (схемы, фотографии, диаграммы, графики), но и формулы в виде *скриншотов* (screen shot — моментальный фотоснимок, слепок с экрана компьютера<sup>4</sup>) протоколов решения задач в средах математических программ.

Отказ от прямого набора формул в тексте и обращение к услугам «посредников» — математических программ объясняется рядом причин, одна из которых в том, что ручной набор формул без проверки их работоспособности (а она-то и ведется в математических программах) часто чреват ошибками, которые допускает автор и пропускают редакторы и корректоры при работе над рукописью или макетом книги или журнальной статьи. Вспомним, сколько ошибок и опечаток мы допускали в текстах, когда писали их на бумаге или набирали на печатной машинке или компьютере без вшитых средств проверки орфографии (спел-чекеры)! Можно сказать, что в математические пакеты вшиты средства проверки «орфографии формул», высвечивающие в них возможные ошибки. Но главная причина обращения к математическим программам в том, что в настоящее время именно в средах математических программ, как правило, ведется обработка результатов экспериментальных данных, формирование таблиц, построение графиков или оценка теоретических вкладок с показом итоговых и промежуточных результатов. Плоды такой работы желательно перенести в готовящуюся публикацию без каких-либо искажений. Есть и другие причины «экспансии» математических программ в публикации, которые будут раскрыты ниже.

И тут возникает ряд проблем, требующих решения.

## 1. Проблема десятичного разделителя (decimal separator)

Россия принадлежит к странам, где традиционно в качестве десятичного разделителя используется *запятая*. В других странах (а это, в основном, англоязычные страны) используется *точка*. Главная англоязычная страна США в настоящее время задает тон в информационных технологиях. Поэтому все основные компьютерные программы, даже если они сделаны в России, оперируют точкой в качестве де-

---

<sup>4</sup> Для его получения нужно нажать клавишу PrtSc (Print Screen). После этого «картинка» экрана дисплея окажется в буфере обмена. Далее эту картинку можно будет отредактировать в среде, например, графического редактора Paint и сохранить файлом. До эры Windows (в эту операционную систему входят и буфер обмена и редактор Paint) во времена MS-DOS нажатием клавиши Print Screen можно было непосредственно *распечатать* весь экран дисплея на принтере. Отсюда и такое несколько устаревшее название этой клавиши.

сятничного разделителя<sup>5</sup>. Из-за этого в книгах, научных статьях и других публикациях формулы, перенесенные в текст из математических пакетов, содержат точки, в то время как числа самого текста, поясняющего формулы, — запятые. Попытки авторов ликвидировать этот разнобой — поставить в числах текста точки, а не запятые жестко пресекаются редакторами<sup>6</sup> и корректорами, которые стоят на страже издательских стандартов, в частности, правила, устанавливающего, что в «отечественных» числах целую и дробную части может разделять только запятая, но никак не точка. Более того, некоторые редакторы и почти все корректоры требуют, чтобы и в «компьютерных» формулах точки в числах были заменены на запятые. И только возражения авторов в том плане, что это не просто формулы, а слепки с экрана дисплея, где данная задача решалась с помощью конкретной математической программы, что в этом рисунке ничего нельзя менять, иначе это будет некий обман читателей, что если точки в числах заменить на запятые, то нужно запятые, которые используются как разделители в списках, менять на точки с запятой, а точки с запятой (а это тоже узаконенный символ в программах) еще на что-то другое<sup>7</sup> и т. д., переубеждает редакторов и корректоров, но далеко не всегда. Если же автор

<sup>5</sup> Есть редкие исключения из этого правила. Табличный процессор Excel (и весь Microsoft Office), например, можно настроить на работу как с точкой, так и с запятой в качестве десятичного разделителя. Но замена туг точки на запятую вызывает ряд проблем и затрудняет обмен файлами с расчетами, выполненными в этой и других подобных программах.

<sup>6</sup> Современный компьютеризированный редактор умеет самостоятельно (конечно, с согласия авторов) внести нужные исправления не только в файл текста, но даже и в графические файлы, в рисунки. Автор данной статьи общается с редакторами двух формаций, если так можно выразиться. Одни редакторы требуют распечатки текста, в котором они по старинке карандашом делают правку, используя специальные символы. Потом эту правку кто-то, а лучше лично автор вносит в файлы готовящейся публикации. Появились редакторы, которые наконец-то научились делать такую работу в самом файле, используя для этого специальные команды редактирования (рецензирования). Автору после этого остается только согласиться или не согласиться с правкой редактора, используя для этого опять же специальные команды текстового процессора. Но такие «компьютеризированные» редакторы, увы, очень часто «халтурят» — пропускают много ошибок (по-видимому, из-за того, что у них много заказов и нужно торопиться все их выполнить). Оптимальный вариант: редактор получает при встрече или по e-mail файлы от автора, сам при необходимости распечатывает их, вносит карандашом или чем угодно и как угодно правку в текст, потом вносит эту правку в файлы и отправляет их назад автору. Еще лучше получить от редактора отсканированную правку в виде рисунка с карандашными пометками. А еще лучше сесть автору «щечка-к-щечке» с редактором и решить все спорные вопросы очно, а не по переписке в Интернете. Но так сейчас случается все реже и реже: многие издательства пользуются услугами редакторов и корректоров, работающих в разных городах. Автор тут хотел применить термин «редактор/корректор», а не просто «редактор». Дело в том, что многие редакции, экономия средства, стараются нанять людей, совмещающих эти две профессии. Или вообще обойтись без них, полагая, что спел-чекеры компьютеров сами выявят ошибки. Но без хороших «живых» редакторов и корректоров приличному издательству обойтись никак нельзя. Более того нужен не просто редактор, а научный редактор, литературный редактор, технический редактор, отдельный проверяющий цитат и т. д. и т. п. Есть такой тест на проверку качества редактора/корректора. Нужно специально вставить в текст, например, десять ошибок, а потом посмотреть, сколько из них он найдет. Если при этом окажется, что он нашел пять специально введенных ошибок и, например, двадцать изначально находившихся в тексте, то можно предположить, что в тексте осталось около двух десятков не выловленных «изначальных» ошибок...

<sup>7</sup> Так устроен уже упоминавшийся нами табличный процессор Excel — см. сноску 5.

сдастся и заменит в числах формул точки на запятые, то это будет не просто обман (см. выше), но и некая «медвежья услуга» читателю со стороны автора вкупе с редакторами и корректорами. Читатель захочет ввести формулу с листа книги или журнала в компьютер, проверить ее или решить с ее помощью свою задачу<sup>8</sup> и не будет понимать, почему у него это не получается...

Тут можно узреть некую войну точки с запятой, которая... Тут автор хотел сказать «не стоит выеденного яйца», но вспомнил более литературную «яичную» аналогию. Джонатан Свифт в своих книгах о похождениях Гулливера<sup>9</sup> описал войну тех, кто разбивал яйцо с тупого конца (запятая) с теми, кто это делал с острого конца (точка)...

В настоящее время многие страны с высоким уровнем информатизации, где традиционно использовалась и используется запятая в числах (Германия, например<sup>10</sup>), постепенно переходят на точку. Один немецкий коллега подарил автору данной статьи свою новую книгу и особо просил сообщить, если в тексте вместо точки в числе окажется «устаревшая» запятая. В этом деле и нам наконец-то нужно «поставить точку» в прямом и переносном смыслах... Этот процесс уже пошел — некоторые наши издательства полностью перешли на точку в числах. Правда, эти издательства выпускают специфическую литературу — переводы (часто машинные) с английского на русский технических текстов, не подвергнутые более-менее тщательной научной редактуре<sup>11</sup>. Тут можно отметить и некую «фронду<sup>12</sup>», нацеленную против закостенелых правил, изолирующую страну от «полиграфического мейнстрима». Так, в России в начале XX века некоторые передовые литераторы писали и публиковали свои тексты, отказываясь от старой русской орфографии с ятями, тремя буквами «и»<sup>13</sup> (кошмар гимназистов старых времен), лишними твердыми знаками на конце многих слов и т. д. Потом, правда, уже после революции 1917 года некоторые из этих «передовиков» уже в эмиграции издавали свои газеты

---

<sup>8</sup> «Если на сцене висит ружье, то оно должно выстрелить!» — «Если в книге есть формула, то по ней можно и нужно вести расчет!».

<sup>9</sup> Сейчас эти книги перешли в разряд детских, но во времена Свифта они считались памфлетами на современную действительность.

<sup>10</sup> «Неанглоязычные» Китай, Корея и Япония уже давно перешли на точку в числах.

<sup>11</sup> Увы, из-за этого такого рода публикации очень часто «украшают» многочисленные ошибки и опечатки. Это, в частности, касается диссертаций и авторефератов, которые также часто выходят с досадными ошибками.

<sup>12</sup> См. сноску 16 ниже.

<sup>13</sup> Надо было бы в новой русской орфографии оставить букву і (и «десятеричное»), а не букву и. Тогда бы у иностранцев, надо полагать, было бы меньше трудностей «при чтеніі русских книг». Третья буква и — это ижица v. Рот у гоголевского Ивана Ивановича был похож на ижицу. Читатель может попробовать в электронной версии этой статьи, размещенной на сайте <http://twi.mpei.ac.ru/ochkov/work2.htm>, заменить букву «и» на «і» (см. пример выше) и посмотреть, что из этого получится.

и журналы, используя старую орфографию в пику «совдеповским» изданиям. Более свежий пример. Во времена еще одной нашей «революции» — перестройки 80–90-х годов прошлого века радикальные «западники» вели разговоры о том, что России нужно срочно переходить с кириллицы на латиницу<sup>14</sup>. Некоторые газеты и журналы в те времена демонстративно публиковали статьи и заметки латиницей, а не кириллицей<sup>15</sup>. При этом подчеркивалось, что латиница поможет нам быстрее приобщиться к западным ценностям (истинным и, как мы потом узнали, к ложным), а процесс компьютеризации у нас пойдет более быстрыми темпами и т. д. Были попытки перевести на латиницу татарский язык. Но потом все эти проекты и эксперименты были пресечены охранительным законом, гласящим, что письменность всех народов Российской Федерации может базироваться только на кириллице. Отсылаю читателя к роману Дмитрия Быкова «Орфография» ([www.lib.ru/POEZIQ/BYKOW\\_D/orfografiq.txt](http://www.lib.ru/POEZIQ/BYKOW_D/orfografiq.txt)), где эта тема развита более глубоко.

Можно представить себе, что если жизнь все-таки заставит нас перейти от запятой к точке в числах, то найдутся люди и издания, которые демонстративно будут тут ставить запятую, подобно тем парижским мальчишкам, которые когда-то давно демонстративно продолжали играть во фронду (игру с пращей) после того, как ее из-за многочисленных несчастных случаев запретила полиция<sup>16</sup>.

---

<sup>14</sup> На латиницу перешли некоторые «неславянские» республики бывшего СССР — Азербайджан, Молдавия. В Узбекистане сейчас «двоевластие» — используют и кириллицу, и латиницу. Здесь можно узреть элементы «русофобии», но главное тут — желание этих «перебежчиков» приобщиться к доминирующему в настоящее время алфавиту. Доминирующему, в том числе и в информационном обмене. Единая когда-то балканская страна с одним языком была разрезана надвое, в том числе и из-за алфавита: в Сербии пишут кириллицей, а в Хорватии — латиницей.

<sup>15</sup> Сейчас в Интернете некоторые сайты предлагают посетителям выбрать, на кириллице или латинице (транслитерация) они будут читать русские (украинские, белорусские) тексты. Международная переписка в том числе и ученых часто ведется на интерлите.

<sup>16</sup> Автор хотел сразу после первого упоминания слова *фронда* (см. сноску 12 выше) сделать сноску с объяснением, что это такое, но побоялся обидеть образованного читателя. Кроме того, у читателя под рукой, как правило, есть Интернет, где можно сделать соответствующий запрос. Автор сделал такой запрос по слову «фронда» и вот что получил в ответ. Во всех интернетовских источниках, сказано, что фронда по-французски это праща (*la fronde*) и что это слово означает протест, но не по принципиальным, а каким-то другим соображениям (фрондерство). Но нигде не объяснялось, почему это называется пращей. И только «старый, добрый, бумажный» энциклопедический справочник *La' Rousse* дал ответ на этот вопрос. Автор тут же дополнил соответствующую статью в Википедии ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)). Так что Интернет Интернетом, а обычные «бумажные» справочники еще долго будут востребованы и будут подпитывать Интернет.

Как заметил читатель, эта статья изобилует *сносками*. Можно даже сказать, что автор злоупотребляет сносками-комментариями к основному тексту. Даже в название статьи автор умудрился вставить сноску. Сносок можно не делать, а просто явно или скрыто намекать читателю, что он может в случае чего сделать соответствующие запросы в Интернете по «туманным» для читателя терминам и понятиям (или просто обратиться к «бумажному» справочнику или энциклопедии). Такая технология чтения статей (особенно электронных) сейчас все более становится распространенной. В «бумажном» справочнике или в нашей памяти хранится, будем надеется, выверенное (общепринятое) толкование термина, а в Интернете можно найти и спорные варианты, что также очень интересно. Знать бы при этом, что выверено, а что спорно! Справочник, кстати, по-английски Reference Book (книга ссылок)!

Проблема точки или запятой в числах усложняется еще и тем, что существует так называемый международный *финансовый* формат чисел (###,###,###,###.##), где запятая выступает в качестве *тысячного разделителя*, а точка отделяет рубли/доллары от копеек/центов. Но в инженерно-технических и научных расчетах такая избыточная точность, как правило, не требуется и числа округляются (к проблеме округления чисел мы еще вернемся ниже, когда будем говорить о «живых» задачниках) даже в так называемых технико-экономических расчетах, где наряду с физическими величинами (массой, энергией, временем и т. д. — см. раздел 6) используются и финансовые.

## 2. Проблема имен переменных в формулах

Проблема «кириллицы–латиницы» в формулах, затронутая выше, высвечивается еще одной интересной стороной.

Переменные в «отечественных» формулах могут содержать как буквы кириллицы, так и латиницы, а также буквы греческого алфавита<sup>17</sup> и различные спецсимволы. В научных дисциплинах есть величины (константы и переменные), за которыми закрепились те или иные имена задолго до появления компьютеров. Списки таких переменных, как правило, приводятся на первых страницах учебников, монографий и некоторых объемных статей, в пояснительных записках к курсовым и дипломным проектам. Специалист, глядя на свою «родную» формулу, может сразу и безошибочно понять, что хранит в формуле та или иная переменная. Переменные при этом могут иметь «национальность»: сравните  $D_{in}$  и  $D_{вх}$ ,  $D_{out}$  и  $D_{вых}$  (входной и выходной диаметр чего-то там; когда-то давно у нас в пылу борьбы с космополитизмом предписывалось писать не  $D_{вх}$ , а  $D_{вх}$  и т. д., и этот перегиб до сих пор полностью не изжит в некоторых отечественных машиностроительных стандартах<sup>18</sup>). Но сейчас все чаще и чаще мы стали отказываться от букв кириллицы в формулах не из-за отсутствия должного патриотизма, а по чисто практическим, неполитизированным причинам.

Во-первых, как уже отмечалось выше, формулы для статей и монографий все чаще и чаще «рождаются» в средах математических пакетов, а некоторые из них не позволяют мешать «французский с нижегородским» — вставлять в имена переменные не только буквы кириллицы, но даже и греческие буквы, широко используемые в формулах.

Во-вторых, правила публикации формул в отечественной литературе требуют, чтобы латинские буквы в переменных были прописаны *курсивом*, а буквы кириллицы — прямым шрифтом: сравните  $D_{вх}$  и  $D_{in}$  (или даже  $D_{vhod}$ <sup>19</sup>). Это задумано для

<sup>17</sup> Мостик между латиницей и кириллицей.

<sup>18</sup> Другая важная причина — чисто русские переменные можно было печатать на русских печатных машинках (см. сноску 2). Из-за этого, кстати, в старых рукописях и публикациях можно встретить такое обозначение шкалы и градуса Цельсия — °Ц.

<sup>19</sup> Vhod — вход: smotri snoski 14 i 15.

того, чтобы читатель мог отличать латинские буквы от кириллических, имеющих сходное написание:  $A$  — А,  $B$  — В,  $C$  — С,  $H$  — Н<sup>20</sup> и т. д. В некоторых математических пакетах (в Mathcad, например) допустимо менять шрифт у отдельных переменных<sup>21</sup>, но ни в одном математическом пакете нельзя форматировать имя переменной, например, так — саму переменную прописывать курсивом, а ее нижний индекс оставлять прямым (см. примеры выше). Из-за этого приходится отказываться от кириллических слов и сокращений в именах переменных, заменяя их на английские аналоги: было  $D_{\text{вх}}$  (или даже  $D_{\text{вх}}$ ) стало  $D_{in}$  или  $D_{vhod}$ .

Чисто английские переменные в формулах существенно облегчают научный обмен. Иностранному специалисту, совсем не знающему русского языка, может по английской аннотации найти в Интернете профильную русскую статью, просмотреть в ней «английские» формулы, понять, о чем тут идет речь, заказать перевод статьи или связаться с автором. По этой же причине в примерах данной статьи используются не русские, а международные написания единиц измерения физических величин (не м, а m (метры), не Па, а Pa (паскалы) и т. д. — см. раздел 5). Кроме того, электронная версия данной статьи, размещенная на сайте автора, дополнена ее английским переводом, что сделать намного проще, имея в оригинале уже «англизированные» формулы. Это можно считать неким вкладом в решение проблемы международного научного обмена.

Отсюда вывод. Если в формулах совсем нет букв кириллицы, то выделение латинских букв курсивом теряет всякий смысл и от этого правила можно и нужно отказаться. Тем более, что многие издательства это правило давно уже игнорируют, понимая в том числе и то, что их читатель довольно грамотный и без особых проблем отличит в формуле русскую букву С (эс), к примеру, от ее английского аналога — буквы С (си). Но в данной статье автор правила «латинская буква — курсив» пока придерживается, в частности, для того, чтобы лишний раз не «дразнить» редакторов и корректоров.

Говоря об именах переменных, нужно упомянуть «переменные-иероглифы». Читатель может подумать, что тут речь пойдет о Китае, Японии, Корее и некоторых других азиатских странах<sup>22</sup>, о том, как там ученые вставляют в переменные формул

---

<sup>20</sup> Отечественные автомобильные номера в настоящее время не содержат русских букв, не имеющих соответствующих латинских аналогов — ц, ш, щ, ы и т. д. (дань глобализации). Есть такой экстремальный литературный жанр — написать более-менее длинный и связный русский текст без специфических русских букв, т. е. латинскими буквами (МАМА МОЕТ РАМУ). Это правило нужно распространить и на имена переменных.

<sup>21</sup> Это можно видеть на рисунках данной статьи, созданных в среде Mathcad.

<sup>22</sup> Автору довелось здесь в России вести занятия со студентами из Мьянмы (бывшая Бирма), общаясь с ними на смеси русского и английского (они эти языки немного знали). Так вот в родном языке этих студентов цифры обозначаются не привычными арабскими символами (1, 2, 3...), а собственными традиционными специальными! Когда автор это узнал, он понял, почему этим студентам так трудно читать, а тем более понимать «международные» формулы или просто числа.

свои слова-иероглифы. Но речь пойдет не об этом<sup>23</sup>, а вот о чем. Некоторые переменные в некоторых научных дисциплинах «обросли» нижними и верхними индексами, штрихами, «крышечками» и другими специфическими символами и стали из-за этого походить не на сокращения слов или аббревиатуры, а на... иероглифы. Эти «иероглифы» несложно написать карандашом на бумаге или мелом на доске аудитории. При определенном навыке эти «иероглифы» можно ввести в электронную версию статьи (в файл для компьютера), используя упоминавшиеся программы Word Equation или LaTeX<sup>24</sup>. Но ввести их в расчет, создаваемый в среде математической программы, очень часто бывает просто невозможно. Такие «иероглифические» имена переменных приходится упрощать — лишать их «многоэтажного» вида, переводить их в линейную (текстовую) форму примерно так, как китайцам, корейцам и японцам приходится упрощать свою письменность, чтобы тексты можно было вводить в компьютер. Из-за этого во многих научных дисциплинах «иероглифические» имена переменных и констант стали обзаводиться своими упрощенными аналогами. Конкретный пример. Можно в текст статьи ввести символ определенного интеграла рисунком<sup>25</sup> или специальным набором, а можно просто набрать на клавиатуре  $\mathbf{int(f(x), x = 0..1)}$ .

В начале многих книг и статей, как мы уже отметили выше, авторы размещают в виде таблицы список переменных, используемых в тексте: первый столбец такой таблицы — имя переменной, второй столбец — единица измерения хранимой в переменной величины (о единицах измерения см. раздел 5) и третий столбец — описание переменной. Если же в книге или статье приводятся фрагменты программ или протоколы решения задач в среде какой-либо математической программы, то в списке переменных может появиться еще один столбец — имя переменной (идентификатор), используемый при компьютерном решении задачи. Иногда этот новый столбец может «вытолкнуть» из таблицы первый столбец с традиционными имена-

---

<sup>23</sup> Ученые Китая, Кореи, а тем более, Японии уже давно «англизировали» формулы в своих книгах и научных статьях. Более того, они пишут свои книги и статьи все чаще и чаще только по-английски, понимая, что иначе это затруднит глобальный обмен идеями, без которого невозможно нормальное научное развитие. Ученые Германии и других европейских стран все чаще и чаще публикуются только на английском языке (современная латынь).

<sup>24</sup> Можно любоваться скульптурой и удивляться тому, «каким образом ваятель в куске каррарского мрамора видит сокрытого Юпитера и выводит его на свет, резцом и молотом раздробляя его оболочку», а можно, перелистывая старые «докомпьютерные» справочники по математике, восхищаться, каким образом наборщики создавали такие «произведения изобразительного искусства» — сложнейшие математические или химические формулы. Одно время издательства пытались навязать своим авторам единые стандарты и форматы компьютерной подготовки рукописей с формулами, но потом от этой утопической идеи отказались. Вернее, дело обстояло и обстоит так. Если издательство заинтересовано в рукописи, то оно ее возьмет хоть в «рукописном виде» и само доведет до нужного формата. Если же рукопись издательству не нужна, то ее могут отвергнуть в том числе и под предлогом несоответствия оформительским стандартам, которые, как правило, публикуются на сайтах издательств и журналов.

<sup>25</sup> Автор разработал специальную технологию замены сложных имен переменных на рисунки в сетевых расчетах [2]. Пример такого расчета можно видеть на сайте по адресу [http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/Non\\_St\\_Name.xmcd](http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/Non_St_Name.xmcd).



ми переменных и констант. С экспансией математических пакетов в книги и статьи это «выталкивание» пошло более интенсивно, и мы должны будем постепенно забывать традиционное «иероглифическое» написание не только переменных, но и некоторых математических операторов (см. раздел 7). С другой стороны, разработчики математических пакетов при создании новых версий стараются учитывать устоявшиеся традиции в написании переменных и вводят новые инструменты их форматирования. Так, в среде Mathcad с некоторых пор стало возможным вводить в имена переменных верхние и нижние индексы, математические и другие символы. Правда, такую усложненную переменную нужно обрамлять квадратными скобками:  $[\text{HCO}_3^-]$ ,  $[\text{D}_{\text{in}}^{\text{min}}]$  и т. д.

### 3. Проблема очередности записей при публикации формул

В книгах, статьях, курсовых и дипломных работах *формулы* принято публиковать в таком порядке — сначала приводится сама формула с небольшим «заголовком» примерно так:

«Температура идеального газа ( $T$ ) рассчитывается по формуле

$$T = \frac{m \cdot p \cdot v}{R} \quad (1^{26})»$$

А потом перечисляются переменные, входящие в формулу примерно так: «где  $m$  — молярная масса газа,  $p$  — давление газа,  $v$  — удельный объем газа<sup>27</sup> и  $R$  — универсальная газовая постоянная». Тут перечисляются переменные, входящие в *правую* часть формулы... Но часто в научных публикациях даются не просто формулы, по которым можно вычислить значение переменной, стоящей в левой части формулы — см. формулу 1, а уравнения (алгебраические, дифференциальные и др.). О такой форме записи формул мы еще поговорим.

Чтобы формула заработала в математических пакетах, необходимо *переставить местами* саму формулу и список ее переменных, а также ввести в переменные и константы конкретные значения<sup>28</sup>: см. рис. 1 — слепок с экрана дисплея решения задачи (1) в среде Mathcad.

---

<sup>26</sup> Набрано в Math Type.

<sup>27</sup> Курсив латинской буквы  $v$  сделал ее похожей на греческую букву ню или на старую русскую букву ижица (см. сноску 13). Если мы будем выделять курсивом латинские буквы, то нужно что-то придумать и для греческих букв, чтобы их отличать от латинских и кириллических. Это еще один довод/повод, чтобы отказаться от правила «латинская буква — это курсив».

<sup>28</sup> Тут речь идет о численной (приближенной) математике, а не о *компьютерных аналитических преобразованиях (символьная математика)* — смотрите, что написано перед формулой (1): «Температура рассчитывается по формуле!»

Расчет температуры идеального газа.

Константа (универсальная газовая постоянная):

$$R := 8.314472 \frac{\text{J}}{\text{mole} \cdot \text{K}}$$

Значения переменных:

- давление	- уд. объем	- молярная масса
$p := 0.7 \text{ atm}$	$v := 7.1 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$	$m := 14 \frac{\text{gm}}{\text{mole}}$

(2<sup>29</sup>)

Ответ:

$$T := \frac{m \cdot p \cdot v}{R} = 574.79^\circ\text{C}$$

Рисунок 1. Расчет по формуле в среде Mathcad

«Обвешивание» в книге или научной статье формул числовыми значениями переменных, входящих в формулы, может показаться излишним, если не принять во внимание следующую важную тенденцию в развитии информационных технологий.

Расчеты, выполненные в среде Mathcad и в некоторых других математических программах, можно публиковать в *Интернете* для *интерактивной работы* с ними. На рис. 2 отображен сайт с адресом <http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/pv-RT.xmcd><sup>30</sup>, зайдя на который можно изменить в прямоугольных окнах исходные данные, нажать<sup>31</sup> кнопку Recalculate<sup>32</sup> и получить новый ответ — численное значение температуры, рассчитанное по формуле (1).

При публикации формул, особенно в электронных изданиях, можно рядом с формулой или группой формул поместить *ссылку* на сайт, где эти формулы можно заставить работать: менять в них исходные данные и получать новые ответы, как это отображено на рис. 2.

*Примечание.* В переменных расчета, показанных на рис. 1 и 2, мы, соблюдая вышеотмеченное правило публикации формул, сохранили курсив латинских букв. Из-за этого качество полиграфии несколько ухудшилось. Единицы измерения (а о них речь пойдет ниже в разделе 5) и числа на рис. 1 прописаны прямым шрифтом и выглядят вполне прилично (еще один резон отказаться от правила «латинская буква — курсив», о котором шла речь выше).

<sup>29</sup> Это вставленный в текст рисунок — слепок с решения задачи в среде Mathcad.

<sup>30</sup> Далее адреса сайтов будут прописываться в названиях рисунков.

<sup>31</sup> Автор хотел написать «щелкнуть мышкой» или даже «подвести курсор манипулятора «мышь» к кнопке Recalculate и нажать левую кнопку самой мышки и т. д.», но вспомнил, что читатель уже довольно «компьютерно грамотный» и сам поймет, что к чему. А раньше редакторы заставляли «разжевывать» такой текст.

<sup>32</sup> Автор хотел тут дать перевод этому слову (Пересчитать), но... см. предыдущую ссылку.

Расчет температуры идеального газа.

Константа (универсальная газовая постоянная):

$$R := 8.314472 \frac{\text{J}}{\text{mole} \cdot \text{K}}$$

Значения переменных (можно изменить):

$p := 0.7 \text{ atm}$      $\nu := 7.1 \text{ m}^3/\text{kg}$

$m := 14 \text{ gm/mole}$    

Ответ:

$$T := \frac{m \cdot p \cdot \nu}{R} = 574.79^\circ\text{C}$$

Рисунок 2. Расчет по формуле в Интернете

При публикации «работающих» формул, как правило, их дублируют с заменой переменных их численными значениями примерно так:

«Энтальпию воды в конце необратимого процесса сжатия ее в насосе  $h_{3д}$  вычислим по формуле для расчета относительного внутреннего КПД насоса:

$$h_{3д} = h_{2'} + (h_3 - h_{2'}) / \eta_{oi}^H = 121,4 + (133,9 - 121,4) / 0,85 = 136,1 \text{ кДж/кг} \quad (4)$$

Такое дублирование ведется для дополнительного контроля, но уже не самой формулы, а правильности численных значений переменных формулы и счета по ним. Предполагается, что человек (некий «сертификатор» расчета), имеющий под рукой калькулятор (арифмометр, логарифмическую линейку, специальные расчетные таблицы, счеты, абак и тд, если идти вглубь истории), может проверить арифметические выкладки, не разыскивая в расчете численные значения переменных, вычисленных ранее.

В среде некоторых математических пакетов также требования стандартов учитываются: там можно дублировать формулы с подстановкой численных значений переменных. Вот пример подобного оформления расчета в среде Mathcad 14 и 15 (рис. 3).

Вместимость конуса:     $r := 20\text{mm}$      $h := 3.5\text{cm}$

$$V := \frac{\pi}{3} \cdot r^2 \cdot h = \frac{\pi}{3} \cdot (20 \text{ mm})^2 \cdot (3.5 \text{ cm}) = 14.661 \text{ mL} \quad (5)$$

Рисунок 3. «Оцифровка» формулы в среде Mathcad

<sup>33</sup> Это вставленный в текст рисунок — слепок с решения задачи в Интернете.

Подобный стиль счета предусмотрен и в некоторых специализированных пакетах — в пакете NormCAD (<http://normcad.ru>), например, предназначенном для расчетов по российским (машино-) строительным нормам и правилам (СНиПы). Вот пример расчета в среде NormCAD:

«Площадь арматуры по грани нормальной оси X:

$$A_{sx} = A_{s1, x} \cdot (n_x + 1) + (2 \cdot A_{so} - A_{s1, x} - A_{s1, y}) \cdot b / (1 + b) =$$

$$= 0 \cdot (0 + 1) + (2 \cdot 0,0008 - 0 - 0,000314159) \cdot 0,50695 / (1 + 0,50695) = 0,000432567 \text{ м}^2$$

(формула (151); п. 3.74, Пособие к СНиП 2.03.01-84).» (6)

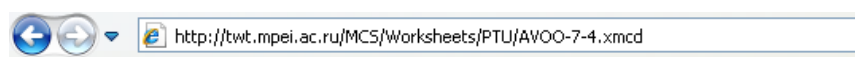
Такая «оцифровка» формул была желательна при «ручном» ведении расчетов с помощью калькулятора (арифмометра и тд, см. выше), но стала, как понимает читатель, совершенно излишней при компьютерном счете. Тем не менее, многие устаревшие, но действующие и поныне стандарты оформления расчетов требуют «оцифровки» формул, даже если они велись полностью на компьютере. «По одежке встречают, по уму провожают» — этим правилом руководствуются в различных сертифицирующих организациях, где ваш расчет не примут на проверку, если он оформлен неправильно.

«Оцифровку» расчетных формул требуют многие преподаватели, принимающие типовые курсовые и дипломные проекты в высших и средних технических учебных заведениях. Некоторые преподаватели, принимая от студента такой расчет, кладут около себя калькулятор (чуть раньше они «брали в руки логарифмическую линейку») и проверяют все или по крайней мере некоторые математические выкладки, допуская, что студент тут мог ошибиться, забывая при этом о том, что эти расчеты делал не студент, а компьютер, который не может ошибиться в арифметических выкладках.

Ошибиться тут может студент, выбрав не ту формулу или подставив в нее не то значение, и механическая проверка счета по формулам тут не поможет... Когда-то в МЭИ первые компьютеры стали печатать ведомости на зарплату — колонки цифр с итоговой суммой внизу. Главный бухгалтер МЭИ эти ведомости должен был подписывать. Но прежде чем это сделать он... на счетах проверял правильность числа, стоящего внизу ведомости на зарплату — распечатки компьютера, суммировал все числа. Когда этому главному бухгалтеру говорили, что в итоговой сумме не может быть ошибки, что ошибка может быть только при начислении той или иной зарплаты тому или иному работнику, то ответ был таков — компьютер в случае чего не посадят в тюрьму, а меня посадят, если я подпишу неправильную ведомость... Так и до самого ухода на пенсию этот главный бухгалтер суммировал числа в ведомостях на зарплату перед их подписанием сначала на счетах, а потом на калькуляторе... Так и некоторые преподаватели требуют «оцифровки» формул в студенческих расчетах, не понимая, что этим возможную ошибку не выявить...

Процесс «оцифровки», зафиксированный на формулах (4)–(6), требует значительного ручного оформительского труда и не всегда приводит к желаемому ре-

зультату: к нужному числу знаков в ответе с нужной единицы измерения и т. д. Чтобы «волки были сыты и овцы целы» — чтобы удовлетворить проверяющего и не перегружать себя лишней и трудоемкой работой, можно оформить расчет (см. формулу (4)) так — дать формулу с итоговым ответом, а под ней «распечатать» переменные формулы с нужным форматом числа и с нужной единицей измерения (рис. 4).



Энтальпию воды в конце необратимого процесса сжатия ее в насосе  $h_{3д}$  вычислим по формуле для расчета относительного внутреннего КПД насоса:

$$h_{3д} := h_{2'} + \frac{h_3 - h_{2'}}{\eta_{oi}} = 136.1 \text{ kJ/kg} \quad (7)$$

где  $h_{2'} = 121.4 \text{ kJ/kg}$  - энтальпия воды на входе в насос,

$h_3 = 133.9 \text{ kJ/kg}$  - энтальпия воды на выходе из насоса при обратимом процессе сжатия

и  $\eta_{oi} = 0.85$  - внутренний относительный КПД насоса.

Рисунок 3. Формула со списком переменных и их численных значений

«Умный» преподаватель, проверяющий расчет, показанный на рис. 5, видя не совсем или совсем неправильный ответ по формуле, не станет проверять счет по этой формуле. Ему достаточно проверить, какие переменные фигурируют в формуле и какие значения эти переменные имеют. Вот тут то и будет очень полезна распечатка значений переменных анализируемой формулы так, как это показано на рис. 4. Если же возникнет потребность проверки правильности счета по формуле, к примеру, для контроля правильности округления ответа, то около формулы лучше поместить значения переменных с базовыми единицами измерения — см. рис. 4а и сравните его с рисунками 2 и 3.

Исходные данные:

$$p := 0.7 \text{ atm} \quad v := 7100 \frac{\text{L}}{\text{kg}} \quad m := 14 \frac{\text{gm}}{\text{mole}}$$

$$\text{Ответ} \quad T := \frac{m \cdot p \cdot v}{R} = 847.94 \text{ K}$$

$$\text{где} \quad m = 0.014 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \quad p = 70927.5 \text{ Pa}$$

$$v = 7.1 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$$

Рисунок 4а. Расчет по формуле с переводом единиц измерения к базовым единицам СИ

Другая помощь проверяющему будет заключаться в том, что вблизи формулы размещаются не только значения переменных формул, но и значения некоторых фрагментов формулы. Эта особенность показана на рис. 4b.

Термический КПД паро-газового энергетического блока:

$$\eta_{\text{ПГУ}} := (m \cdot I_{\text{ГТУ}} + I_{\text{ПТУ}}) / q_1 = 63.05 \%$$

где  $m = 8.26498 \frac{\text{kgg}}{\text{kgws}}$  (отношение расхода газа к расходу воды и водяного пара),  
 $I_{\text{ГТУ}} = 423.911 \text{ kJ/kgg}$  (удельная работа газовой турбины),  
 $m \cdot I_{\text{ГТУ}} = 3503.62 \text{ kJ/kgws}$  (работа газовой турбины на кг воды и водяного пара),  
 $I_{\text{ПТУ}} = 1322.94 \text{ kJ/kgws}$  (удельная работа паровой турбины),  
 $m \cdot I_{\text{ГТУ}} + I_{\text{ПТУ}} = 4826.56 \text{ kJ/kgws}$  (удельная работа газовой и паровой турбины) и  
 $q_1 = 7655.13 \text{ kJ/kgws}$  (удельная теплота, подведенная к ПГУ).

Рисунок 4b. Расчет по формуле с «распечаткой» значений переменных и фрагментов формулы

Оформление студентом и проверенные преподавателем формулы расчетов могут иметь не только чисто учебное, но и практическое значение за счет перевода расчетов в Интернет и обогащение разного рода справочников. Конкретный пример.

Автор работает в составе группы исследователей, объединенных в Международную ассоциацию по свойствам воды и<sup>34</sup> водяного пара ([www.iapws.org](http://www.iapws.org)), которая готовит и публикует наборы формул (*формуляции*), по которым предписывается вести расчеты различных параметров этой очень важной природной субстанции, широко используемой не только в быту, но и во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства. Обычно такие формуляции публикуются в виде PDF-текста со вставленными в него «мертвыми» формулами. На рис. 5 в качестве примера показан фрагмент одной из таких формуляций, по которой рассчитывается ионное произведение воды  $K_w$  — произведение концентрации катионов  $\text{H}^+$  на концентрацию анионов  $\text{OH}^-$  в воде. В докомпьютерную эру такие формуляции готовили на пишущих машинках (см. сноску 2), вручную вписывая в них нужные формулы. Теперь же эти формулы уже полностью готовят на компьютере, но до недавнего времени это кардинально дело не меняло.

<sup>34</sup> Тут автор сомневается, какой союз более подходит — «и» или «или». В современных публикациях появился некий новояз — гибридный союз «и/или», но его, как правило, всегда пытаются вымарать редакторы и корректоры. Дело в том, что в русском языке, как и во многих других «мировых» языках нет слова, объединяющего термины «вода и водяной пар». В быту мы имеем дело либо с водой, либо с паром, вернее, с влажным паром — паром, перемешанным с воздухом и содержащим капельки влаги (пар над кипящей водой). Но при закритических параметрах эту субстанцию нельзя делить на воду и водяной пар (см. линию в таблице рис. 11) — тут нужно использовать новое отдельное слово. Так, у многих племен Амазонии нет слова, описывающего понятие «лес», а есть «густой лес», «редкий лес» и т. д. Будем нашу субстанцию называть «вода/водяной пар», введя новый союз «/» — сокращение от «и/или». У нас, кстати, в ссылке 7 уже появился «редактор/корректор», объединяющий в себе две эти специальности.

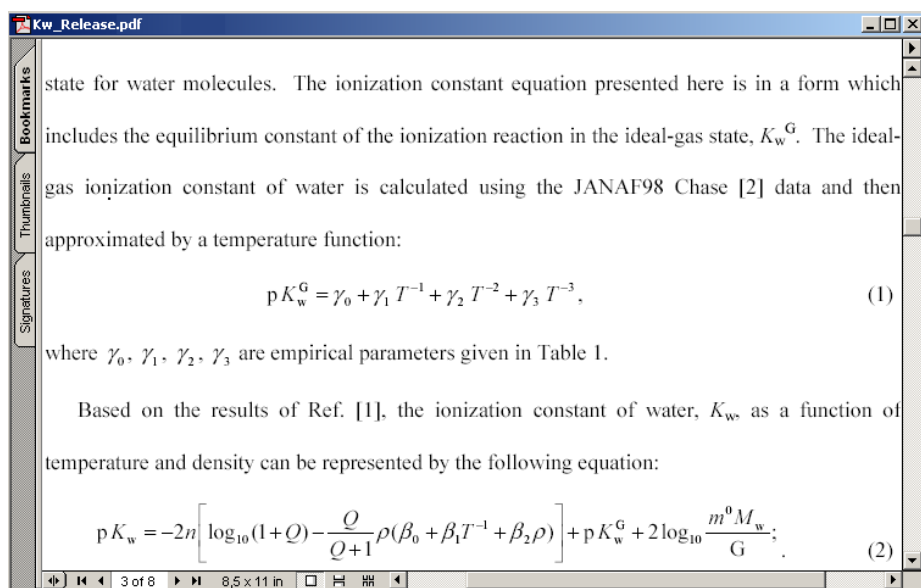


Рисунок 5. Пример формуляции по свойствам воды

С недавнего времени с подачи автора этой статьи и его коллег и студентов [4] подобные формуляции стали публиковаться в виде наборов «живых» интернетовских формул, по которым можно вести соответствующие расчеты. На рис. 6 показан сетевой документ, по которому можно рассчитать ионное произведение воды  $K_w$  (вернее, отрицательный десятичный логарифм от этой величины —  $pK_w$ ) в зависимости от температуры и плотности воды.

Формуляции по свойствам воды и водяного пара, а также других субстанций разрабатываются, утверждаются и публикуются, в том числе и в Интернете, для того, чтобы, руководствуясь ими, можно было создавать программы для компьютерных расчетов, в которых нуждается промышленность, исследовательские и проектные организации, а также учебные заведения. Для ручных же расчетов или приближенных оценок годятся таблицы и графики (о них будет сказано ниже), которые создаются также на основе опубликованных формуляций.

Публикация формуляций в виде сетевых, интерактивных, открытых<sup>35</sup> расчетов (рис. 6) позволяет:

- просто знакомиться с методикой ведения данного расчета (это, правда, можно и, наверно, даже лучше делать, изучая и традиционные «бумажные», «неживые» PDF-документы — см. рис. 5);

<sup>35</sup> В этой триаде словом «открытый» подчеркивается следующий момент. В Интернете можно найти множество расчетных страниц, работающих по схеме «введите исходные данные, нажмите кнопку и получите новый ответ». Но сами формулы, по которым ведется расчет, и промежуточные числа не открыты для посетителей сайта. Закрыты же формулы в том числе и из-за того, что сделаны они с помощью языков программирования, код которых мало кому понятен.

- проводить конкретные разовые расчеты: менять исходные данные и получать новый результат;
- создавать и, главное, быстро отлаживать соответствующие программы для компьютеров, имея под рукой не только итоговый ответ (в «неживых» формуляциях такие контрольные итоговые ответы, как правило, приводятся для нескольких расчетных точек), но и все промежуточные данные: на рис. 6 показано, что все формулы данной «живой» формуляции дополнены числовыми ответами.

The Ionization Constant of H<sub>2</sub>O - IAPWS Formulation

0 °C ≤ T ≤ 800 °C T := 600 °C

The ideal gas ionization constant (JANAF98) T\* := 1K θ := T / T\* = 600

$\gamma_0 := 6.141500 \cdot 10^{-1}$   $\gamma_1 := 4.825133 \cdot 10^4$   $\gamma_2 := -6.770793 \cdot 10^4$   $\gamma_3 := 1.010210 \cdot 10^7$

$$pK_w^G := \gamma_0 + \frac{\gamma_1}{\theta} + \frac{\gamma_2}{\theta^2} + \frac{\gamma_3}{\theta^3} = 80.892$$

0 ≤ Density ≤ 1.25 g/cm<sup>3</sup> Density := 0.7 gm/cm<sup>3</sup> Recalculate

The ionization Constant of water

D\* := 1 g/cm<sup>3</sup> ρ := Density / D\* = 0.7

$$\alpha_0 := -0.864671 \quad \alpha_1 := 8659.19 \quad \alpha_2 := -22786.2 \quad \left( \alpha_0 + \frac{\alpha_1}{\theta} + \frac{\alpha_2}{\theta^2} \cdot \rho^{2/3} \right) = 519559.8$$

Q := ρ · e

$\beta_0 := 0.642044 \quad \beta_1 := -56.8534 \quad \beta_2 := -0.375754 \quad \beta_3 := -3.488719$

$$pK_w := -12 \cdot \left[ \log(1 + Q) - \frac{Q}{Q + 1} \cdot \rho \cdot \left( \beta_0 + \frac{\beta_1}{\theta} + \beta_2 \cdot \rho \right) \right] + pK_w^G + \beta_3 = 11.203153$$

Рисунок 6. Пример «живой» интернет-формуляции по свойствам воды/водяного пара

В самом начале статьи анонсировалась книга [1]. Так вот, **все формулы** в этом справочнике имеют сетевые, интерактивные, открытые аналоги, разработанные по технологии, отображенной на парах рисунков 1–2 и 3–4.

Авторы других подобных книг с множеством формул вкладывают в книги *диски с* программами, позволяющими после установки их на компьютере вести расчеты по формулам. Но, эта технология давно уже устарела, если принять во внимание, что в настоящее время почти все компьютеры имеют выход в Интернет. Но и установка расчетных программ не с приложенному к книге диска, а скачивание их из Сети, полностью не решает эту проблему. И причина этому такая.

Можно отметить следующую тенденцию, которая серьезно изменит жизнь пользователей компьютеров в течение ближайшее время. Тенденция эта заключается в развитии так называемых *облачных вычислений* (cloud computing) — предоставление пользователям компьютеров удаленных вычислительных мощностей и дискового пространства («облаков»), а также каналов связи. На использование «облачных вычислений» пользователей толкает, помимо прочего, высокие стоимости



лицензий программ на отдельные компьютеры, аренды помещений, электроэнергии, а также не в последнюю очередь... тенденции, описанные в данной статье. Пользователю не нужно будет ставить на свой персональный компьютер какие-либо прикладные программы — все можно будет найти в Интернете за умеренную абонентскую плату или совсем бесплатно...

Размещение программ расчета по формулам на выделенном сервере (в «облаках»), а не раздача (дистрибуция) таких программ через диски, приложенные к книге, или через скачивание программ из Сети имеет еще одно важное преимущество. Если в программах обнаружится ошибка в самих формулах или просто «очепятка» в комментариях, то этот промах можно быстро и незаметно исправить. На таком сервере можно также поместить непрерывно дополняющийся список опечаток, допущенных в самой книге (практика, получающая распространение в последнее время). Книгу, от которой тянутся многочисленные «паутинки» ссылок на сервер, можно считать непрерывно «перерабатываемым, дополняющимся и исправляющимся» изданием.

Особенно много формул содержится в различных *задачниках* и *решебниках*<sup>36</sup>. Автор со своими студентами взялся за труд перевести некоторые из них, связанные в первую очередь с энергетикой, в сетевой, интерактивный, открытый формат. При такой «оцифровке» было выявлено множество ошибок и опечаток. И это не только классические ошибки/опечатки (в степени переменной стоит двойка, а не положенная тройка, например), но и некие недомолвки/умолчания, в которых может в конце концов разобраться специалист или даже студент, получающий дополнительные качественные консультации у преподавателя. Но математические пакеты такие недомолвки/умолчания категорически отказываются «извинять», прерывают счет сообщениями об ошибке или выдают ответ, не совпадающий с книжным... И в этом трудно винить авторов, редакторов, а тем более корректоров таких решебников: одно дело вычитать «гладкий» текст, а другое — тщательно проверить формулы, не прибегая к скрупулезному счету по ним. Дело осложняется еще и тем, что в задачниках и решебниках численные ответы формул округляются<sup>37</sup> и эти округленные ответы переносятся в последующие формулы, что может привести и приводит к существенным искажениям в промежуточных и итоговых численных ответах. В математических пакетах в «последующие формулы» переносятся не округленные

---

<sup>36</sup> В задачнике собраны описания задач и ответов по ним, которые, как правило, размещаются в конце книги. Решебник (новое слово, которого не знает даже Word и подчеркивает его красной волнистой чертой, отмечающей орфографическую ошибку) дополнен подробным описанием процесса решения задачи — формулами с подставленными в них конкретными численными значениями.

<sup>37</sup> Это целая наука — правильно округлять числа в ответах и потом не запутаться в этих округлениях. Так, по формулам (2) и (3) был получен численный ответ с двумя знаками после запятой — 574,79 °С, хотя тут достаточно и одного знака: 574,8 °С или даже совсем ни одного: 575 °С, учитывая точность измерения и нашего восприятия температуры. Но можно было вывести и максимальное число знаков, допустимое в данной программной среде (Mathcad 14) 574,7924189533622 °С. Так часто поступают студенты, желая «порадовать» своих преподавателей повышенной точностью компьютерных вычислений в курсовых и дипломных работах...

ответы, вернее, не так сильно округленные ответы (не 574,79 °С, а 574,7924189533622 °С, вернее не 847,94 К, а 847,9424189533622 К — на «печать» выводятся градусы Цельсия, а сам расчет ведется, естественно, в кельвинах, если вернуться к рис. 1 и 2, что и будет отмечено в разделе 5), что с одной стороны повышает точность расчетов, а с другой, создает проблему различий в «живых» и «неживых» («бумажных») решебниках.

Кстати, об округлении ответа. При организации сетевых расчетов желательно давать посетителям сайта возможность задавать число знаков в выводимых числовых ответах (см. пример на рис. 7 — digits).

Работа по «оживлению» формул задачников и решебников очень полезна и в таком отношении: выверенные и опубликованные в Сети расчеты приобретают не только чисто учебную, но и практическую ценность, т. к. по ним можно решать конкретные практические задачи. Решебник тут превращается в очень удобный научно-технический справочник.

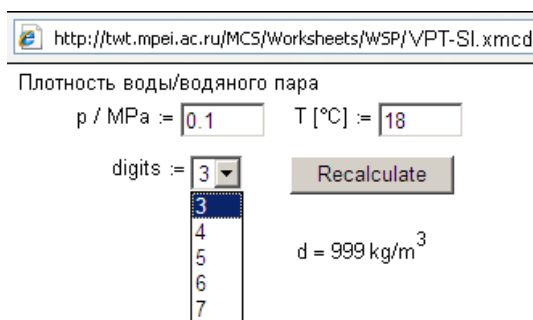


Рисунок 7. Уточнение числа знаков в выводимом ответе

К особому типу решебников относятся различного рода *нормативные документы* (строительные нормы и правила — СНиПы, например), где также много формул и которые также можно и нужно «оживить» в Интернете. Что, кстати, уже делается, в том числе и автором данной статьи в отношении некоторых стандартов энергетики. Так на сайте <http://twt.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/Thermal/Izol-Trub-Teploset.xmcd> читатель может увидеть пример одного из таких «живых» нормативных документов — СНиП по расчету толщины теплоизоляции теплосети<sup>38</sup>.

Ведя разговор о нормативных документах, нельзя не коснуться темы *сертификации* расчетов. Достоверность информации в «бумажных» справочниках в какой-то мере подтверждается солидностью соответствующих издательств с их штатом

<sup>38</sup> Недостаточная толщина изоляции приводит к недопустимым тепловым потерям, а избыточная — к перерасходу теплоизоляционного материала. Эту типичную технико-экономическую задачу (минимизация общей стоимости проектирования, сооружения, эксплуатации и последующей утилизации промышленного объекта при полном выполнении им своих функций) можно каждый раз решать индивидуально, а можно воспользоваться обобщенными СНиПам, что в конечном итоге ведет к удешевлению проектирования.

научных консультантов, редакторов и корректоров. Страницы же Интернета, как правило, отданы на откуп случайным создателям и не подвергаются жесткому редактированию и тщательной корректуре. С другой стороны, автор собрал довольно большую коллекцию опечаток в справочниках весьма солидных издательств, когда вместо, например, 0,0<sub>2</sub>387 стоит 0,02387 (двойка перестала быть нижним индексом, отмечающим повторяющиеся нули), а вместо 27,39 — 72,93 (вероятно, число набрал человек, знающий немецкий язык, на котором говорят не «семьдесят два», а «два и семьдесят», не «девянсто три», а «три и девянсто») и т. п. Такие ошибки практически невозможно выявить при традиционной (визуальной) правке корректур «бумажных» справочников и мы уже это отмечали. Тем не менее ошибки остаются ошибками со всеми вытекающими последствиями.

Сертификацию расчетных документов, опубликованных в Сети, можно хотя бы внешне проводить двумя способами. Во-первых, можно публиковать в Сети письмо «солидной» организации, где подтверждается правильность размещенных на конкретном сайте расчетов. Во-вторых, можно из сайтов «солидных» организаций делать ссылки на соответствующие расчетные сайты и упоминать об этом на самом расчетном сайте.

#### 4. Проблема «формулы-графики» и «формулы-таблицы»

Особым родом формул (см. сноску в названии статьи) являются *графики* и *таблицы* в справочниках, монографиях, научных статьях.

*Графики* можно разбить на три группы:

- 1) графики, построенные по известным формулам;
- 2) графики, построенные после некой статистической обработки (интерполяция, экстраполяция, аппроксимация) дискретных данных (они, как правило, отмечены точками на графике), или графики с утерянными или недоступными формулами, по которым они когда-то были построены;
- 3) некие графические зависимости («наброски от руки»), по которым трудно что-либо оценивать, тем более, считать, и которые приведены только для качественной оценки явлений. Такие графики обычно не содержат сетки и чисел по оси ординат, а только обрисовывают некие зависимости: тут функция растет, а тут падает... В литературе, кстати, встречаются и подобные графики «от руки», в которых сделан некий набросок некой зависимости, но по которым практически нельзя и не нужно считать («качественные», но не «количественные» формулы)...

Первые две группы графиков несложно «оживить» в Интернете по технологии, описанной в [2], где этому вопросу уделена специальная глава «График на расчетном сайте». Два примера.

На рис. 8 можно видеть сетевой, интерактивный график, относящийся к первой группе графиков и отображающий зависимость скорости звука в воде/водяном паре от температуры и давления. Изобары, показанные на рис. 8, построены по утвер-

жденной формуляции Международной ассоциации по свойствам воды и водяного пара. Посетитель данного сайта может изменить исходные данные, нажать кнопку Recalculate и получить не только новый числовой ответ (скорость звука в воде/водяном паре), но и новую изобару, и новые пунктирные линии, фиксирующие рабочую точку на графике. Это позволяет более глубоко понимать те или иные закономерности в свойствах воды/водяного пара. Есть соответствующие сайты, где строятся не изобары, а изотермы, и даже поверхности в трехмерном пространстве<sup>39</sup>. В Интернете также имеется сайт (<http://twf.mpei.ac.ru/MCS/Worksheets/WSP/RegionsAllAxes.xmcd>), где показаны все «живые» формулы, по которым строились изобары рис. 8.

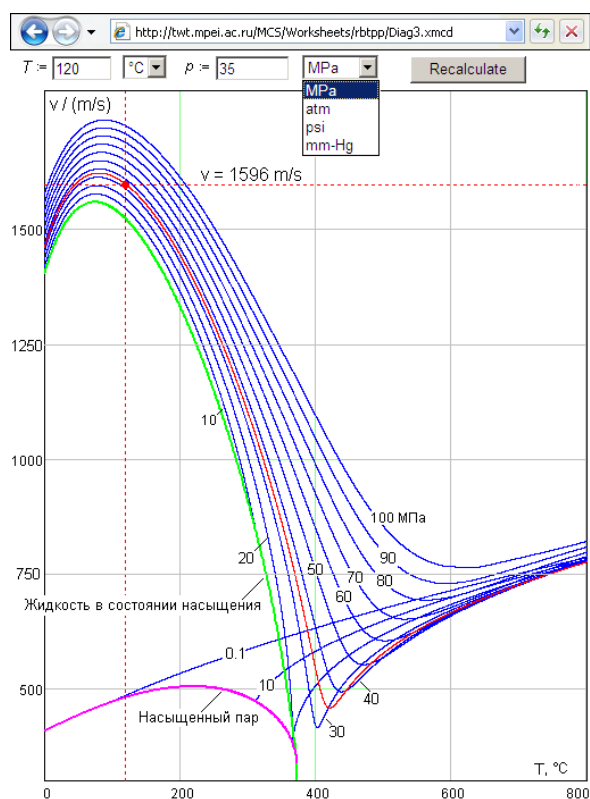


Рисунок 8. График зависимости скорости звука в воде/водяном паре от температуры и давления

Графики второй группы, у которых нет явной аналитической зависимости в виде формул, также можно при определенных усилиях (оцифровка с получением дискретных значений точек на графике, интерполяция или аппроксимация по неко-

<sup>39</sup> На экране дисплея компьютера строится, конечно, плоский объект. Но средства усиления объемности (подсветка, перспектива, туман и прочее) делают свое дело: мы видим на экране «реальную» поверхность, которую можно даже поворачивать, чтобы лучше видеть те или иные закономерности.

торой зависимости и т. д.) опубликовать в Интернете для интерактивного использования. Так, в качестве примера на рис. 9 и 10 показана пара графиков: рис. 9 — это сканированный<sup>40</sup> из фундаментального справочника «Физические величины» (М.: Энергоатомиздат, 1991 — см. сайт <http://twt.mpei.ac.ru/PVNB> с «живыми» расчетами из этого справочника) график скорости звука в морской воде в зависимости от ее температуры и солености<sup>41</sup>, а рис. 10 — этот же график, открытый в Интернете, с автоматическим построением недостающей изолинии и расчетом скорости звука с фиксацией рабочей точки на графике.

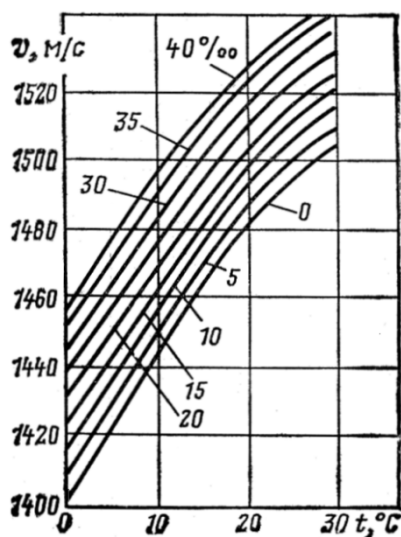


Рисунок 9. Пример типичного графика в «бумажном» справочнике

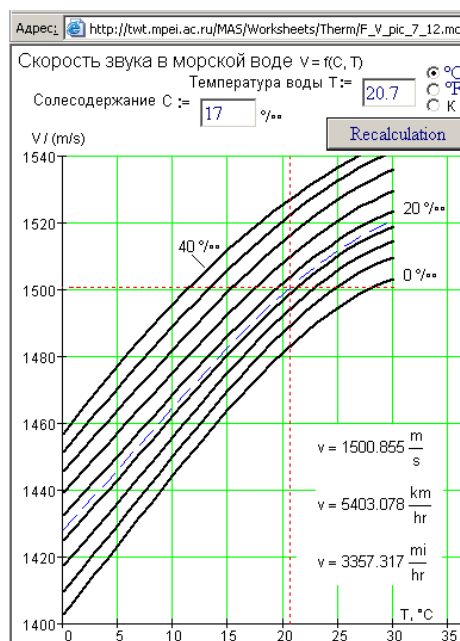


Рисунок 10. Пример типичного «живого» графика в Интернете

В справочной литературе встречаются также и разного рода *номограммы* с инструкциями такого рода: отложите значение первого аргумента на левой шкале, а второго — на правой; соедините точки линейкой и на средней шкале считайте ответ. В номограммах (а на них выросло целое поколение инженеров) «тонет» физика задачи — ее качественная оценка, зато повышается точность расчетов. Выпускались даже нехитрые механические устройства типа логарифмической линейки (см. сноску 60) с «вшитыми» в них алгоритмами расчетов. Такие устройства были особо популярны у штурманов, прокладывающих маршруты морских и воздушных судов

<sup>40</sup> Отсюда и такое невысокое качество рисунка.

<sup>41</sup> Тут умалчивается, что давление атмосферное — см. подобную зависимость для чистой воды на рис. 8, где дополнительно учитывается давление.

до наступления эры бортовых компьютеров и систем глобального позиционирования. Сейчас что-то подобное можно купить в газетных киосках — совместил на двух дисках свой вес и рост и узнал, пора ли переходить на диету... Номограммы также несложно «оживить» в Интернете. Пример одной такой номограммы можно увидеть здесь: [http://twf.mpei.ac.ru/MAS/Worksheets/Boiler/Th\\_C\\_B\\_Nom\\_2.mcd](http://twf.mpei.ac.ru/MAS/Worksheets/Boiler/Th_C_B_Nom_2.mcd).

Научные публикации помимо формул и графиков содержат разного рода *таблицы* — дискретные значения функций одного, двух или даже трех аргументов. Таблицы также условно можно разбить на группы, но не на три как у графиков, а только на *две*: таблицы, хранящие дискретные значения, рассчитанные по известным формулам, и таблицы, хранящие эмпирические (опытные) значения, не связанные явно с какими-либо аналитическими зависимостями. Таблицы обеих этих групп можно также «оцифровать» и открыть в Интернете для интерактивного использования. На рис. 11 в верхней его части показан фрагмент таблицы из [1] с дискретными значениями трех функций двух аргументов (давление  $p$  и температура  $T$ ), возвращающих удельный объем ( $v$ ), удельную энтальпию ( $h$ ) и удельную энтропию ( $s$ ) воды/водяного пара.

t, °C	p = 5,5 МПа			p = 6,0 МПа			p = 6,5 МПа			p = 7,0 МПа		
	v, м³/kg	h, кJ/kg	s, кJ/(kg K)	v, м³/kg	h, кJ/kg	s, кJ/(kg K)	v, м³/kg	h, кJ/kg	s, кJ/(kg K)	v, м³/kg	h, кJ/kg	s, кJ/(kg K)
200	0,0011525	854,0	2,3246	0,0011521	854,2	2,3238	0,0011516	854,4	2,3230	0,0011511	854,6	2,3223
210	0,0011687	899,0	2,4186	0,0011682	899,2	2,4178	0,0011676	899,3	2,4170	0,0011671	899,5	2,4161
220	0,0011862	944,5	2,5119	0,0011856	944,7	2,5110	0,0011850	944,8	2,5101	0,0011844	945,0	2,5092
230	0,0012052	990,7	2,6047	0,0012046	990,8	2,6037	0,0012039	990,9	2,6027	0,0012032	991,1	2,6018
240	0,0012261	1037,7	2,6972	0,0012253	1037,8	2,6961	0,0012245	1037,8	2,6950	0,0012237	1037,9	2,6939
250	0,0012490	1085,7	2,7897	0,0012481	1085,7	2,7885	0,0012472	1085,6	2,7873	0,0012463	1085,6	2,7861
260	0,0012744	1134,7	2,8825	0,0012734	1134,6	2,8812	0,0012723	1134,5	2,8799	0,0012713	1134,5	2,8785
270	0,03565	2789,9	5,9309	0,0013018	1184,9	2,9747	0,0013005	1184,8	2,9732	0,0012993	1184,6	2,9717
280	0,03737	2832,9	6,0094	0,03320	2805,2	5,9276	0,0013326	1236,6	3,0678	0,0013311	1236,3	3,0661
290	0,03893	2871,1	6,0779	0,03476	2847,5	6,0033	0,03118	2822,0	5,9287	0,02804	2794,0	5,8528
300	0,04037	2906,2	6,1396	0,03619	2885,5	6,0702	0,03261	2863,5	6,0018	0,02949	2839,8	5,9335
310	0,04174	2939,0	6,1965	0,03752	2920,6	6,1309	0,03392	2901,1	6,0670	0,03080	2880,6	6,0040
320	0,04304	2970,2	6,2495	0,03878	2953,5	6,1870	0,03515	2936,1	6,1265	0,03201	2917,9	6,0674
330	0,04430	3000,1	6,2994	0,03998	2984,9	6,2393	0,03632	2969,1	6,1816	0,03315	2952,6	6,1255
340	0,04550	3028,9	6,3468	0,04114	3014,9	6,2887	0,03743	3000,5	6,2332	0,03423	2985,5	6,1796

Интернет-версия  
таблицы

p / МПа :=  T [°C] := 
 v = 0.0013018 м³/kg    h = 1184.9 кJ/kg    s = 2.9747 кJ/(kg K)

Сайт с обратной  
задачей

p / МПа :=  s/(kJ/(kg K)) := 
 h = 1184.9 кJ/kg    T = 270 °C    v = 0.0013018 м³/kg

Рисунок 11. Пример таблицы свойств воды/водяного пара

Таблицы в век Интернета хороши для... заполнения объема «бумажного» справочника, для увеличения его листинга (см. сноску 42). Но для практической работы таблицы малопригодны. Если, к примеру, приходится решать *прямую задачу* — по значениям давления и температуры необходимо найти значение удельной

энтальпии (см. таблицу на рис. 11), то путем несложных интерполяций<sup>42</sup> данную задачу можно быстро решить. Но если требуется решить *обратную задачу*, рассчитать, например, по давлению и удельной энтропии значение удельной энтальпии (очень распространенная теплотехническая задача), то с таблицей, показанной на рис. 11, становится работать весьма сложно. В этом случае существенно поможет Интернет, в котором размещены сайты с расчетами, дополняющими данную таблицу. В нижней части рис. 11 показаны два из таких сайтов, с помощью которых решаются описанные прямая и обратная задачи без каких-либо дополнительных интерполяций и итераций.

Особо следует сказать о *маркировке* осей графиков (см. рис. 8 и 10) и «шапок»/«боковиков» таблиц (см. рис. 11). Если по оси графика или в «шапке»/«боковике» таблицы отложены значения давления, например, выраженные в мегапаскалях, то в отечественных и зарубежных изданиях можно увидеть следующие маркировки (обозначения):  $p$ , МПа или  $p$  [МПа] или  $p / \text{МПа}$  и др. Наиболее правильной (логичной, не таящей лишнего умолчаний) можно считать последнюю («американскую»<sup>43</sup>) манеру маркировки осей графиков  $p / \text{МПа}$ : если мы видим, что точка на оси графика соответствует, например, значению давления ( $p$ ) 12, то это означает, что  $p / \text{МПа} = 12$  или (после умножения левой и правой частей равенства на константу МПа)  $p = 12 \text{ МПа}$ . Такая маркировка на графиках и таблицах особо полезна, если в единицах измерения присутствуют множители. Рассмотрим, например, график, где по оси ординат отложено не давление (см. выше), а динамическая вязкость, которую часто измеряют микропаскалями, помноженными на секунду:  $\mu / (10^{-6} \text{ Па с}) = 100 \rightarrow \mu = 100 \cdot 10^{-6} \text{ Па с} \rightarrow \mu = 0,0001 \text{ Па с}$ <sup>44</sup>. Тут все логично: динамическая вязкость равна одной десятитысячной паскаля, умноженного на секунду или ста микропаскалям, помноженным на секунду — эту величину можно вставлять в расчет и считать дальше. Но в отечественных изданиях на таких графиках и в таблицах можно видеть не только правильную запись:  $\mu \cdot 10^6, \text{ Па с}$  или  $\mu, 10^{-6} \text{ Па с}$ , где под запятой подразумевается знак деления (практичные американцы его не подразумевают, а явно прописывают — см. выше), но и ошибочные: запятую ставят не на нужном месте ( $\mu, 10^6 \text{ Па с}$ ) или путают знак порядка ( $\mu \cdot 10^{-6}, \text{ Па с}$ ). «Американская» манера надписей, повторяем, в этом смысле более практична — тут явным образом ставится *знак деления*, а не его малоизвестный «псевдоним» —

<sup>42</sup> Очень редко исходные значения давления/температуры совпадают с теми, какие прописаны в «шапке» и/или в «боковике» таблицы. Чтобы это происходило чаще и не нужно было прибегать к интерполяции, приходится уменьшать шаг изменения дискретных значений давления/температуры, если говорить о таблице, показанной на рис. 11, и, следовательно, увеличивать объем самой таблицы, что в свою очередь снижает удобство работы с ней.

<sup>43</sup> Маркировку оси графика  $p$ , МПа можно условно считать русской (см. рис. 9), а  $p$  [МПа] — немецкой.

<sup>44</sup> Знак умножения ( $\cdot$ ) тут часто не ставят, что еще больше путает читателя.

запятая<sup>45</sup>. Правда, и тут бывают неточности. На осях «американского» графика можно увидеть надпись  $T/^\circ\text{C}$  или  $T/^\circ\text{F}$  (относительные температурные шкалы Цельсия или Фаренгейта). Здесь символ / означает уже не деление, а более сложную зависимость, включающую сдвиг по константам 273,15 К (кельвины) или 459,67°R (градусы Ренкина). В этом случае правильнее писать не  $T/^\circ\text{C}$  или  $T/^\circ\text{F}$ , а  $T, ^\circ\text{C}$  или  $T [^\circ\text{F}]$ , подразумевая под запятой или квадратными скобками символ этой «более сложной зависимости». Так, например, были оформлены графики на рис. 8 и 10. Символ / будет означать деление в случае маркировки  $T/\text{K}$  или  $T/^\circ\text{R}$  — абсолютные температурные шкалы Кельвина (кельвины) или Ренкина.

## 5. Проблема формул с переменными, хранящими физические величины

Вернемся к формуле (1) и к тексту, его поясняющему. Очень часто в книгах и статьях можно встретить формулы, где *дополнительно* отмечены *единицы измерения* величин<sup>46</sup>, фигурирующих в формулах, примерно так:

«Температура ( $T$ , кельвины) идеального газа рассчитывается по формуле

$$T = \frac{m \cdot p \cdot v}{1000 \cdot R}, \quad (8^{47})$$

где  $m$  — молярная масса газа ( $\text{г} \cdot \text{моль}^{-1}$ );  $p$  — давление газа (Па);  $v$  — удельный объем газа ( $\text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$ ) и  $R$  — универсальная газовая постоянная ( $8.314472 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ).»

Эти дополнительные указания на единицы измерения могут показаться лишними: если названа физическая величина, то незачем напоминать читателю, какими единицами она измеряется. Но...

Как известно, все формулы по своей сути и отчасти по своему внешнему виду, а также описанию делятся на *две группы*: формулы, связывающие *физические величины* и формулы, связывающие *физические величины с фиксированными единицами* их измерения. Первая группа формул ( $F = a \cdot m$ ,  $E = m \cdot c^2$  и т. д. и т. п.<sup>48</sup>) описывает

<sup>45</sup> Русские тексты, можно сказать, переполнены запятыми. Первое, что видит англичанин в русском тексте — это запяты, разбросанные по нему как веснушки на лице рыжего ирландца (опять же поверхностный взгляд англичанина).

<sup>46</sup> Тут дотошный редактор скажет, что нужно писать не «единица измерения такой-то величины (давления, объема и т. д.)», а «единица такой-то величины». Но дело в том, что данное «правильное написание» — это некая не совсем удачная калька с английского, которая у нас приживается с трудом. В английском языке, в отличие от русского слово, «единица» имеет два написания: «one» и «unit». У нас же слово «единица» может восприниматься и как «1 — one», и как «единица (измерения) — unit».

<sup>47</sup> Набрано опять же (см. первую формулу) в среде программы Word Equation.

<sup>48</sup> Автор в одной книге видел такое «фрондерство» — не и «т.д. и т.п.», а «тд и тп». Мы тут спорим, ставить ли точку вместо запятой в числах, а тут вообще точки не ставят и правильно делают (см. сноску 45). Точка может показаться лишней и в конце абзаца — в данном абзаце-сноске автор не ставит точку



наши *теоретические представления* об окружающем мире. Вторая группа формул, так называемые *эмпирические формулы* описывают экспериментальные данные, пока не подвергнутые более-менее глубокому теоретическому анализу, убирающему у формул «унизительное» прилагательное «эмпирическая»<sup>49</sup>. Описание переменных формулы (3) включает в себя перечисление и единиц измерения. Следовательно, по этому формальному признаку данную формулу можно считать эмпирической. Но это, конечно, не так — это полноценная «теоретическая» формула, вытекающая из уравнения Клайперона-Менделеева<sup>50</sup>  $p \cdot v = m \cdot R \cdot T$ <sup>51</sup>. Формулу (3) можно считать *псевдоэмпирической*. Такие формулы, отягощенные упоминанием единиц измерения и дополнительными коэффициентами, очень часто можно встретить в научно-технической литературе. Дело в том, что если вернуться к формуле (3), то можно отметить то, что молярную массу принято измерять не в килограммах<sup>52</sup> на моль, как это требует Международная система единиц (СИ), а в граммах на моль, к чему мы все привыкли и как это зафиксировано в различных физических и химических справочниках. В формуле же (2) коэффициент 1000 (грамм в килограмме) отсутствует. Почему?! Современные математические пакеты, в частности Mathcad и Maple, работают не просто с *величинами* (это умеют делать языки программирования и табличные процессоры), а с *физическими величинами*<sup>53</sup> — массой, объемом, количеством вещества, температурой и т. д. При расчетах эти пакеты са-

---

<sup>49</sup> Сравним: «государь» и «милостивый государь». Но иногда подобные прилагательные могут наоборот возвышать, а не принижать научный термин. Вот простой тест на принадлежность по схеме «наука — лженаука». Сравните: занимательная математика (физика, химия и т. д.) и... занимательная астрология (хиромантия, политология и т. д.). Сейчас ведутся споры, является ли богословие научной дисциплиной. Читатель, приставьте к этому термину прилагательное «занимательное» и решите сами, что к чему!

<sup>50</sup> Это у нас в России данное уравнение идеального газа называется «Клайперона-Менделеева», а в остальном мире просто «Клайперона (Clapeyron)». Это мы говорим «таблица Менделеева». «Они» же говорят просто «периодическая таблица химических элементов». Но и мы не остаемся в долгу — одну из диаграмм состояния воды/водяного пара называем не диаграммой Молье, а просто  $h, s$ -диаграммой. Весь мир называет основной пароводяной термодинамический цикл циклом Ренкина, а немцы — циклом Клаузиуса-Ренкина (Clausius-Rankine-Kreisprozess).

Проблема *наименований* формул и вообще научных открытий и изобретений — это тема отдельного сильно политизированного разговора.

<sup>51</sup> Мы тут переменные отделили точками — знаками умножения. Но в книгах их, как правило, не ставят, понимая, что «грамотный» читатель сообразит, что  $mRT$  — это не одна, а целых три переменных. И еще. В зарубежных книгах читатель вместо  $m$  увидит  $n$ . Процессы глобализации тут требуют более четких стандартов и отказа от умолчаний, «разнообозначений» (и взаимных обид — см. предыдущую ссылку).

<sup>52</sup> Килограмм — это довольно странная единица массы СИ. Она основная, но почему-то включает в себя множитель кило. Из-за этого, например, единицу массы мкг можно принять не за микрограмм, а за милликилограмм, т. е. за грамм и ошибиться на три порядка, если не выручит уже не раз упоминавшийся принцип умолчания.

<sup>53</sup> Правильнее сказать — с *размерностями*: некоторые разные физические величины имеют одинаковую размерность. Эту особенность автор постарался раскрыть в отдельной главе монографии [3].

ми сделают соответствующие дополнительные пересчеты единиц измерения, что и отображено в примере, показанном на рис. 2<sup>54</sup>. Более того, эти пакеты ведут контроль размерностей и не позволяют, грубо говоря, складывать метры с килограммами, что очень способствует более быстрому и, главное, безошибочному вводу формул.

Коэффициент 1000 в формуле (3) нетрудно «расшифровать» — это, повторяем, 1000 грамм в одном килограмме. Но в других подобных формулах такие коэффициенты, позволяющие задействовать в расчетах небазовые или устаревшие единицы измерения, «расшифровывать» бывает намного труднее. Что такое число 3,6, фигурирующее в некоторых формулах?! Это 3600 секунд в часе и 1000 кг воды в кубическом метре<sup>55</sup>. Еще труднее понять суть таких коэффициентов, если в формулах предписывается использовать единицы измерения, не кратные основным (не паскаль, а атмосферу, например) или «заокеанские» единицы (не литры, а баррели, например, если вспомнить цену нефти). Нередко в подобные коэффициенты прячут некоторые константы с благими намерениями облегчить расчет. Типичный пример. Во всех справочниках и учебниках по теплотехнике сказано, что удельный расход топлива на электростанции ( $b$ , г/кВт·ч) вычисляется по формуле  $b = 123/\eta$ , где  $\eta$  — это КПД электростанции, выраженный в абсолютных единицах. Если же эта величина будет выражена в процентах, то формула будет выглядеть несколько иначе:  $b = 12300/\eta$ . Пример:  $\eta = 0,32$   $b = 123/\eta = 123/0,32 = 384,4$ <sup>56</sup> г/кВт·ч. ( $\eta = 32$   $b = 12300/\eta = 12300/32 = 384,4$  г/кВт·ч): электростанция с КПД 0,32 (32%) сжигает 384,4 грамм условного топлива на выработку одного киловатт-часа электроэнергии. Если же кто-то попробует формулу  $b = 123/\eta$  ( $b = 12300/\eta$ ) ввести в Mathcad и посчитать по ней с привлечением механизма единиц измерения, то ответ получится в лучшем случае безразмерным (п. 1 на рис. 12), а в худшем — ошибочным (п. 2).

<sup>54</sup> На рис. 2 рассчитанное значение температуры выведено не в «основных» единицах кельвинах (абсолютная термодинамическая шкала температур), а по более привычной шкале Цельсия (дополнительная единица температуры). Математические пакеты позволяют менять единицы умолчания ответа на другие, более удобные для пользователя. Но научный редактор тут сразу скажет, что если тут фигурирует не абсолютная, а относительная температура, то необходимо использовать не переменную  $T$ , а переменную  $t$  (или даже  $\theta$  — греческая тета, чтобы не путать с  $t$  — временем). «Выдавливание» из ручных и компьютерных расчетов физических величин, невозможность автоматического пересчета единиц измерения, тем более по относительным шкалам, привела к такому раздвоению обозначения температуры и некоторых других физических величин. Если редактор требует, чтобы температура обозначалась переменной  $T$  или  $t$  ( $\theta$ ) в зависимости от того, что она хранит — абсолютную или «относительную» температуру (см. ссылку 63), то нужно и для давления, к примеру, зарезервировать две различные переменные, хранящие значение в разных единицах — в паскалях и атмосферах, например. В тексте автор использует русские наименования единиц измерения, а в рисунках — международные. Это тоже дань глобализации. Другой пример. Отечественные заводы выпускают манометры (или электросчетчики) и пишут на них МПа, а не МПа (не кВт·ч, а kW · h), думая и о возможном экспорте своей продукции.

<sup>55</sup> Да, читатель, такие метрологические умолчания очень часто встречаются в формулах. При нормальных условиях килограмм воды имеет литровый объем и эту единичную плотность в формулах часто сокращают. Но когда эту формулу начинают вводить в среде Mathcad, то ошибка сразу всплывает и приводит в недоумение неопытного пользователя ...

<sup>56</sup> На самом деле получается число 384,375, но нужно уметь правильно округлять ответы!

$$\begin{aligned}
 1. \quad \eta &:= 0.32 & b &:= \frac{123}{\eta} = 384.375 \\
 2. \quad \eta &:= 32\% & b &:= \frac{12300}{\eta} = 38437.5 \\
 3. \quad \eta &:= 32\% & Q &:= 7000 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} & b &:= \frac{1}{Q \cdot \eta} = 383.859 \frac{\text{gm}}{\text{kW} \cdot \text{hr}}
 \end{aligned}$$

Рисунок 12. Расчет в среде Mathcad эффективности электростанции

Дело в том, что нормальная, «физическая», неупрощенная формула для расчета расхода условного топлива выглядит так:  $b = 1/(Q \cdot \eta)$ , где  $Q$  — это теплота сгорания условного топлива, принятое и легко запоминающееся значение которой равно 7000 ккал/кг (антрацит хорошего качества). Но при переходе на СИ решили, что специалистам, а тем более студентам будет трудно переводить калории в джоули, часы в секунды, килограммы в граммы, и заранее сделали такой пересчет, получив при этом опять же запоминающийся коэффициент 123 (или 12300). В настоящее время, как мы уже отметили, пересчет единиц измерения берут на себя математические программы и в справочники желательнее вернуть первоначальную формулу  $b = 1/(Q \cdot \eta)$  — см. п. 3 на рис. 12<sup>57</sup>, убрав упрощенную  $b = 123/\eta$ . А еще лучше иметь в справочниках две подобные формулы, отмечая при этом, что первая формула ( $b = 123/\eta$ ) годится для ручного счета или счета с помощью «нефизических» программных средств (калькулятор, языки программирования, электронные таблицы), а вторая ( $b = 1/Q \cdot \eta$ ) — для счета в средах современных «физико-математических» программ со встроенными единицами измерения.

Ошибки, связанные с неправильным использованием единиц измерения, издавна сопровождали все сферы человеческих отношений. Например, Петр I в письме князю Куракину (1714) укорял последнего: «... присылали вы роспись подрядным кораблям, которым написана пропорция амстердамскими футами, а я к вам всегда писал, чтоб английскими, о чем зело удивляюсь, для чего сие пренебрегли, ибо убыло в длину более 10 фут, а также и в ширину». В наш же век, в век техногенных катастроф последствия и наносимый ущерб от такого рода ошибок могут быть более значительными.

Два других более свежих примера.

Так, самолет Boeing 767, принадлежащий канадским авиалиниям, 23 июля 1983 года совершал полет из Монреаля в Эдмонтон. На полпути, на высоте 12 500 м, по причине полного расхода топлива лайнер был вынужден совершить аварийную посадку на заброшенном военном аэродроме в местечке Гимли (Gimli). Причиной аварийной ситуации стала ошибка командира, неправильно рассчитав-

<sup>57</sup> Эта неупрощенная формула более приемлема и в образовательном плане: студент, работая с ней, должен задуматься, что такое условное топливо и чему равна его теплота сгорания...

шего массу топлива, необходимого для перелета. В то время авиация Канады переходила с британской метрической системы (в которой объем измеряется в галлонах, а масса в фунтах) на международную метрическую систему SI (литры и килограммы соответственно). Для пересчета массы потребного топлива следовало показания топливомера (в литрах) умножить на соответствующее значение плотности, чтобы получить килограммы. Ошибка состояла в том, что вместо правильного значения плотности (измеряемого в кг/л), командир использовал старое значение (измеряемое в фунтах/галлон). В результате самолет был заправлен только половиной необходимого топлива, что и привело к аварийной ситуации.

Похожая ошибка привела к неудаче и при полете американского спутника Mars Climate Orbiter (MCO). Mars Climate Orbiter был запущен 11 декабря 1998 года на РН Дельта-2. Аппарат прибыл к Марсу через 9 месяцев, 23 сентября 1999 года. В расчетное время на высоте 193 км аппарат включил двигатели на торможение. Через 5 минут MCO ушел за Марс и больше никаких сигналов с него не поступало. Из анализа данных со станций слежения было установлено, что аппарат прошел над поверхностью на высоте всего 57 км вместо расчетных 140 км и попросту сгорел в атмосфере (стоимость аппарата 125 млн долларов). Столь большое отклонение было вызвано ошибкой специалистов, готовивших миссию: при расчетах тормозного импульса одна из групп использовала британские единицы измерения (фунт-сила), а другая — метрические (ньютон).

Можно упомянуть еще одну инженерную ошибку, ставшую почти что легендой, но связанную не с самими единицами измерения, а с относительными шкалами измерения. Строили мост через Рейн. С одного берега это делали немцы, а с другого швейцарцы (у тех и у других, заметим, очень высокий уровень технической культуры). Когда пролеты моста стали соединяться на середине реки, то оказалось, что разница в их высотах составила чуть ли не полметра. Причина ошибки была в том, что в Германии строительный стандарт нулевой высоты — это уровень Северного моря, а в Швейцарии — Средиземного<sup>58</sup>.

Любой специалист в любой области науки и техники может привести множество примеров подобных ошибок и казусов, связанных с неправильным оперированием единицами измерения в формулах. Отход от ручных расчетов и переход на компьютерные «безразмерные» языки программирования в какой-то степени решает эту проблему.

В свое время (третья четверть XX века) при повсеместном переходе на СИ были «вычищены авгиевы конюшни» — в справочниках и учебниках при их переиздании или новом написании все формулы были переделаны так, чтобы в них, не дай бог, не «всплыли» калории, атмосферы, килограммы-силы и прочие устаревшие, но, тем не менее, широко используемые единицы измерения. Повсеместное

---

<sup>58</sup> В теплотехнических измерениях многие до сих пор по старинке полагают, что «градусы Цельсия» («уровень моря») отличаются от кельвинов («центр земли») на величину 273. Правильное же значение этой величины составляет 273,15. Такая «температурная» неточность также чревата ошибками (см. ссылку 63).

распространение математических пакетов, умеющих не только манипулировать числами, но и пересчитывать при этом единицы измерения, требует, чтобы мы еще раз почистили эти «конюшни», привели в порядок формулы — дали, например, их разное написание, учитывающее и традиционную, и современную технологию счета, дополнили такую раздвоенную формулу<sup>59</sup> ссылкой на сайт Интернета, где по ней не только можно посчитать, но и построить, если понадобится, графики, а также получить дополнительную информацию, не вошедшую в компактное «бумажное» издание.

Сейчас в отечественных научно-технических кругах остро ставится вопрос об издании новых или просто о репринтном переиздании «старых, добрых, советских» справочников. Речь даже заходит о переиздании справочника (таблиц) функций Бесселя?! Критики же тут говорят с поддевкой — а давайте еще и таблицы Брадиса<sup>60</sup> переиздадим! «Поддевка» тут в том, что в настоящее время у всех тех, кому такие таблицы нужны, есть под рукой как минимум калькулятор (научный калькулятор с вшитыми в них не только элементарными функциями (таблицы Брадиса), но и функциями Бесселя и другими специальными), а как максимум — персональный компьютер с выходом в Интернет.

Справочники переиздавать и издавать, конечно, нужно. Но при этом необходимо учитывать современные реалии, в частности ситуацию, описанную в данной статье, когда в «бумажном» справочнике от формулы (графика, таблицы) можно через соответствующие ссылки перейти к их «живым» аналогам в Интернете. Но тут встает «крамольный» вопрос — а нужны ли тогда вообще традиционные «бумажные» справочники?! Да, нужны, но в ином формате и исполнении!

Математические пакеты, умеющие правильно работать с физическими величинами, поднимают еще один частный вопрос. В свое время при переходе на СИ издательства и редакции журналов перестали принимать рукописи, где использовались не «сишные», но, тем не менее, до сих пор широко используемые единицы измерения. Особенно больно эта ломка шла в научно-технических кругах, где в ходу фунты, футы и прочие «заокеанские» единицы. Да и у нас в России и во всей Европе есть свои «футы-фунты»: атмосферное давление, к примеру, мы никогда не научимся оценивать в паскалях, вернее, в гектопаскалях<sup>61</sup>, а всегда будем тут оперировать миллиметрами ртутного столба. Резюме! Физико-математические пакеты позволяют отойти от жесткого правила, предписывающего использовать в статьях и книгах только единицы СИ. Мы этим возможным будущим послаблением уже

<sup>59</sup> Кто-то тут может возразить, что тем самым мы не «подчищаем конюшни», а, наоборот, еще больше «загрязняем» их, ставя читателя справочника перед выбором — с какой формулой работать.

<sup>60</sup> (Сноска для молодого читателя, ленившегося посмотреть в Интернете, что это такое). В таблицах Брадиса хранились значения логарифма, синуса, косинуса и других элементарных функций. Это было целое искусство — правильно пользоваться такими таблицами в паре с логарифмической линейкой.

<sup>61</sup> Были попытки давать в прогнозах погоды эту единицу атмосферного давления. Но потом от этого отказались. Говорят, что некоторые гипертоники не правильно понимали «гектопаскальный» прогноз, не принимали из-за этого неких профилактических средств, что приводило к печальным и даже летальным последствиям...

воспользовались — на рис. 1 и 2 давление газа было введено в атмосферах физических, а не в мегапаскалях, как этого может потребовать редактор. На рис. 8 можно видеть, что посетитель сайта, желающий узнать скорость звука в воде/водяном паре, имеет возможность ввести значение давления, используя на выбор разные единицы измерения: мегапаскаля, атмосферы, фут-силы на квадратный дюйм (psi) или мм ртутного столба (mm-Hg). Такой же выбор предоставляется при вводе температуры: шкала Цельсия<sup>62</sup>, кельвины, шкала Фаренгейта, градусы Ренкина или шкала Реомюра<sup>63</sup>.

## 6. Проблема эмпирических формул

А теперь поговорим о «правильных» эмпирических формулах.

Работа с одной из них отображена на рис. 13. В справочниках по теплотехнике можно, например, встретить такую формулу и ее описание:

«Коэффициент теплоотдачи ( $\alpha$ , ккал·м<sup>-2</sup>·ч<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>) высчитывается по формуле:

$$\alpha = 3 \cdot p^{0,15} \cdot q^{0,7},$$

где  $p$  — давление (атмосферы технические, кгс·см<sup>-2</sup>);  $q$  — тепловой поток (ккал·м<sup>-2</sup>·ч<sup>-1</sup>).»

Внешним признаком эмпирических формул часто являются дробные значения показателей степеней как в нашем случае. Из-за этого ввод в Mathcad-расчет выражения  $\alpha = 3 \cdot p^{0,15} \cdot q^{0,7}$  дает неправильный ответ с «непонятной»<sup>64</sup> единицей измерения — кг<sup>0,85</sup> · м<sup>-0,15</sup> · с<sup>-2,4</sup> (см. п. 1 на рис. 13). Эмпирическая формула, по которой ведется расчет коэффициента теплоотдачи, была получена после статистической обработки экспериментальных данных. При публикации эмпирических формул всегда четко отмечается, в каких единицах должны быть исходные величины и в каких единицах будет дан ответ. Этими единицами измерения необходимо *дополнить* эмпирическую формулу. На рис. 13 в пп. 2 и 3 так и было сделано: переменные формулы были поделены на приписанные им единицы измерения, сама формула была умножена на приписанную ей единицу измерения.

<sup>62</sup> Тут часто пишут «градусы Цельсия», но это ошибка, вернее, метрологическое умолчание. Дело в том, что градус Цельсия равен кельвину также как градус Фаренгейта — градусу Ренкина. Это шкала Цельсия сдвинута по отношению к шкале Кельвина на 273,15 градусов Цельсия (кельвинов), а шкала Фаренгейта сдвинута по отношению к шкале Ренкина на 459,67 градусов Фаренгейта / Ренкина (см. также ссылки 55 и 59). Фут, вернее, дюйм (1/12 фута) у нас остался под рукой в прямом смысле этого слова: размер листов писчей бумаги проще запомнить, если его измерять не в мм, а дюймах. Диаметр труб мы так и не научились измерять в мм и используем до сих пор дюймы.

<sup>63</sup> Тут научный редактор скажет, что Фаренгейта/Ренкина он так и быть в статье оставит, но «старорежимного» Реомюра он никак не потерпит. Но что нам тогда делать с такой цитатой «Послеобеденное солнце жгло с таким усердием, что даже Реомюр, висевший в кабинете акцизного, потерялся: дошел до 35,8° и в нерешимости остановился...» (А. П. Чехов, рассказ «Брожение умов»)? Современный читатель, читая классику, может ее не правильно понимать, если мы борьбу с устаревшими (не «сишными») единицами измерения доведем до «победного конца», т. е. до абсурда.

<sup>64</sup> Тут все понятно: компьютер — это такая штука: что в него положишь, то и получишь! В этом примере компьютер аккуратно возвел единицы измерения в дробные степени...

$$\begin{array}{l}
 \text{Давление } p := 12 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \text{Тепловой поток } q := 4562 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}} \\
 \text{Теплоотдача (1)} \\
 \alpha := 3 \cdot p^{0.15} \cdot q^{0.7} = 9886.465 \frac{\text{kg}^{0.85}}{\text{m}^{0.15} \cdot \text{s}^{2.4}} \\
 \text{Теплоотдача (2)} \\
 \alpha := 3 \cdot \left( \frac{p}{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^{0.15} \cdot \left( \frac{q}{\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}} \right)^{0.7} \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{K}} = 1586.38 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{K}} \\
 \text{Работа с современной системой измерений} \\
 \text{Давление } p := 12 \text{ МПа} \quad \text{Тепловой поток } q := 4560 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \\
 \text{Теплоотдача (3)} \\
 \alpha := 3 \cdot \left( \frac{p}{\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^{0.15} \cdot \left( \frac{q}{\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}} \right)^{0.7} \cdot \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{K}} = 295.95 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}
 \end{array}$$

Рисунок 13. Работа с эмпирической формулой в среде Mathcad

Отсюда вывод. Если в справочнике нужно поместить эмпирическую формулу и думать при этом о том, что ее будут «оживлять» с помощью физико-математических пакетов, то нужно не просто упомянуть в описании формулы, с какими единицами она должна работать, а непосредственно *вставить* эти единицы в саму формулу, как это показано на рис. 13. Обновлять такую формулу — пересчитывать для нее новый коэффициент, учитывающий современную систему измерений (а это пытаются делать в новых справочниках), нет необходимости. Более того, устаревшие и/или «иноземные» единицы измерения в эмпирических формулах несут некий дух времени их создания и колорит страны, где они возникали. Литературная аналогия. В беллетристике часто можно встретить единицы измерения. Иногда они «всплывают» даже в названиях рассказов, повестей, романов: «451° по Фаренгейту», «20 000 лье под водой» и т. д. Тут принято не переводить (фаренгейты в цельсии) и не обновлять (лье в километры) при переводе текстов, чтобы опять же не потерять «дух времени и места» описываемых событий.

## 7. Проблема «математические операторы и операторы математических программ»

Мы в конце раздела 2 коснулись проблемы различного написания математических операторов в справочниках и в средах математических программ.

Одна из причин популярности Mathcad заключается в том, что пользователь может вставлять в документы математические операторы в тех их написаниях, к каким он привык, изучая математику в школе или вузе. Благодаря этому Mathcad-

документ максимально похож на лист с математическими выкладками, написанными от руки или созданными в среде какого-либо текстового процессора — редактора математических выражений<sup>65</sup>.

С другой стороны, наш стиль написания математических выражений «на бумаге» («общепринятая математическая нотация») тоже меняется под воздействием математических пакетов. Некоторые, правда, видят в этом просто снижение общего уровня математической культуры. Другие же считают, что это связано с неизбежным процессом «компьютеризации» математики. Так в настоящее время квадрат синуса все чаще и чаще стали записывать не как  $\sin^2 x$ , а как  $\sin(x)^2$  или  $(\sin x)^2$  или  $(\sin(x))^2$  или  $(\sin(x))^*2$  или  $(\sin(x))^{\wedge}2$  или  $(\sin(x))^{**}2$ , не полагаясь на принцип умолчания. Другой пример. На рис. 6 можно увидеть формулу  $Q = \rho \cdot e^{(\dots)}$ , где константа  $e$  (основание натурального логарифма) возводится в степень, представляющую собой некий многочлен. Чтобы здесь не возникло ошибки и разночтений, оператор возведения в степень лучше заменить на функцию  $\exp$ :  $Q = \rho \cdot \exp(\dots)$ . И таких примеров влияния компьютера на эволюцию написания математических выражений (наших с вами формул) можно привести множество:  $10^x$  заменяют на  $\text{ext}(x)$ ,  $|x|$  — на  $\text{abs}(x)$  и т. д., и т. п. С другой стороны, выражения  $\exp(\dots)$ ,  $\text{ext}(\dots)$ ,  $\text{abs}(\dots)$  и т. д. могут восприниматься не как функции  $\exp$ ,  $\text{ext}$ ,  $\text{abs}$  и т. д., а как переменные  $\exp$ ,  $\text{ext}$ ,  $\text{abs}$  и т. д., перемноженные на выражение, заключенное в скобки. Поэтому то во всех формулах данной статьи знак деления прописан явно точкой, а не пробелом или даже отсутствием пробела.

Особо следует коснуться математического символа  $=$  (равно), присутствующего почти во всех формулах справочников. В математических пакетах этот символ разбивается на несколько самостоятельных, имеющих собственное написание и значение.

Во-первых, если говорить о пакете Mathcad, то, например, такая простая запись, как  $p = 12$  МПа может иметь два толкования. Во-первых, эта запись означает, что переменной  $p$  присваивается численное значение давления в 12 мегапаскалей. В среде Mathcad эта операция выглядит так  $p := 12$  МПа (см. третью строку рис. 12). Во-вторых, выражение  $p = 12$  МПа может означать (а в среде Mathcad и означает), что тут выводится на дисплей численное значение переменной  $p$ , рассчитанное ранее<sup>66</sup> (вывод «на печать» результата расчета). Символ « $\Rightarrow$ » может иметь и третье значение — означать инфиксный булев оператор «равно», разделяющий левую и правую части различных *уравнений*. Например, знаменитую формулу  $F = a \cdot t$

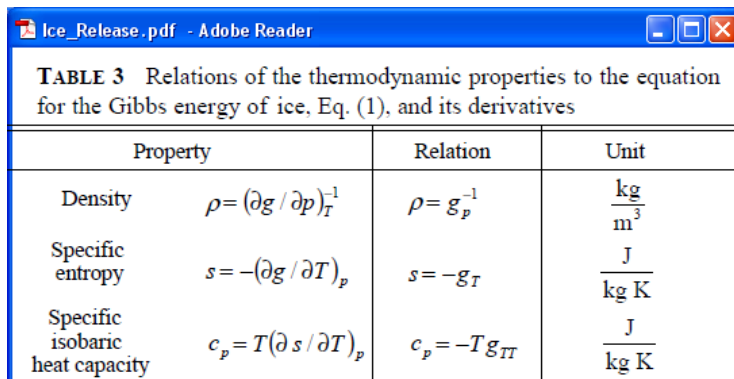
<sup>65</sup> В среде Windows 7 появился инструмент под названием Math Input Panel, который может объединить понятия «ручной» и «компьютерный» ввод формул. С помощью Math Input Panel можно вводить формулы «вручную», водя мышкой по столу или карандашом по специальной панели. При этом ведется распознавание введенных символов формул. Так, кстати, можно вводить тексты в «карманные» компьютеры с тактильными экранами. На сайте [www.smath.info](http://www.smath.info) развивается проект, в чем-то дублирующий Mathcad, позволяющий вводить и интерактивно работать с формулами.

<sup>66</sup> В этом случае «европейский» Mathcad выводит значение в базовых единицах давления, в паскалях, если иметь ввиду наш случай, но пользователь может поменять эту единицу на более для него приемлемую, мегапаскали или атмосферы.



(второй закон Ньютона) можно, во-первых, считать выражением, по которому рассчитывается значение силы ( $F := a \cdot m$ ) при известных значениях ускорения ( $a$ ) и массы ( $m$ ), а во-вторых, можно считать уравнением  $F = a \cdot m$ <sup>67</sup>, в котором численно или аналитически можно определить значение одной переменной ( $F$ ,  $a$ , или  $m$ ), если известны значения двух других. Отсюда вывод: если в справочниках отображается некий реальный расчет, то с символом « $\Leftarrow$ » нужно обходиться весьма деликатно — воспринимать его в разных случаях по-разному: символ присваивания, символ «вывод на печать» или символ «булево равно».

Математические пакеты требуют реформирования написания и некоторых других символов математики, принятых в тех или иных научных дисциплинах, сведения по возможности этих символов к одному «компьютерному» написанию. Поясним этот тезис конкретным примером, связанным также с теплотехникой — с формуляцией по теплофизическим свойствам льда.



**TABLE 3** Relations of the thermodynamic properties to the equation for the Gibbs energy of ice, Eq. (1), and its derivatives

Property	Relation	Unit
Density	$\rho = (\partial g / \partial p)_T^{-1}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Specific entropy	$s = -(\partial g / \partial T)_p$	$\frac{\text{J}}{\text{kg K}}$
Specific isobaric heat capacity	$c_p = T(\partial s / \partial T)_p$	$\frac{\text{J}}{\text{kg K}}$

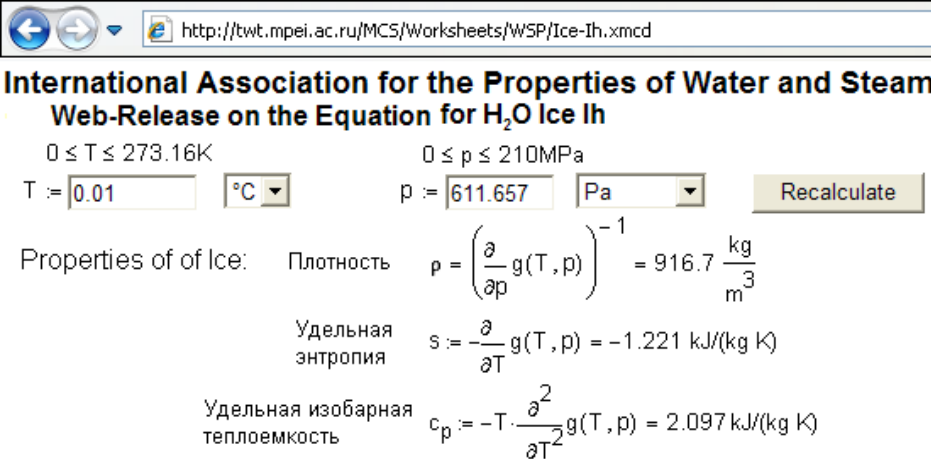
Рисунок 14. Фрагмент формуляции по теплофизическим свойствам льда

На рис. 14 показан фрагмент формуляции в виде PDF-файла по теплофизическим свойствам льда. В данной формуляции предписывается, как по значению удельной свободной энергии Гиббса (функция двух аргументов: давление и температура) через взятие частных производных по давлению или температуре можно рассчитать следующие параметры льда: плотность ( $\rho$ ), удельную энтропию ( $s$ ) и удельную изобарную теплоемкость ( $c_p$ ). При этом используется особая *нотация* частной производной, принятая в термодинамике более века назад. Эта нотация довольно путанная: в одном случае (см. на рис. 14 столбец Property — свойство) нижний индекс означает, что частная производная берется именно по переменной, указанной в индексе, а в другом (столбец Relation — соотношение), что эта переменная наоборот является константой. В других научных дисциплинах, да и в самой термодинамике можно встретить и другие нотации оператора взятия производ-

<sup>67</sup> В среде Mathcad «нежирное» равно — это оператор вывода численного значения, а «жирное» равно — это булев оператор «равно».

ных. Чтение таких выражений осложняется и тем, что у функции при взятии их производных не перечисляются аргументы: записано просто  $g$ , а не  $g(T, p)$ . Это можно отметить и в отношении других математических операций и функций<sup>68</sup>. В этом разное кроется причина многочисленных ошибок не только у студентов, изучающих термодинамику, но даже и у опытных специалистов.

Математические пакеты, как мы уже отметили, не могут «терпеть» таких умолчаний и разночтений. Но правильнее сказать так. Математические пакеты при всей своей гибкости и «настраиваемости»<sup>69</sup> не могут учесть всех нюансов и различий в написании одного и того же математического оператора в разных научных дисциплинах. Поэтому пользователям приходится подстраиваться под возможности математических пакетов. На рис. 15 представлен открытый, интерактивный, сетевой вариант формуляции по свойствам льда, где использована нотация производной, встроенная в Mathcad и понятная всем пользователям.



International Association for the Properties of Water and Steam  
Web-Release on the Equation for H<sub>2</sub>O Ice Ih

$0 \leq T \leq 273.16\text{K}$        $0 \leq p \leq 210\text{MPa}$

T := 0.01 °C      p := 611.657 Pa      Recalculate

Properties of of Ice:      Плотность       $\rho = \left( \frac{\partial}{\partial p} g(T, p) \right)^{-1} = 916.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Удельная энтропия       $s := -\frac{\partial}{\partial T} g(T, p) = -1.221 \text{ kJ}/(\text{kg K})$

Удельная изобарная теплоемкость       $c_p := -T \cdot \frac{\partial^2}{\partial T^2} g(T, p) = 2.097 \text{ kJ}/(\text{kg K})$

Рисунок 15. Интернет-формуляция по теплофизическим свойствам льда

Как видно из рис. 15, Mathcad имеет четко установленный символ взятия частных производных, не требующий указания констант. Такой стиль написания математических операторов может и должен перейти не только в формуляции, но и в современные учебники и справочники.

## Резюме

<sup>68</sup> Классический пример. В математике и во многих прикладных дисциплинах мнимая единица прописывается как  $i$  (imaginary). Но в электротехнике за этой константой закрепили букву  $j$ , т. к. буква  $i$  в этой научной дисциплине еще раньше была «приписана» к силе тока. Из-за этого математик (или определенный математический пакет) и электротехник могут в ряде случаев «не находить общего языка».

<sup>69</sup> В среде Mathcad можно, например, выбрать, с каким символом  $i$  или  $j$  нужно работать.

В настоящее время автор статьи развивает свой расчетный сервер ([www.trie.ru](http://www.trie.ru)) и активно сотрудничает с электронным издательством Elsevier/Кnovel (<http://tools.knovel.com/ie/Help/contributors.htm>) в плане создания открытых интерактивных сетевых расчетов, поддерживающих научно-технические справочники. В частности, создается так называемая библиотека уравнений, включающая в себя «живые» расчеты по различным отраслям знаний со ссылками на них из соответствующих справочников.

## Литература<sup>70</sup>

- [1] Александров А. А., Орлов К. А., Очков В. Ф. Теплофизические свойства рабочих тел теплоэнергетики. — М. : Изд. дом МЭИ, 2009.
- [2] Кондакова Г. Ю., Копылов А. С., Орлов К. А., Очков А. В., Очков В. Ф., Чудова Ю.В. Интернет-версия справочника Теплоэнергетика и теплотехника. Инструментальные средства создания и развития: справочное издание. — М. : Издательский дом МЭИ, 2007.
- [3] Очков В. Ф. Mathcad 14 для студентов и инженеров: русская версия. — СПб. : БХВ-Петербург, 2009.
- [4] Alexandrov A. A., Ochkov V. F., Orlov K. A. Steam Tables and Diagrams on Mathcad Calculation Server for Personal Computers, Pocket Computers and Smart Phones // Proceedings of the 15th International Conference of the Property of Water and Steam, Berlin/Germany, September 7–11, 2008.
- [5] Очков В. Ф., Яньков Г. Г. Математические пакеты и проблема передачи знаний // Вестник РФФИ. 2008. № 4 (60).
- [6] Очков В. Ф. Теплотехнический справочник в Интернете // Новое в российской электроэнергетике. 2005. № 5. С. 48–54.
- [7] Очков В. Ф. Математические пакеты и сетевой интерактивный теплотехнический справочник: проблемы и решения // Теплоэнергетика. 2006. № 6. С. 71–77.

### Автор:

Очков Валерий Федорович, доктор технических наук, профессор, первый заместитель заведующего кафедрой технологии воды и топлива НИУ «Московский энергетический институт»

---

<sup>70</sup> Публикации автора открыты на сайте <http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/work1.htm>

## Formula in Scientific and Technical Publications: Problems and Solutions

V. F. Ochkov

National Research University Moscow Power Engineering Institute  
14, Krasnokazarmennay street, Moscow, 111250  
e-mail: ochkov@twm.mpei.ac.ru

*Abstract.* The author and his colleagues are ready to publish a handbook on thermophysical properties of coolants and working bodies of Energy, which is supported sites <http://twm.mpei.ac.ru/rbtpp> with network, interactive, open calculations. The directory contains, in particular, the site description. In preparing this part of the manuscript and debugging site became necessary to combine in a single text the conventional mathematical notation, and special forms of writing mathematical expressions in mathematical computer programs. Here the author wants to tell us about the problems and possible solutions.

*Keywords:* c mathematical expressions calculation programs.

### Reference

- [1] Aleksandrov A. A., Orlov K. A., Ochkov V. F. (2009) *Teplofizicheskie svojstva rabochih tel teplojenergetiki*. Moscow, Izd. dom MEI. (In rus.)
- [2] Kondakova G. Ju., Kopylov A. S., Orlov K. A., Ochkov A. V., Ochkov V. F., Chudova J. V. (2007) *Internet-versija spravochnika Teplojenergetika i teplotehnika. Instrumental'nye sredstva sozdaniya i razvitiya: Spravochnoe izdanie*. Moscow: Izd. dom MEI. (In rus.)
- [3] Ochkov V. F. (2009) *Mathcad 14 dlja studentov i inzhenerov: russkaja versija*. S.-Pb.: BHV-Peterburg. (In rus.)
- [4] Alexandrov A. A., Ochkov V. F., Orlov K. A. (2008) Steam Tables and Diagrams on Mathcad Calculation Server for Personal Computers, Pocket Computers and Smart Phones. *Proceedings of the 15th International Conference of the Property of Water and Steam*. Berlin, Germany.
- [5] Ochkov V. F., Yankov G. G. (2008) Matematicheskie pakety i problema peredachi znaniy. *Vestnik RFFI*, 60. (In rus.)
- [6] Ochkov V. F. (2005) Teplotehnicheskij spravochnik v Internetе. *Novoe v rossijskoj jelektrojenergetike*, 5, 48–54. (In rus.)
- [7] Ochkov V. F. (2006) Matematicheskie pakety i setевой interaktivnyj teplotehnicheskij spravochnik: problemy i reshenija. *Teplojenergetika*, 6, 71–77. (In rus.)

## Построение стратегии выхода на рынок фримиум-продукта на основе показателей виральности и ретеншна

*И. В. Осипов*

*“i2istudy” SIA,  
Krišjāņa Barona Iela, 130 k-10, Rīga, LV-1012, Latvija  
e-mail: ilya@osipov.ru*

*Аннотация.* В настоящее время все больше продуктов, как то мобильные приложения, SaaS-решения, software, web-приложения переходят на экономическую модель фримиум. Эта модель имеет множество особенностей. В статье исследована статистика поведения пользователей на примере образовательной коллаборационной платформы, рассматриваются взаимосвязи между ключевыми параметрами этой модели: показателями виральности, ретеншна, монетизации, а также особенностями их расчета. Предложен новый целевой параметр F-Growth, позволяющий в сумме оценить «зрелость» интернет-проекта модели фримиум, с целью получения внешних инвестиций и вывода на международный рынок.

*Ключевые слова.* K-Factor, F-Growth, виральность, ретеншн, удержание, монетизация, сети, эдьютеймент, облачные технологии, фримиум, f2p.

### 1. Введение

Популярность экономической модели фримиум поражает, все больше информационных продуктов переходят на эту модель: мобильные приложения, SaaS-решения, software, web-приложения, игры [1].

Однако модель не так проста, как может показаться. Проведены исследования статистики поведения пользователей на примере платформы, предназначенной для взаимного образования, которая доступна для использования всем желающим условно бесплатно, по фриميمум-модели [3].

Платформа представляет собой сайт для тренинга иностранных языков между пользователями разных стран. Основная идея в том, что, несмотря на грамматическую подготовку студентов, учащимся часто не хватает общения с носителями языка для отработки коммуникативных навыков на изучаемом языке [4].

Найти носителя языка непросто, и зачастую приходится платить ему деньги как репетитору за право вести диалог. Замечено на примере студентов, обучающихся испанскому языку, что для овладения навыками свободного общения обычно не нужен профессиональный преподаватель, а требуется партнер, готовый помогать по заранее подготовленным материалам — просто носитель испанского языка. Носители же испанского, часто с удовольствием готовы изучать английский в обмен на помощь в изучении испанского. Для того, чтобы учитывать, сколько каждый

пользователь преподает родной язык и учит иностранный, была использована идея Time Banking [6–7].

Совместив ставшие доступными технологии прямого аудио и видео общения между пользователями, добавив материалы уроков, разбитые на элементарные шаги и понятные непрофессиональным преподавателям, добавив учет времени преподавания и изучения, а также систему онлайн-подбора партнера для изучения, была создана платформа, названная i2istudy, на базе которой проведена серия экспериментов и замеров [2]. Платформа полностью основана на облачном решении, функционирует таким образом, что основные нагрузки и взаимодействие между пользователями происходят напрямую на базе технологии р2р, а основное облако подвергается относительно низким нагрузкам [16].

Модель бизнеса, основанная на принципах Фримиум (комбинация слов Free и Premium), предполагает максимальное распространение продукта на своем рынке, захват и удержание как можно большего числа пользователей. Часть из них (для разных продуктов от 3% до 10%) воспользуется платными функциями, что позволяют создателям не только оплачивать содержание всей системы, включая бесплатную ее часть, но и получать прибыль [8].

Рассмотрим основные функции Фримиум продукта, направленного на массового потребителя:

- *головная (базовая) функция* ради которой приходит пользователь, в нашем случае — это практикум иностранного языка;
- *ретеншн (удержание)* пользователей, включая возвращение пользователей;
- *монетизация* пользователей;
- *привлечение пользователей и стимулирование виральности* — привлечение существующими пользователями новых.

Рассмотрим обычный цикл работы фримиум-приложения.

1. *Базовый цикл* — основной цикл приложения, «core цикл», базовая функция, ради которой пользователи решают воспользоваться приложением, в нашем случае — это изучение иностранного языка с партнером — носителем языка.

2. *Цикл монетизации* — дополнительный цикл, в который вовлекаются наиболее азартные и вовлеченные в процесс пользователи. Цикл, меньший по размеру, так как в нем заведомо участвуют не все пользователи, что является особенностью фримиум-модели бизнеса.

3. *Ретеншн цикл* — цикл ухода пользователей из системы с последующим их возвратом в систему. Для их успешного возврата и удержания применяется целый комплекс воздействий, начиная от уведомлений посредством электронной почты, сообщений внутри социальных сетей и прочих коммуникационных каналов с напоминаниями о происходящих в их отсутствие событиях, а также геймификацией.

4. *Цикл виральности* — цикл приглашения существующими пользователями новых пользователей из внешней среды (электронная почта, социальные сети, бло-

ги, форумы, персональные сайты, приложения, и прочее каналы коммуникаций), включая аккомодацию новых пользователей.

Заметим, что основные циклы приложения: базовый, виральный, ретеншн и цикл монетизации являются частично антагонистами и борются за внимание пользователя и его ограниченное время, которого всегда не хватает.

Разработчики системы должны отдавать себе отчет, какие циклы являются приоритетными.

При создании Фримиум-продуктов существует, как правило, два бизнес-подхода.

1. Покупка и прочее платное привлечение пользователей (трафика). Монетизация части трафика путем продажи дополнительных платных функций. Привлечение новых пользователей осуществляется за счет заработанных денег. Ключевой фактор при данном подходе — деньги. Необходимо иметь успешную модель монетизации, вовлекать существенный процент пользователей в платные механики, поддерживать баланс. Доходы от существующих пользователей минус расходы на привлечение пользователей. Причем расходы на привлечение новых пользователей могут быть существенными, и есть риск не покрыть их доходами от монетизации. Плюсы подхода: быстро начинают зарабатывать первые деньги, К-фактор виральности может быть низкий (о нем ниже).

2. Вовлечение пользователей в продвижение продукта: виральность. Необходимо добиться, чтобы коэффициент виральности (К-Фактор) был существенным, что для ряда продуктов непросто и даже недостижимо. Объем пользователей при данном подходе растет в геометрической прогрессии, пока не достигает насыщения [5, 18].

Реальный продукт может содержать в себе черты как первого (упор на монетизацию), там и второго подходов (упор на виральное расширение пользовательской базы). Однако, учитывая ограниченность ресурса внимания пользователя, один из подходов должен быть доминирующим.

## 2. Виральный рост пользовательской базы

Рассмотрим подробнее подход номер 2, который называем фримиум с упором на виральность:

David Skok — успешный венчурный капиталист, высказывает в своей статье *The Power of Free* (<http://www.forentrepreneurs.com/business-models/power-of-free/>) *The Entrepreneurs Skok, David* (Декабрь 2009) важные моменты про фримиум-продукты, ориентированные на виральный рост:

“..in a typical business the single biggest expense is sales and marketing, and recognize that offering a free product/service is an extremely smart way to acquire customers at a low cost that can then be monetized in a different way.” “Another powerful effect of using the free strategy is that it usually results in a far larger customer base using the free products, who become proponents for your company. This expanded footprint or market share can have a huge effect on the price that acquirers or investors are willing to pay for

your company, as they recognize that even though these customers have yet to be monetized, they represent a great potential for future monetization. Twitter and Facebook are two perfect examples of this.”

“Another way of looking at the importance of footprint or marketshare is to recognize the importance of market leadership. In the tech industry, market leadership is usually self-reinforcing unless the company does stupid things to annoy its customers. Even if you have gained market leadership by giving away a product/service for free, the financial markets and acquirers realize that market leadership is worth a significant premium over niche players that may have more revenue.”

Однако стратегия, связанная с виральным привлечением пользователей, не может применяться бесконечно.

Автор Freemium Economics [1] приводит график насыщения рынка (см. рис. 1).

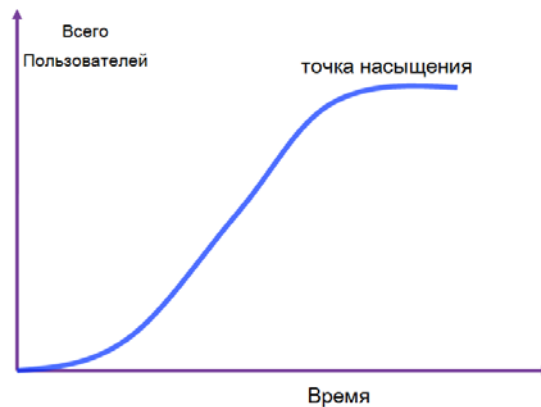


Рисунок 1. График насыщения рынка для фримиум-продукта [1]

И все усилия, вложенные в механики виральности, не будут приносить плодов, когда рыночная ниша будет уже выбрана, и все потенциальные пользователи либо пользуются продуктом, либо знают о нем, но предпочитают не использовать. Очевидно, что это лучший момент, чтобы переориентировать продукт и переключить внимание пользователей на монетизацию — то, про что мы говорили в стратегии номер 1.

*Способы реализации виральности (приглашения).*

Виральный маркетинг требует наличия несколько составляющих: отправитель, сообщение и среда для распространения, включающая в себя получателей и контекст, в которой происходит контакт с сообщением.

Существует два основных доступных пользователю способа пригласить новых пользователей.

1. Открытые рекомендации — это виральный механизм, где пользователь размещает рекомендацию в социальной сети, блоге, на персональной странице и т. д. с приглашением, адресованным к неопределенному множеству лиц.



2. Прямые персональные приглашения инициируются существующими пользователями для отправки их получателям, не являющимися пользователями, с применением средств коммуникации, имеющих адресную доставку: электронная почта, личное сообщение в социальной сети, SMS, и прочее.

Для открытых рекомендаций сложно считать статистику эффективности. Авторы в своей системе учитывают ее упрощенно (например, рассчитывается, сколько всего приглашено пользователей этим методом, и сколько человек удалось мотивировать пользоваться таким методом приглашения), тем не менее, высчитывается, сколько всего размещено пользователями открытых приглашений (посредством встроенных инструментов) и сколько всего приглашено новых пользователей (в том числе через открытые приглашения, сделанные пользователем без помощи нашей системы).

В табл. 1 и на рис. 2 показано, сколько всего публикуется ссылок (открытые приглашения), сколько пользователей участвуют в публикации ссылок и сколько приглашено новых пользователей через открытые (опубликованные ссылки). Используются недельные интервалы. Статистика учитывает только встроенный механизм публикации (все данные и замеры приведены для нашего проекта i2istudy).

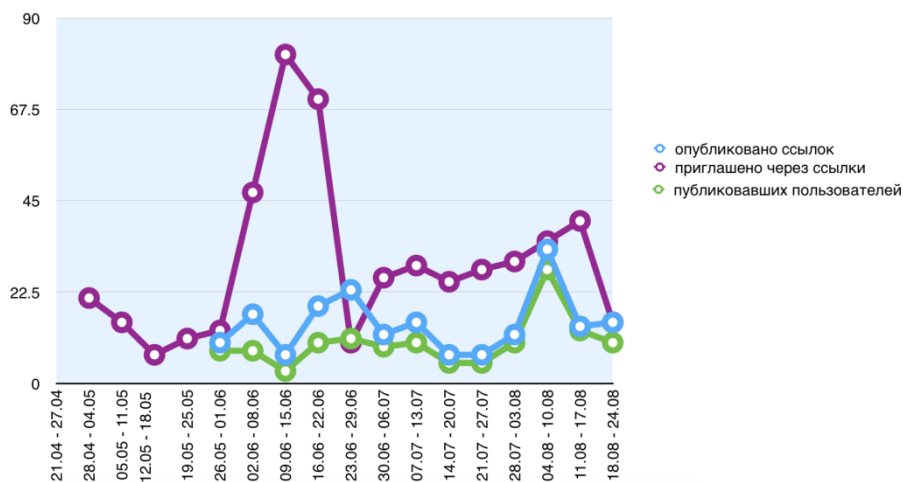


Рисунок 2. Динамика открытых приглашений

Таблица 1. Открытые приглашения

Неделя	21.04 - 27.04	28.04 - 04.05	05.05 - 11.05	12.05 - 18.05	19.05 - 25.05	26.05 - 01.06	02.06 - 08.06	09.06 - 15.06	16.06 - 22.06	23.06 - 29.06	30.06 - 06.07	07.07 - 13.07	14.07 - 20.07	21.07 - 27.07	28.07 - 03.08	04.08 - 10.08	11.08 - 17.08	18.08 - 24.08
опубликовано ссылок						10	17	7	19	23	12	15	7	7	12	33	14	15
публиковавших пользователей						8	8	3	10	11	9	10	5	5	10	28	13	10
приглашено через ссылки		21	15	7	11	13	47	81	70	26	29	25	28	30	35	40	15	

Персональные прямые приглашения позволяют учитывать все параметры в деталях, и измерить все шаги вирусного цикла: сколько пользователей делают персональные приглашения, сколько приглашений приходится на пользователя, сколько приглашений достигают адресата, сколько адресатов приходят на сервис, и сколько регистрируются на нем и вовлекаются в процесс.

В табл. 2 и на рис. 3 показано: всего отправленных персональных приглашений, число пользователей оправившие такие приглашения, и сколько пользователей приглашено персональными (прямыми) приглашениями.

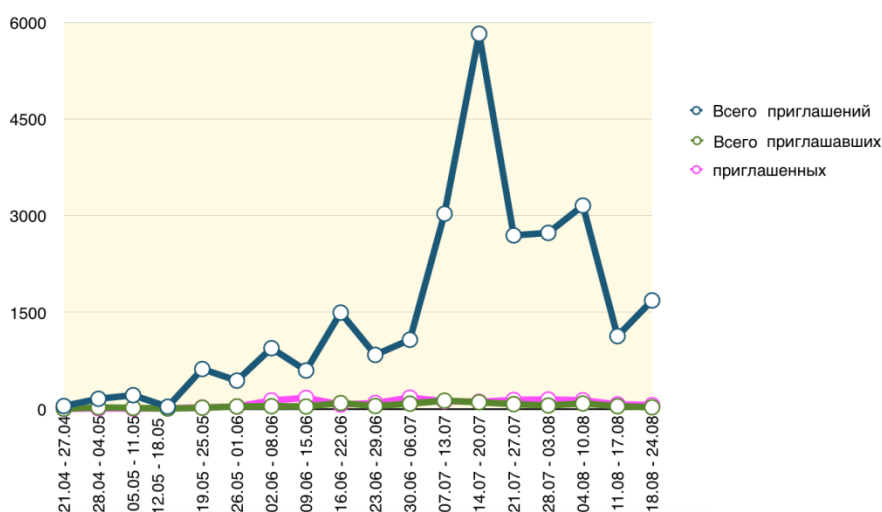


Рисунок 3. Динамика персональных приглашений

Таблица 2. Персональные приглашения

неделя	21.04 — 27.04	28.04 — 04.05	05.05 — 11.05	12.05 — 18.05	19.05 — 25.05	26.05 — 01.06	02.06 — 08.06	09.06 — 15.06	16.06 — 22.06	23.06 — 29.06	30.06 — 06.07	07.07 — 13.07	14.07 — 20.07	21.07 — 27.07	28.07 — 03.08	04.08 — 10.08	11.08 — 17.08	18.08 — 24.08
Всего приглашений	44	156	212	32	618	438	942	595	1494	838	1073	3029	5823	2693	2732	3156	1129	1683
всего приглашавших	2	22	14	4	17	37	41	36	90	44	80	127	103	73	52	83	40	24
приглашенных	1	7	5	9	21	35	131	170	66	90	174	119	110	138	145	132	69	58

*Виральный Цикл.* Определимся с обозначениями параметров и метрик. Под пользователями здесь и далее подразумеваем зарегистрированных и авторизованных посетителей сервиса.

Введем обозначения:

- daily users ( $dU$ );
- daily new users ( $dNU$ );

- daily active users ( $dAU$ ) (пользователи, находившиеся на сайте не менее 5 минут);
- общее число пользователей ( $U$ );
- общее число приглашенных пользователей ( $IU$ );
- сколько пользователей отправляющих приглашения в день (вовлеченные в виральность), Daily Spreading Users ( $DSU$ );
- общее число приглашений в день ( $di$ );
- среднее число приглашений на приглашающего, Average Invitation Per Spreading Users ( $AiPSU$ ); то же самое, в день ( $AiPdSU$ );
- среднее число приглашений на пользователя ( $AiPU$ );
- приглашенных в день, Daily Invited Users ( $dIU$ );
- отношение числа принявших приглашение к числу отправленных приглашений (процент конверсии) ( $IPi$ );
- К-Factor — Концептуально это сколько пользователей в продукт приглашает каждый пользователь в среднем “ *the k-factor...average number of additional users introduced to the product by each user.*”: *Freemium Economics, Ch. 7, p. 170*) [1, 15].

Для практических целей рассчитываем К-фактор — как соотношение между приглашенными виральными методами пользователями в условном периоде ко всем активным пользователям в этом периоде [10]. Теоретически мы должны были бы использовать предыдущий период, установив его равным длительности вирального цикла. Но длину вирального цикла трудно установить, и в нашей системе сроки реакции на приглашения очень короткие, поэтому в типичном случае отправка приглашения и принятие его попадает в один день. Базой для расчета могут быть новые пользователи ( $dNU$ ), все пользователи периода ( $dU$ ) или только активные пользователи периода ( $dAU$ ). В качестве базы использованы данные об активных пользователях (не учитываются случайные/незаинтересованные пользователи и проводящие очень мало времени), так как они дают наиболее точные результаты.

В некоторых источниках для практических целей используют в качестве базы только данные новых пользователей ( $dNU$ ), сравнивая всех пользователей, привлеченных вирально, со всеми видами новых пользователей. Автор настоящей статьи считает это не совсем корректным подходом, так как все активные пользователи вносят свой вклад в виральность, а не только новички

Введем локальный К-фактор как отношение:

$$\text{локальный К-Factor} = dIU/dAU.$$

Термин К- фактор заимствован из эпидемиологии: in which a virus having a k-factor of 1 is in a «steady» state of neither growth nor decline, while a k-factor greater than 1 indicates exponential growth and a k-factor less than 1 indicates exponential decline [12].

К-Фактор (часто обозначается в литературе так же, как *коэффициент виральности* «Viral Coefficient») может быть рассчитан, как число приглашений, отправленных каждым пользователем, умноженное на процент конверсии каждого при-

глашения в пользователи [13]. Например, среднее количество приглашений равно 5, а процент конверсии приглашений в пользователи — 20%, тогда  $K\text{-Factor} = 5 \times 0,2 = 1$ . К-фактор без учета периода, т. е. усредненный за все время работы системы, зачастую называют *глобальным К-фактором*, который рассчитывается по формуле:

$$\text{глобальный К-Factor} = AiPU \times IPi.$$

Здесь приглашенные пользователи к числу приглашений:

$$IPi = IU/i,$$

среднее число приглашений на пользователя,

$$AiPU = i / U,$$

где  $i$  — общее число приглашений,  $U$  — общее число пользователей.

Динамика К-фактора отражает изменение настроений пользователей и как они реагируют на появление, активацию или деактивацию тех или иных виральных механик, вовлекающих их в деятельность по приглашению новых пользователей, и насколько эти механики хорошо воспринимаются.

Таким образом, для практических целей оперируют локальным К-фактором, рассчитываемым ежедневно (рис. 4). Автор статьи называет его  $dK\text{-Factor}_A$  (Daily К-Factor на базе  $dAU$  — активной аудитории), который считает важным параметром цикла виральности и на который ориентируется при построении виральных механик.

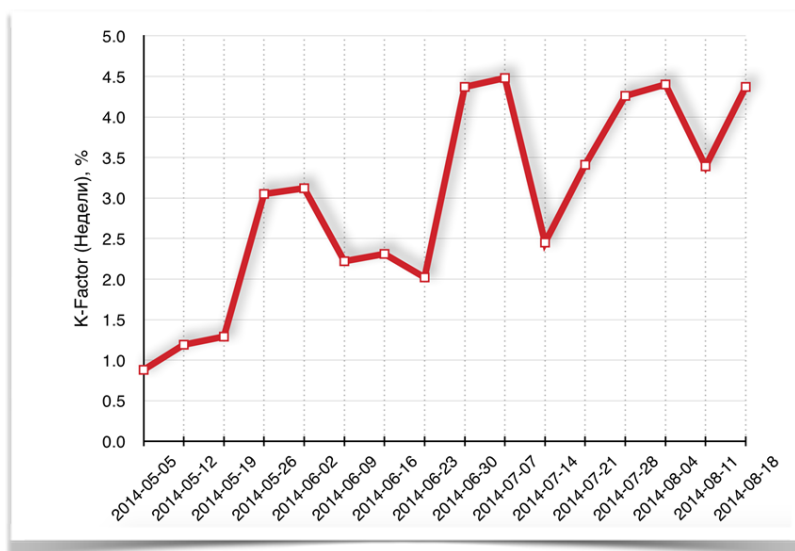


Рисунок 4. Динамика К-фактора проекта i2istudy

Важно понимать, что если К-фактор меньше единицы (например, 50%) то при отсутствии ретеншна (когда лояльность существующих пользователей равна нулю),

рост системы затухает. В лучшем случае такой механизм виральности частично компенсируют потерю пользователей в результате нормального снижения лояльности в ретеншн-цикле. Такой К-фактор увеличивает эффективность платного привлечения пользователей. Например, куплено 100 платных пользователей, они участвуют в механике виральности и приглашают дополнительные 50, что снижает усредненную цену привлечения и экономит бюджет.

Если же К-фактор больше 1 (допустим, он 200%), то это приведет к геометрическому росту пользовательской базы. Например, купленные 100 пользователей привлекают 200, и если К-фактор останется прежним, то новые пользователи привлекут уже 400 пользователей и т. д. Виральность работает до тех пор, пока вся потенциальная масса пользователей не достигнет насыщения в своей социальной матрице и заданном рынке.

### 3. Взаимосвязь виральности, ретеншна и монетизации

Безусловно все три параметра: виральность, ретеншн и монетизация находятся в взаимосвязи. Пользователи с высокой лояльностью продукту чаще принимают участие в механиках виральности и вовлечены в монетизацию [14].

Несмотря на борьбу за внимание пользователя, эти механизмы могут подстегивать друг друга, а всевозможные приемы, такие как геймификация, которая обычно рассматривается в литературе как часть ретеншна, могут быть поставлены на службу и монетизации и виральности.

Монетизация, как ни странно, тоже может подстегивать Виральность и Ретеншн, так, например, возможности, доступные за деньги, могут быть альтернативно заработаны участием в программах виральности и геймификации. И цена этих возможностей, выраженная в весомых долларах, мотивирует, наглядно демонстрирует их ценность. Например, пользователь, видя стоимость приобретения новой возможности за деньги — выраженную в реальных деньгах может быть легче замотивирован ее заработать, выполняя определенные действия, например, приглашая друзей.

Очень важно, чтобы опыт от использования основной базовой функции продукта вызывал восхищение, тогда механики виральности и ретеншна (удержания) пользователей вступают в свою игру. Если они несбалансированы, например, виральность прекрасная, а удержание слабое, то рост пользовательской базы, вызванный удачной виральностью, будет компенсирован потерями этой же базы из-за нелояльности пользователей. Обратная ситуация: слабая виральность при отличном ретеншне приведет к стагнации продукта, его пользовательской базы и проигрышу конкурентам в конечном итоге.

Предлагаемый автором параметр: Коэффициент собственного роста аудитории продукта (F-growth) может быть выражен как сумма Коэффициента виральности (K-Factor) и Коэффициента ретеншна (K-Retention):

$$F\text{-Growth} = K\text{-Factor} + K\text{-Retention}.$$

Это главная формула роста фримиум-продукта, основанного на виральном продвижении. Понятно, что здесь не учитываются альтернативные методы привлечения аудитории, такие как купленная аудитория (paid-users), органическая аудитория (organic-users, пришедшая через поисковые машины, сарафанное радио или благодаря известности бренда).

K-Retention всегда меньше единицы на длинных промежутках времени, так как не существует продуктов, удерживающих свою аудиторию на все 100% всегда:

$$\text{Локальный K-Retention} = (dU - dNU) / dU_{-1},$$

где  $dU$  — дневная аудитория в заданный день;  $dU_{-1}$  — дневная аудитория днем раньше;  $dNU$  — новые пользователи за этот период.

Для расчетов удобно использовать только активную аудиторию, при этом учитываются только те новые пользователи, что стали активными, а не вообще все зарегистрированные. Аналогичная ситуация с приглашенными новыми пользователями, среди которых тоже учитываются только активные:

$$\text{Локальный K-Retention}_A = (dAU - dNU) / dAU_{-1}.$$

Коэффициент собственного роста можно представить как:

$$\text{F-Growth} = (dAU - dNU + dIU) / dAU_{-1},$$

т. е. это соотношение аудитории следующего периода без учета новых пользователей, но с учетом приглашенных виральными методами, к объему аудитории предыдущего периода.

Если  $dNU$  и  $dIU$  равны, т. е. все новые пользователи привлекаются исключительно виральными методами (платного и органического трафика — нет), то в таком случае  $\text{F-Growth} = dAU / dAU_{-1}$ .

В табл. 3 приведены данные и расчеты параметров для продукта i2istudy.

Таблица 3. Значения параметров для i2istudy

неделя	21.04 27.04	28.04 04.05	05.05 11.05	12.05 18.05	19.05 25.05	26.05 01.06	02.06 08.06	09.06 15.06	16.06 22.06	23.06 29.06	30.06 06.07	07.07 13.07	14.07 20.07	21.07 27.07	28.07 03.08	04.08 10.08	11.08 17.08	18.08 24.08
Активных пользователей (dAU)			297	801	867	979	1080	1213	1827	2126	1763	2624	2572	1924	1716	1810	1576	947
Новых активных п. (dNU)			239	575	572	643	695	776	1358	1464	1140	1881	1643	1129	998	1066	824	358
Приглашенных активных п. (dIU)			5	9	10	32	54	81	85	41	73	68	52	65	77	78	52	42
K-Factor, %			1	1	1	3	3	2	2	2	4	4	2	3	4	4	3	4
K-Retention, %				76	37	39	39	40	39	36	29	42	35	31	37	43	42	37
F-Growth, %				77	38	42	42	42	41	38	33	46	37	34	41	47	45	41

Если коэффициент роста (F-Growth) меньше единицы, то продукт не может расти и теряет пользователей со всеми вытекающими последствиями для продукта и его команды. Если же удастся добиться коэффициента роста более единицы, про-

дукт начинает расти экспоненциально. Это безусловная цель для команды, развивающей продукт. И это необходимо для достижения капитализации проекта, превосходящей инвестиции в покупку пользовательской базы.

Для наглядной иллюстрации представим, что K-Factor = 20%, а коэффициент ретеншен = 85% (то есть 85 из 100 пользователей приходят на следующий день), то коэффициент роста будет  $0,2 + 0,85 = 1,05$ , такая система будет самостоятельно расти изо дня в день на 5% своей дневной (или например) месячной аудитории. На рис. 5 приведен график прогноза роста пользователей с шагом 1 месяц, при условии, что исходно мы имеем 1000 пользователей в проекте, месячный K-Factor = 20%, месячный K-Retention = 85%, прогноз на 36 месяцев.

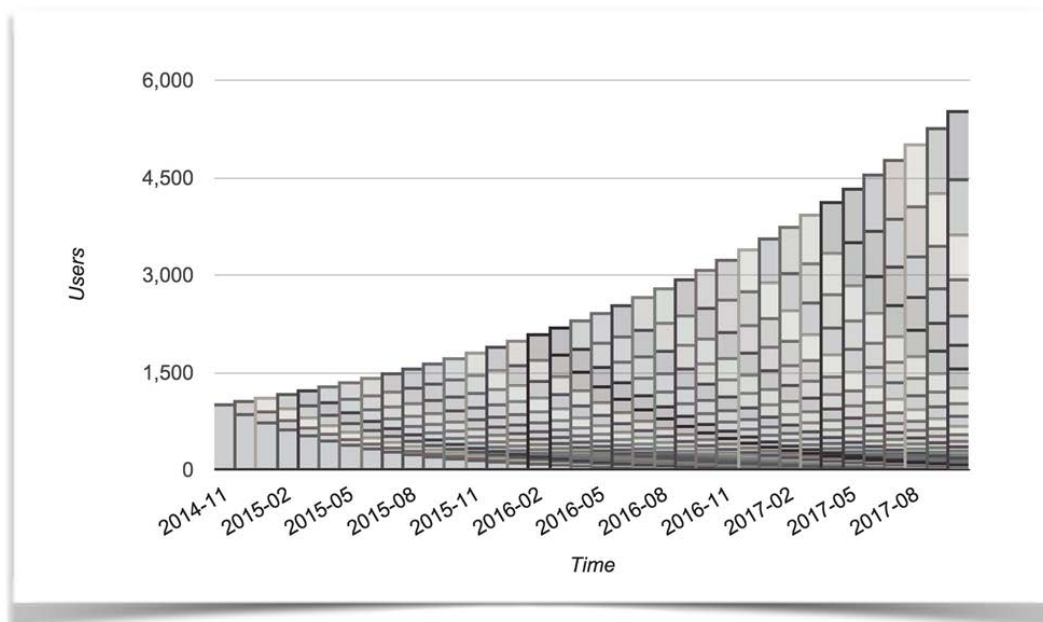


Рисунок 5. Прогноза роста пользователей на 36 месяцев

Итак, сумму факторов K-Factor и K-Retention мы называем F-Growth. Понятно, что если F-Growth больше 1 — мы получаем геометрическую прогрессию роста пользователей, если F-Growth меньше 1 — мы теряем пользователей (рис. 6).

Заметим, что позитивный коэффициент роста способен компенсировать другие недоработки, такие как качество самого продукта и ретеншн. А для стратегии развития проекта в целом, вложения в виральность и ретеншн являются альтернативой вложениям в рекламу и PR, что зачастую является выгодным решением, если сравнивать со стоимостью разработки (оплата труда программистов и т. п.) и расходами на маркетинг и связанный с ним персонал [17].

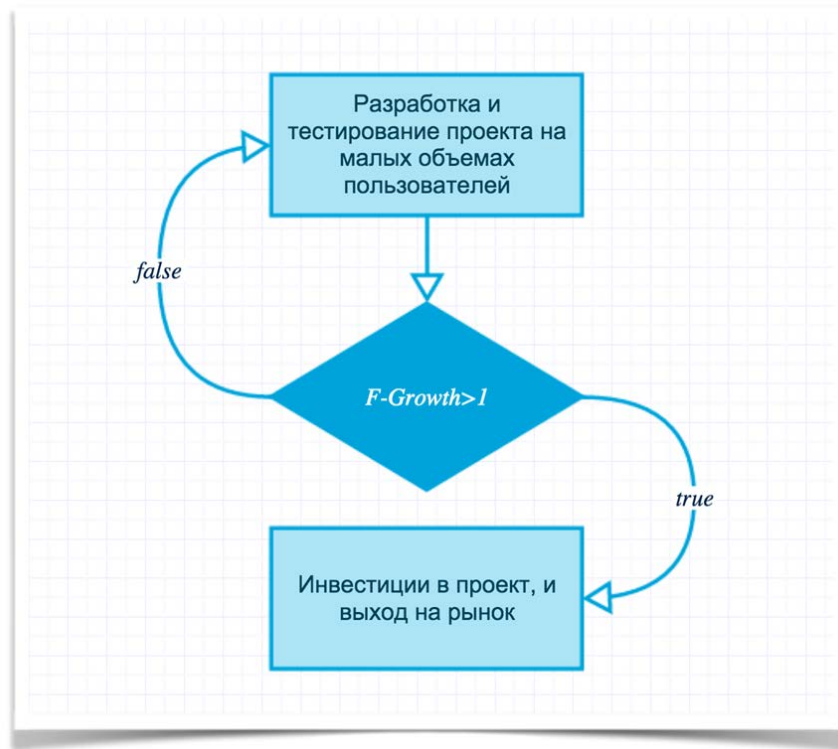


Рисунок 6. Показатель *F-Growth* как индикатор выхода системы на рынок

#### 4. Заключение

Вывод: при построении фримиум-продукта разумнее вывести его на рынок и отработать механики, связанные с виральностью и ретеншн, на небольших объемах привлекаемой платно аудитории, тем более эти механики поддаются статистической оценке и анализу. Добившись позитивного *F-growth*, можно привлекать венчурные средства и выводить проект на большой рынок.

Что касается конкретно рассматриваемого продукта, на котором проводилось исследование, то, как видим значение *F-Growth* колеблется чуть выше отметки 40%. Автор не может признать результат удовлетворительным, для такого типа аудитории; в настоящее время продукт находится на доработке и переработке.

#### Литература

- [1] *Seufert E. B.* Freemium Economics: Leveraging Analytics and User Segmentation to Drive Revenue (The Savvy Manager's Guides). Morgan Kaufmann. Waltham MA 02451 USA. 2014
- [2] *Osipov I.V.* Improved system and method for providing educational services // US patent pending. App. number 61922108, EFS ID: 17785274, Filed on 31.12.2013.



- [3] *Osipov I. V., Volinsky A. A., Prasikova A. Y.* Real time collaborative platform for learning and teaching foreign languages // Computer Assisted Language Learning. 2014 (Accepted)
- [4] *Osipov I. V., Volinsky A. A., Prasikova A. Y.* Participant behavior and content of the online foreign languages learning and teaching platform // Computer Assisted Language Learning. 2014 (Accepted)
- [5] *Cohen E. L.* What makes good games go viral? The role of technology use, efficacy, emotion and enjoyment in players' decision to share a prosocial digital game // Computers in Human Behavior. 2014. Vol. 33. P. 321–329.
- [6] *Marks M.* Time banking service exchange systems: A review of the research and policy and practice implications in support of youth in transition // Children and Youth Services Review. 2012. Vol. 34. No. 7. P. 1230
- [7] *Válek, L., Jašíková, V.* Time bank and sustainability: The permaculture approach // Procedia Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 92. P. 986.
- [8] *Mäntymäki M., Salo J.* Teenagers in social virtual worlds: Continuous use and purchasing behavior in Habbo Hotel // Computers in Human Behavior. 2011. Vol. 27. No. 6. P. 2088–2097.
- [9] *Skok D.* The Power of Free // The Entrepreneurs. December 2009. (<http://www.forentrepreneurs.com/business-models/power-of-free/>)
- [10] *Skok D.* Lessons Learned — Viral Marketing // For Entrepreneurs. 6 December 2009.
- [11] *Lee Y.* The Four Viral App Objectives (a.k.a., “Social network application virality 101”) // FrameThink. 15 January 2008.
- [12] *Fong R.* The K-Factor: The Secret Factor Behind Your Company’s Growth // Bliss Drive. 17 March 2014.
- [13] *Fields T., Cotton B.* Social Game Design. 2012.
- [14] *Ellis S., Brown M.* StartUp Growth Engines. First Printing. 2014.
- [15] *Pluzhnik E. V., Nikulchev E. V.,* Virtual laboratories in cloud infrastructure of educational institutions // 2nd International Conference on Emission Electronics (ICEE). Selected papers. IEEE; 2014. P. 67–69.
- [16] *Rigatuso A.* Growing growth: Perform your own cohort analysis. Toptal LLC Web <http://www.toptal.com/data-science/growing-growth-perform-your-own-cohort-analysis>
- [17] *Gains B.* Billion dollar companies use customer referral programs. Referral Saasquatch Web. <http://www.referralsaasquatch.com/billion-dollar-companies-use-customer-referral-programs/>

**Автор:**

*Осипов Илья Викторович*, руководитель проекта i2istudy

## Indicators of Viral and Retention for Freemium Product. Market Entry Strategy

I. V. Osipov

"i2istudy" SIA, Krišjāņa Barona Iela, 130 k-10, Rīga, Lv-1012, Latvija  
e-mail: ilya@osipov.ru

*Abstract.* At present, more and more products are moving to an economic model freemium, such as mobile applications, SaaS-solutions, software, web-application. However, the model has many features as it may seem. The article studied the statistics of user behavior on the example of the educational platform for communication, discusses the relationship and interdependence between key parameters of this model: The coefficient of viral, retention, monetization. Features of their calculation, for an example implementation of the educational platform. A new target parameter F-Growth, allowing to estimate the amount of "maturity" of the Internet project freemium model, in order to obtain external investment and output in the international market.

*Keywords:* K-Factor, F-Growth, virality, retention, monetization, edutainment, cloud technologies, freemium, f2p.

### Reference

- [1] *Seufert E. B.* (2014) *Freemium Economics: Leveraging Analytics and User Segmentation to Drive Revenue (The Savvy Manager's Guides)*. Morgan Kaufmann. Waltham MA 02451 USA.
- [2] *Osipov, I. V.* (2013). US patent pending "Improved system and method for providing educational services", Application number 61922108, EFS ID: 17785274, filed on December 31, 2013.
- [3] *Osipov, I. V., Volinsky, A. A., Prasikova, A. Y.* (2014). Real time collaborative platform for learning and teaching foreign languages. *Computer Assisted Language Learning*.
- [4] *Osipov, I. V., Volinsky, A. A., Prasikova, A. Y.* (2014). Participant behavior and content of the online foreign languages learning and teaching platform. *Computer Assisted Language Learning*.
- [5] *Cohen E. L.* (2014). What makes good games go viral? The role of technology use, efficacy, emotion and enjoyment in players' decision to share a prosocial digital game. *Computers in Human Behavior*, 33, 321–329.
- [6] *Marks M.* (2012). Time banking service exchange systems: A review of the research and policy and practice implications in support of youth in transition. *Children and Youth Services Review*, 34(7), 1230.
- [7] *Válek L., Jašíková V.* (2013). Time bank and sustainability: The permaculture approach. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 92, 986.

- [8] *Mäntymäki M., Salo J.* (2011) Teenagers in social virtual worlds: Continuous use and purchasing behavior in Habbo Hotel. *Computers in Human Behavior*, 27(6), 2088–2097.
- [9] *Skok D.* (December 2009) The Power of Free *The Entrepreneurs* (<http://www.forentrepreneurs.com/business-models/power-of-free/>)
- [10] *Skok D.* (6 December 2009) Lessons Learned — Viral Marketing. *For Entrepreneurs*.
- [11] *Lee Y.* (15 January 2008) The Four Viral App Objectives (a.k.a., “Social network application virality 101”). *FrameThink*.
- [12] *Fong R.* (17 March 2014). The K-Factor: The Secret Factor Behind Your Company’s Growth. *Bliss Drive*.
- [13] *Fields T., Cotton B.* (2012) Social Game Design.
- [14] *Ellis S., Brown M.* (2014) StartUp Growth Engines. First Printing.
- [15] *Pluzhnik E. V., Nikulchev E. V.* (2014) Virtual laboratories in cloud infrastructure of educational institutions // *2nd International Conference on Emission Electronics (ICEE)*. Selected papers; 67–69.
- [16] *Rigatuso A.* Growing growth: Perform your own cohort analysis. Toptal LLC Web <http://www.toptal.com/data-science/growing-growth-perform-your-own-cohort-analysis>
- [17] *Gains B.* Billion dollar companies use customer referral programs. Referral Saasquatch Web. <http://www.referralsaasquatch.com/billion-dollar-companies-use-customer-referral-programs/>

## Программное решение проблемы прогулов и опозданий на работу<sup>1</sup>

*А. В. Карюкин*

*Центр разработки программного обеспечения EDISON  
191454, Москва, пр. Вернадского, 24  
e-mail: market@edsd.com*

*Аннотация.* Статья представляет собой информацию по программному обеспечению, которое на основе информационных технологий позволяет использовать в офисе инновационную организацию труда, а также нанимать удаленных работников без риска бесполезной траты ресурсов.  
*Ключевые слова:* программное обеспечение, учет рабочего времени, организация труда, удаленная работа.

Сильный коллектив — главное оружие предприятия. Чтобы он оставался сильным всегда и работал на результат, важно сохранять дисциплину. Если вы руководитель коллектива, значит, знакомы с периодическими дисциплинарными нарушениями: опоздания сотрудников, прогулы, решение личных вопросов в рабочее время.

В большом коллективе следить лично за работой каждого человека невозможно. Начальники отделов, кадровые специалисты и коллеги часто закрывают глаза на эти мелкие нарушения, не осознавая, что каждая минута времени — это деньги предприятия.

Возможно, что более сильный работник за эти часы «простоя» принес бы прибыль организации, нашел новых клиентов или подал революционную идею развития компании. Причем все большее и большее значение подобные разработки имеют по мере выхода на рынок труда так называемого поколения Y, которое обладает значительными особенностями [1].

Как навсегда решить проблему дисциплинарных нарушений офисных работников, знает новаторская система учета рабочего времени «Большой брат». Задачи системы учета рабочего времени «Большой брат» (рис. 1, 2):

- автоматический учет/анализ основного рабочего времени и переработок;
- анализ трудовой активности;
- сведение отчетной документации;
- выявление дисциплинарных нарушений;
- привлечение на работу удаленных работников [2].

---

<sup>1</sup> К статье прилагается ролик, размещенный на веб-странице номера журнала

«Большой брат» с точностью до минуты покажет, сколько часов отдал работе сотрудник, и на что была направлена его трудовая активность: на развитие предприятия или решение своих дел [3].

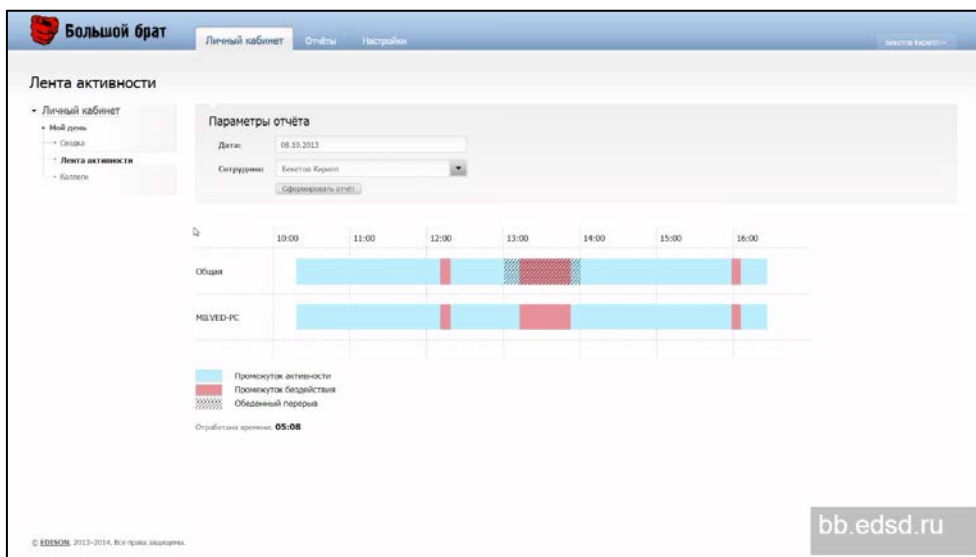


Рисунок 1. Лента активности сотрудника в течение дня

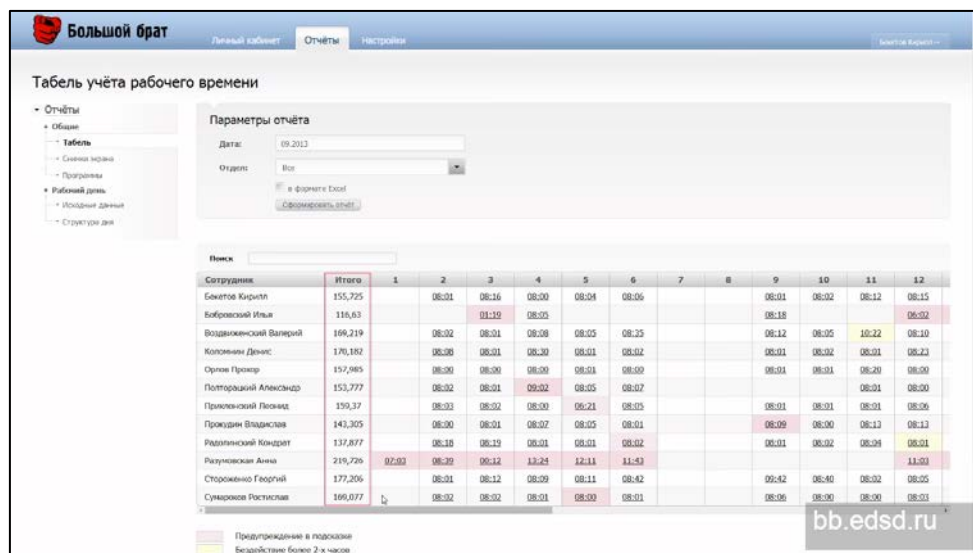


Рисунок 2. Табель учёта рабочего времени за месяц

Схема работы системы учета рабочего времени такова (рис. 3). На пользовательском компьютере устанавливается специальная служба-агент, собирающая всю

необходимую информацию о работе пользователя и передающая ее на центральный сервер:

- *отслеживание событий сеанса* — это вход и выход пользователя, блокировка и снятие блокировки экрана; на основе этой информации «Большой Брат» принимает решение об активности пользователя в течение рабочего дня;
- *регистрация списка открытых приложений* — «Большой Брат» отслеживает открытие и закрытие приложений, а также время, проводимое пользователем в каждом из них; регистрируется название приложения и заголовок активного окна, в отчете можно детально проанализировать, сколько времени сотрудник провёл в том или ином приложении;
- *получение снимков экрана* — «Большой Брат» в случайные моменты времени фотографирует содержимое экрана и передаёт эти фотографии на сервер; частота снимков настраивается в серверной части, на снимок попадают все подключенные мониторы пользователя (рис. 4).

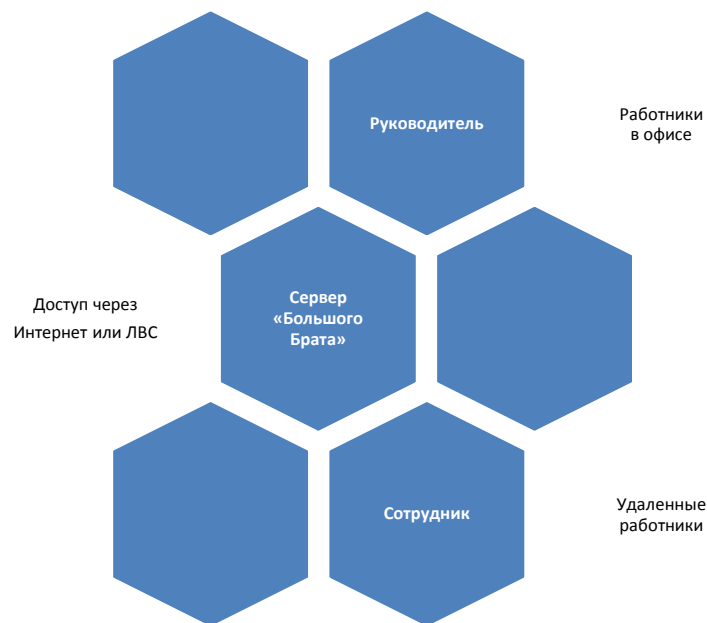


Рисунок 3. Схема работы программного обеспечения

Естественно, при разработке «Большого Брата» одним из самых важных был вопрос безопасности. Здесь, как и в любой системе учёта, данные и их достоверность являются главной ценностью. Команда разработчиков продумала до мелочей все технические аспекты, чтобы на «Большого Брата» можно было положиться. Рассмотрим, каким образом может быть осуществлена попытка фальсификации данных.

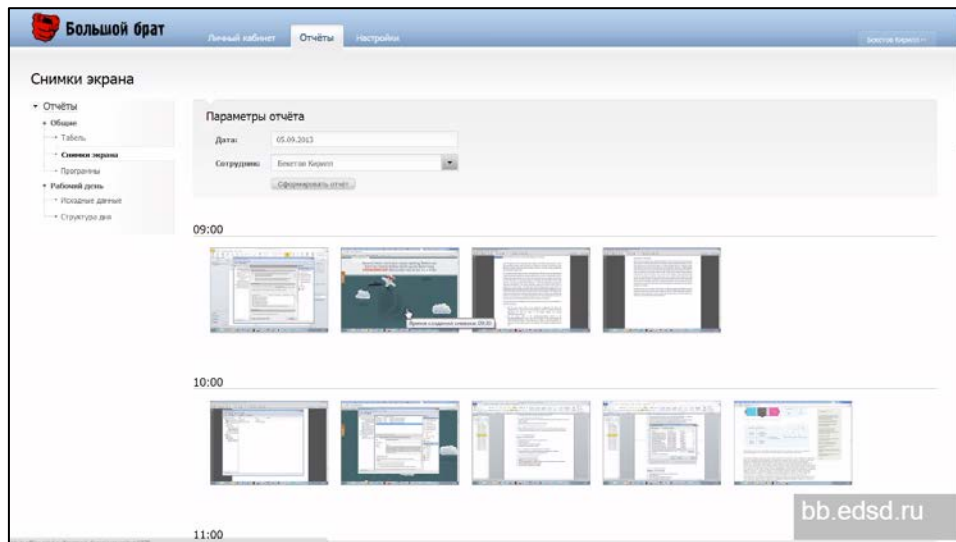


Рисунок 4. Снимки экрана для контроля за удаленными сотрудниками

Существует несколько вариантов действия злоумышленника на пользовательском компьютере.

- Перевод часов. Так можно попытаться фальсифицировать события, регистрируемые агентом. «Большой Брат» фиксирует не только локальное время события, но и время сервера. При значительном расхождении этих показателей в отчете по пользователю будет выдано предупреждение, и данный факт не останется незамеченным.
- Отключение от сети. Так можно попытаться избежать передачи информации о «нежелательных» событиях на сервер. Однако «Большой Брат» сохраняет неотправленные события в локальную зашифрованную базу данных. При восстановлении связи с сервером эти события будут переданы. Незаметно удалить базу данных также не получится: информация об этом также будет выдана в отчете.
- Остановка и запуск агента также регистрируется на сервере, поэтому все подозрительные манипуляции не останутся тайной для менеджера.

Протокол обмена данными между агентом и сервером зашифрован и подписан. Таким образом, канал передачи защищен от перехвата. Сервер всегда уверен, что данные ему передает именно агент. В свою очередь, агент уверен, что получил ответ непосредственно от сервера.

В качестве дополнительной степени защиты рекомендуется внедрить технологию входа пользователей в систему с использованием смарт-карт. Это вводит двухфакторную аутентификацию и обеспечивает уверенность в том, что сотрудник лично присутствовал на рабочем месте в момент начала рабочего дня, а не сообщил пароль своему коллеге, который вошел в систему от его имени.

Для идентификации предусмотрены три способа:

- Личный логин пользователя и пароль.
- Смарт-карта.
- QR-код и фотография.

Каковы преимущества смарт-карт?

- Повышенный уровень безопасности. Без наличия карты сотрудник не пройдет на предприятие и не начнет работу с информацией. Она является своеобразным, «умным» ключом, который невозможно подделать.
- Возможность автоматической идентификации работника. Ведется точный контроль рабочего времени. Пресекаются опоздания и прогулы.
- Контроль эффективности труда. Если сотруднику необходимо на время покинуть рабочее место, необходимо заблокировать работу компьютера.

Смарт-карта — это собственность компании. Она выдается под личную роспись. При увольнении — сдается.

При потере смарт-карты, работник пишет объяснительную записку и заявление на повторную выдачу, которая является платной. Стоимость, к примеру, 1000 рублей. Сделано это для бережного отношения к устройству.

Если сотрудник оставил смарт-карту без присмотра, она может считаться утерянной. Если сотрудник забыл карту дома, он будет обязан вернуться: начать работу без карты невозможно. Ее можно либо потерять, либо принести.

Используя подобную схему взаимоотношений с работниками, можно полностью отказаться от надзора. Вся активность протоколируется на сервере и каждый работник несет личную ответственность за собственную дисциплину: отработанное время, опоздания, периоды отдыха, начала работы. Мы пошли дальше, в компании был введен гибкий график, который позволяет каждому определять наиболее удобное время работы каждый рабочий день. После нескольких месяцев такого режима сотрудники начинают этим очень дорожить, поскольку в лучшую сторону качественно меняется образ жизни [4].

- Начиная работу в период с 6 до 12 часов можно успеть гораздо больше личных дел.
- Можно иногда решать личные дела даже в обеденное время, смещая обеденный перерыв.
- Не стоит ехать на работу в час пик и подолгу стоять в пробках.
- Необходимость четко планировать свой день подталкивает к увеличению осознанности труда и производительности труда в рабочее время.

## Литература

- [1] Фуколова Ю. Иду на X. Как компания «Вымпелком» приручила «игреков» // Секрет Фирмы. Июнь 2014.
- [2] Удаленная работа — это не «фриланс» // (<http://habrahabr.ru/post/199114/>) 2013.



- [3] How do people spend their time at work? // INFOGRAPHIC, <http://blog.tempoplugin.com/2012/how-do-people-spend-their-time-at-work-infographic>.
- [4] Громадкова Т. Поколение Y: кто идет на смену трудоголикам? // Газета «iH-Ned.cz», <http://life.ihned.cz/lide/c1-59771620-po-workoholicich-z-ery-x-nastupuji-do-prace-mladi-prislusnici-generace-y-jaci-jsou>, 26 апреля 2013.

**Автор:**

*Карюкин Артем*, директор Центра разработки программного обеспечения EDISON

## The new way of eliminating absence from work and late coming to work

*Artyom (Tommy) Karyukin*

*EDISON Software Development Centre  
24, pr. Vernadskogo, Moscow, 191454  
e-mail: market@edsd.com*

*Abstract.* This article presents some information on software which, by means of information technologies, helps companies benefit from innovative office organisation and hiring remote workers without any risk of their shirking.

*Keywords:* software, time tracking, company management, remote work

### Reference

- [1] *Fukolova Ju.* (2014) Idu na H. Kak kompanija “Vympelkom” priruchila “igrekov”. *Sekret Firmy.* (In rus.)
- [2] *Udalennaja rabota — jeto ne «frilans»* // (<http://habrahabr.ru/post/199114/>) (In rus.)
- [3] *How do people spend their time at work?* INFOGRAPHIC, <http://blog.tempoplugin.com/2012/how-do-people-spend-their-time-at-work-infographic>.
- [4] *Gromadkova T.* (2013) Pokolenie Y: kto idet na smenu trudogolikam? *iHNed.cz.* (<http://life.ihned.cz/lide/c1-59771620-po-workoholicich-z-ery-x-nastupuji-do-prace-mladi-prislusnici-generace-y-jaci-jsou>) (In rus.)

## Использование методов оптимизации запросов к распределенной базе данных для повышения эффективности информационных систем

Т. А. Федосеенко

Московский технологический институт  
119334, Москва, Ленинский проспект, 38а  
e-mail: velliar@gmail.com

*Аннотация.* Статья посвящена решению задачи повышения эффективности распределенных баз данных. Для увеличения производительности выполнения запросов необходимо искать решения, анализируя процесс выполнения запросов сервером — заменять запросы с выборкой без повторений, использовать индексы, оптимизировать структуру базы данных на этапе физического проектирования.

*Ключевые слова:* базы данных, оптимизация запросов, распределенные базы данных.

### 1. Введение

Оптимизация является одним из важных направлений разработок в области исследований баз данных (БД). Согласно Джону Бэнтли, под оптимизацией понимается модификация системы для улучшения ее эффективности [1]. Хорошо оптимизированная БД значительно снижает нагрузку на сервер, и увеличивает общую производительность [3, 4].

В статье рассматривается информационная система, реализованная на основе СУБД Access, обладающей следующими достоинствами: БД способна обеспечить достаточную производительность при работе с системой порядка сотни пользователей с единой базой данных на сервере; обладает невысокой стоимостью; имеет интуитивно понятный и простой способ установки на клиентские компьютеры; имеет в составе средства, позволяющие обеспечить формирование третьей нормальной формы объектов реляционной базы данных; обеспечивает поддержку русского языка и интегрирована с продуктами Microsoft Office.

### 2. Постановка задачи

Рассматриваемая база данных, логическая структура которой представлена на рис. 1, представляет собой базу данных, приведенную к третьей нормальной форме.

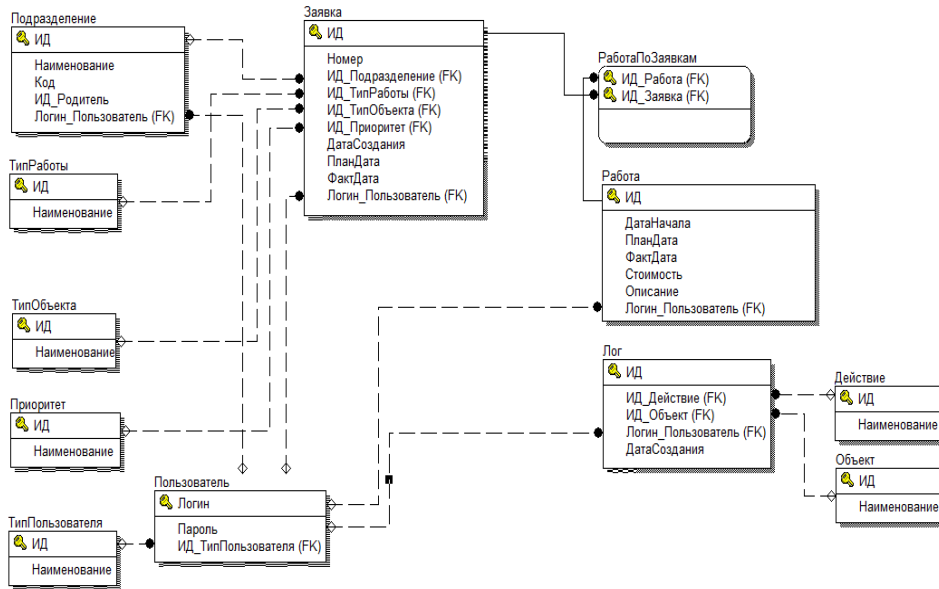


Рисунок 1. Структура БД

То, что БД находятся в третьей нормальной форме, подразумевает, что они находятся и в первой и второй нормальной форме [4, 5]. Согласно первой нормальной форме в БД значения столбцов являются атомарными и все записи — уникальны. Отношения находятся во второй нормальной форме и каждый их неключевой атрибут неприводимо зависим от первичного ключа. В третьей нормальной форме отсутствуют транзитивные функциональные зависимости неключевых атрибутов от ключевых, т. е. все неключевые атрибуты зависят только от первичного ключа.

В нормализованной базе данных уменьшается вероятность возникновения ошибок, уменьшается противоречивость хранимой в базе данных информации.

Эффективность системы может оцениваться различными критериями. Проблема оптимизации запросов базы данных составляется из трех основных компонентов [6, 7]:

- оптимизация запросов;
- оптимизация структуры;
- оптимизация сервера.

### 3. Повышение эффективности на основе анализа запросов

Критерии, определяющие степень эффективности запроса, формируются на основании основных характеристик системы. Применительно к исследуемой информационной системе, с учетом области применения выделим следующие критерии:

- длительность выполнения запросов выборки;

- нагруженность сервера в зависимости от количества запросов в единицу времени;
- длительность выполнения обновления и изменения данных

С учетом специфики системы этих критериев достаточно для оценки эффективности выполнения запросов в системе.

Проанализируем таблицу «Заявки». Будем выполнять простой запрос на выборку всех данных из таблицы «Заявки», меняя общее количество записей в ней. В результате будем фиксировать время выполнения запросов.

Полученные результаты сведены в гистограмму, изображенную на рис. 2. Из диаграммы видно, что при увеличении количества записей в таблице увеличивается и скорость увеличения длительности загрузки.



Рисунок 2. Гистограмма результатов анализа длительности выполнения простых запросов выборки из таблицы с разным числом записей

Проанализируем длительность выполнения запроса на выборку одной записи (при выборке с условием на уникальный идентификатор). Сначала используем для анализа две записи, одна из которых находится условно в начале таблицы, то есть имеет небольшое значение уникального идентификатора и была добавлена одной из самых первых и записи, которая находится в конце и была добавлена одной из последних. Как видно по результатам, время выборки примерно одинаково и невелико. При этом отбор производится по ключевым индексированным полям.

Проверим результат при выборке по этим же записям, но сделав поля, по которым производится отбор, неключевыми и не индексируемыми. Как видно, время выполнения запросов увеличилось, т. е. использование индексов существенно влияет на производительность выполнения запросов. Проведем аналогичный анализ на строковых данных, осуществив выборку сначала по индексируемым полям, затем по полям, не имеющим индексов.

По данным таблицы можно сделать вывод о том, что в случае, если по какому-либо полю часто выполняется выборка, то для обеспечения необходимой производительности нужно создавать для этого поля индексы. Это ускорит поиск в базе данных и длительность выборки.

Степень влияния индексов на производительность в рассмотренном примере отображена на диаграмме на рис. 3 и в табл.

Таблица. Результаты проведенных экспериментов по длительности выборки данных из таблицы «Заявки»

Тип отбираемого атрибута	Неиндексируемые поля		Индексируемое поле	
	ИД близко к началу	ИД близко к концу	ИД близко к началу	ИД близко к концу
числовой	0,078 с	0,063 с	0,015 с	0,015 с
строковый	0,031 с	0,032 с	0,016 с	0,015 с

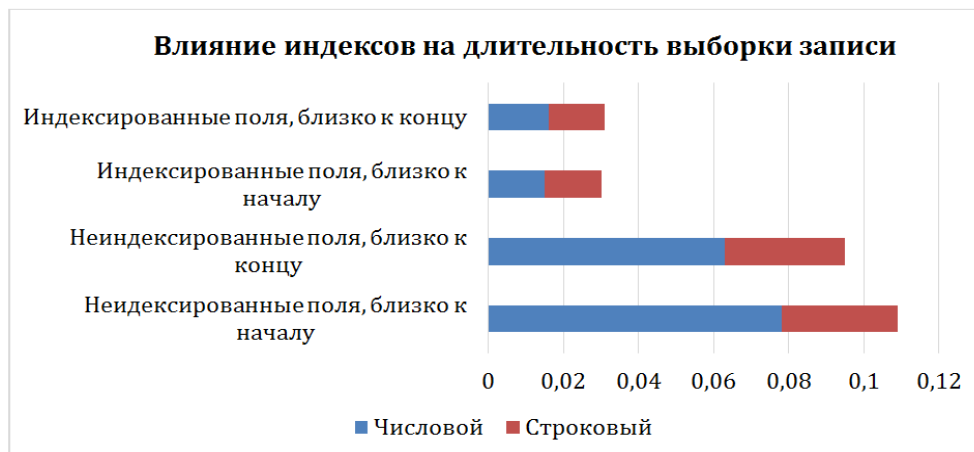


Рисунок 3. Степень влияния наличия индексов на длительность выборки данных из таблицы «Заявки».

Предположим, что необходимо осуществить выборку из заявок всех подразделений, для которых какие-либо заявки были созданы. В этом случае можно воспользоваться запросом

**select**

```

п.Наименование
from
Заявка з,
Подразделение п
where
п.ИД = з.ИД_Подразделение

```

Однако в этом случае мы получим дубликаты наименований подразделений, так как заявки для них могли создаваться неоднократно. Поэтому для исключения повторений наименований используем distinct.

```

select distinct
п.Наименование
from
Заявка з,
Подразделение п
where
п.ИД = з.ИД_Подразделение

```

Длительность выполнения запроса составляет 0,187 с, что достаточно велико при выборке всего двух записей из базы данных. Попробуем оптимизировать запрос. Прежде всего, проанализируем процесс выполнения запроса на сервере баз данных.

Изначально происходит выборка из двух таблиц: Заявка и Подразделение. Запрос с условием «where» сервер баз данных преобразует в запрос, содержащий «join» — операцию соединения таблиц, которая является подмножеством декартова произведения таблиц. Декартово произведение  $n$  таблиц — это таблица, содержащая все возможные строки  $r$ , такие, что  $r$  является сцеплением какой-либо строки из первой таблицы, строки из второй таблицы, ... и строки из  $n$ -й таблицы. Таким образом, на первом этапе сервером выполняется декартово произведение таблиц Заявка и Подразделение. Затем происходит выборка данных по условиям. И только на следующем этапе уже после выполнения выборки происходит ее просмотр и исключение дубликатов. Очевидно, что узким местом тут является выборка лишних записей, которые отсеиваются лишь на последнем этапе. Следовательно, нужно изменить синтаксис запроса так, чтобы сначала происходила выборка подразделений сразу без учета тех, для которых не созданы заявки. Это можно сделать с помощью ключевого слова exists.

```

select
п.Наименование
from
Подразделение п
where
exists(
select
1
from
Заявка з

```

where

з.ИД\_Подразделение = п.ИД)

Измененный запрос будет выглядеть так (оптимизированный запрос). Время выполнения этого запроса составляет всего 0,015 с. Таким образом, заменив запрос с `distinct` аналогичным запросом с «`exists`», мы добились уменьшения длительности получения результатов более чем в 12 раз за счет анализа последовательности выполнения запроса на сервере.

Для достижения оптимальной структуры базы данных необходимо соблюдать нормализацию, по возможности на этапе физического проектирования подбирать для атрибутов типы данных, занимающие минимум объема памяти, предпочтительнее выбирать числовые типы вместо строковых и бинарных. Согласно справке MySQL, разработанной компанией Oracle, выделяются следующие типы оптимизации структуры базы данных [8]:

1. *Оптимизация объемов данных.* Она заключается в уменьшении объемов данных, хранимых на диске для представления таблиц. Чем меньше занимает таблица в памяти, тем быстрее происходит работа с базой данных.

2. *Оптимизация типов данных.* Заключается в устранении избыточности размеров типов данных.

При разработке системы выработаны следующие правила выбора типов данных:

1. *Тип числовых данных* необходимо устанавливать исходя из предполагаемого максимально возможного содержимого данных. В случае, если есть возможность заменить иные типы на числовой без потери смысловой и структурной целостности — следует сделать это.

2. Для *строкового типа данных* необходимо всегда стараться задавать минимальный размер. Не следует все время указывать максимально возможный, в случае, если содержимое не до конца известно, лучше запросить уточнение проектных материалов.

3. *Бинарные типы данных* следует применять лишь в редких случаях, в особенности для хранения длинных строк следует тщательно изучить возможности хранения данных в строках фиксированного размера вместо использования бинарных типов.

#### 4. Выводы

Для достижения максимальной производительности выполнения запросов необходимо искать более эффективные решения, анализируя процесс выполнения запросов сервером. К примеру, по возможности заменять запросы с выборкой без повторений (с использованием ключевого слова «`distinct`») запросами с использованием включения «`exists`». Также использовать индексы для тех полей, по которым идет частый отбор, например, для ключевых полей.



## Литература

- [1] *Bentley J.* Writing Efficient Programs. — Prentice Hall Ptr, 1982
- [2] *Pluzhnik E. V., Nikulchev E. V.* Use of dynamical systems modeling to hybrid cloud database // International Journal of Communications, Network and System Sciences. 2013. Vol. 6. No. 12. С. 505–512.
- [3] *Плужник Е. В., Никульчев Е. В.* Слабоструктурированные базы данных в гибридной облачной инфраструктуре // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 95.
- [4] Введение в базы данных [Электронный ресурс] .— Режим доступа: [http://www.codenet.ru/progr/vbasic/vb\\_db/1.php](http://www.codenet.ru/progr/vbasic/vb_db/1.php)
- [5] *Кириллов В. В.* Основы проектирования реляционных баз данных. Учебное пособие. — СПб. : ИТМО, 1994.
- [6] *Matthias Jarke, Jurgen Koch.* Query Optimization in Database Systems // Computing Surveys, Vol. 16, No. 2, 1984.
- [7] *Israel M., Jones J. S., Jones S.* MCSE: SQL Server 2000 Design Study Guide (Exam 70-229) . — Sybex, 2001
- [8] Optimizing Database Structure [Электронный ресурс] .— Режим доступа: <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.5/en/optimizing-database-structure.html>.

**Автор:**

*Федосеевко Татьяна Александровна*, магистрант Московского технологического института

## Using Methods of Query Optimizatio to the Distributed Database to Efficiency Improve of Information Systems

T. A. Fedoseenko

Moscow Technological Institute  
38a Leninsky Pr., Moscow, 119334,  
e-mail: velliar@gmail.com

*Abstract.* Article is devoted to the task of improving the efficiency of distributed databases. To increase query performance solutions must be sought by analyzing the process of querying the server: replace queries with no sample in repetition, use indexes to optimize the structure of the database at the stage of physical design.

*Keywords:* database, query optimization, distributed databases.

### Reference

- [1] Bentley J. (1982) Writing Efficient Programs. Prentice Hall Ptr.
- [2] Pluzhnik E. V., Nikulchev E. V. (2013) Use of dynamical systems modeling to hybrid cloud database. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 6(12), 505–512.
- [3] Pluzhnik E. V., Nikulchev E. V. (2013) Slabostrukturirovannye bazy dannyh v gibridnoj oblachnoj infrastrukture. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 4, 95. (In rus.)
- [4] [http://www.codenet.ru/progr/vbasic/vb\\_db/1.php](http://www.codenet.ru/progr/vbasic/vb_db/1.php)
- [5] Kirillov V. V. (1994) Osnovy proektirovanija reljacionnyh baz dannyh. Uchebnoe posobie. SPbITMO. (In rus.)
- [6] Matthias Jarke, Jurgen Koch. (1984) Query Optimization in Database Systems. *Computing Surveys*, 16(2).
- [7] Israel M., Jones J. S., Jones S. (2001) MCSE: SQL Server 2000 Design Study Guide (Exam 70-229) . Sybex,
- [8] Optimizing Database Structure <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.5/en/optimizing-database-structure.html>.

## Методика оценка затрат на внедрение модуля корпоративной информационной системы управления на машиностроительном предприятии

*В. В. Белов, М. В. Некрасов*

*Рязанский государственный радиотехнический университет*

*390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1*

*e-mail: belov0808@mail.ru, ne.mihail@mail.ru*

*Аннотация.* В статье излагается методика внедрения модуля «Финансовый менеджмент» из контура «Финансово-экономическое управления» корпоративной информационной системы «Флагман» на машиностроительном предприятии, созданная на основе опыта внедрения контура «Управление производством» той же системы. Внедрение осуществляется с целью удовлетворения конкретных информационно-аналитических потребностей руководителей предприятия. Планируются работы, и оценивается ориентировочная стоимость внедрения модуля.

*Ключевые слова:* корпоративные информационные системы, финансовый менеджмент, Business Process Management, управление, оценка стоимости внедрения.

### 1. Введение

В современных условиях развития рыночной экономики, и особенно глобализации бизнеса, скорость реакции на изменения внешней среды является одной из основополагающих составляющих успеха предприятия, позволяющей обеспечить максимально высокий уровень конкурентоспособности. Корпоративные информационные системы являются весьма действенным инструментом повышения скорости реагирования организации на изменения внешней среды.

Корпоративные информационные системы предназначены для организации и координации деятельности всех подразделений и филиалов крупных предприятий с помощью современных технологий. Основной целью корпоративной информационной системы является максимизация прибыли предприятия за счет наиболее эффективного использования всех ресурсов компании и повышения качества принимаемых управленческих решений. На современном этапе развития технология работы в информационной системе доступна для понимания специалиста некомпьютерной области и может быть успешно использована для контроля руководством организации процессов, происходящих на предприятии и управления ими. В настоящее время весьма актуальной является концепция Business Process Management (BPM), реализуемая с помощью IT-средств нового поколения, таких как Business Process Management System (BPMS), в рамках которой менеджеры сами с помощью компьютерных графических средств создают модели новых бизнес-процессов [1]. В

рамках концепции ВРМ существует идея постоянного (перманентного) улучшения бизнес-процессов. В то же время классические корпоративные системы, построенные на принципах типового проектирования с ориентацией на параметры либо модели предприятия, продолжают оставаться основными средствами автоматизации процессов как производства, так и управления.

В данной статье рассматривается процесс внедрения одного из модулей корпоративной информационной системы «Флагман», разработанной отечественной компанией «Инфософт», состоящей из семи контуров, которые могут работать и самостоятельно. На предприятии, в автоматизации которого принимали участие авторы, процесс внедрения системы Флагман начался с контура «Управление производством», который был признан наиболее необходимым. Причиной выбора лишь одного контура было желание руководства предприятия упростить процесс внедрения и минимизировать его стоимость. Однако, на данный момент, отчетливо обозначилась проблема отсутствия инструментов визуализации движения денежных потоков предприятия и, как следствие, недостаточная информированность руководителей о финансовом состоянии завода. Поэтому было принято решение о внедрении в систему управления предприятием дополнительно модуля «Финансовый менеджмент», и была создана методика реализации процесса этого внедрения.

Методика реализации процесса внедрения модуля «Финансовый менеджмент» контура «Финансово-экономическое управление» корпоративной информационной системы «Флагман» разработана на основе анализа опыта предшествующего внедрения контура «Управление производством» корпоративной информационной системы «Флагман» на рассматриваемом предприятии. Целью разработки данной методики является сокращение затрат времени и структуризация процесса внедрения. Контур и модуль системы «Флагман» относятся к классу типовых проектных решений [1, с. 281], но не являются «коробочными» и требуют поэтапного внедрения в течение 6–9 месяцев. Они приспособляются и дописываются для каждого конкретного проекта [3], поэтому предлагаемую методику нельзя считать абсолютно универсальной, однако основные аспекты процесса внедрения в ней учтены и могут использоваться в качестве ориентира.

## 2. Роли специалистов и этапы внедрения модуля

Внедрение модуля «Финансовый менеджмент» было первоочередной задачей. Это лишь шаг на пути к комплексному внедрению системы, но именно он обеспечивает удовлетворение наиболее острых на данный момент потребностей руководства исследуемого предприятия.

Для эффективного управления предприятием его руководителям необходимо понимать, как и куда расходуются средства. Внедряемый модуль «Финансовый менеджмент» корпоративной информационной системы «Флагман» является эффективным инструментом визуализации и отслеживания, а также контроля и оптимизации движения финансовых потоков предприятия, обеспечивает руководство предприятия набором оценочных показателей, отражающих платежеспособность и

финансовую устойчивость предприятия, позволяет решать проблемы оперативного и стратегического планирования на всех уровнях и предназначен для комплексного управления финансовыми потоками предприятия [2].

Для наиболее успешного введения модуля «Финансовый менеджмент» необходимо разработать подробный план внедрения, основные этапы которого кратко описаны ниже, и назначить лиц, ответственных за проведение каждого этапа. Следует отметить, что должна быть создана группа внедрения, организующая весь процесс подготовки работы модуля. Состав группы (роли специалистов) внедрения приведен на рис. 1.



Рисунок 1. Структура группы внедрения

Руководитель группы совместно со своим помощником от компании-производителя координирует действия всех подразделений производственной системы по внедрению на предприятии данного проекта, на него возлагаются функции своевременного осуществления запланированных работ по проекту при высокой результативности внедрения новой информационной системы и выполнения и соблюдения бюджета. Руководителем группы внедрения предлагается назначить директора по экономике завода.

Теперь рассмотрим обязанности, возложенные на каждого из участников, входящих в состав группы внедрения.

1. Эксперт по стратегическому планированию осуществляет разработку стратегии развития производственной системы, стратегический план развития и план реализации изменений, определяет политику по всем направлениям внедрения но-

вой системы оперативно-производственного планирования. Данную должность займет технический директор завода.

2. Консультант по КИС реализует функции научного обеспечения развития, быстрого решения технических проблем, возникших в ходе внедрения информационной системы. В качестве консультантов выступают разработчики КИС «Флагман».

3. Эксперт по техническим вопросам внедрения координирует работу сотрудников отдела информационных автоматизированных систем управления (ИАСУ) завода и контролирует деятельность группы внедрения в ее технических аспектах. Данную должность займет заместитель технического директора по ИАСУ.

4. Помощник эксперта по техническим вопросам внедрения — сотрудник отдела ИАСУ.

5. Бюджетолог осуществляет распределение и контроль исполнения бюджета по внедрению КИС, ведет расчеты по ресурсному обеспечению плана развития и реализации, составлению бюджета, разрабатывает предложения по стимулированию труда руководителей и исполнителей программ. Задачи бюджетолога выполнит главный бухгалтер завода.

6. Эксперт по работе с персоналом занимается анализом климата организации, компетенций персонала, рациональности структуры управления, методов стимулирования труда и мотивации работников, систем планирования, также оценкой результатов работы различных групп персонала, систем обучения, подготовки и переподготовки кадров, системы планирования карьеры персонала, систем социальной защищенности различных групп персонала. Экспертом по работе с персоналом предлагается назначить директора по персоналу завода.

Следует отметить, что процесс внедрения модуля будет проходить под непосредственным руководством и контролем директора завода, от которого во многом зависит успешность реализации проекта. Он непосредственно не входит в состав группы внедрения, но является главным совещательным органом, без которого не принимается ни одно важное решение группы.

Начинать процесс внедрения модуля «Финансовый менеджмент» следует с решения общих технических вопросов под руководством эксперта по техническим вопросам. На данном этапе предполагается приобретение сервера и новых персональных компьютеров, а также установка необходимого программного обеспечения на рабочие места специалистов.

Затем под руководством эксперта по работе с персоналом следует провести обучение персонала. К процессу обучения следует подходить с максимальным вниманием, так как от его качества в наибольшей степени зависит результат процесса внедрения и дальнейшая работа системы. Перед началом обучения сотрудников необходимо составить план их работы и перечень их непосредственных обязанностей, исходя из которых следует строить индивидуальный план обучения каждого сотрудника. В случае совпадения обязанностей отдельных работников, при обучении их следует объединить в группы, количество членов которых не будут превышать 2–3 человека, что позволит снизить затраты на обучение и сократить его общую (в рамках предприятия) длительность по сравнению с индивиду-

альным обучением, и при этом не снизит качество восприятия информации обучаемыми. Обучение предлагается проводить в два этапа. На первом этапе все специалисты, работающие с модулем, освоят основные и общевостребованные его функции. Затем после самостоятельной работы с пробной версией системы последует второй этап обучения, в ходе которого работники будут приобретать навыки выполнения своих непосредственных обязанностей и получать у специалистов компании «Инфософт» ответы на возникшие в ходе работы с пробной версией вопросы. Завершением процесса обучения станет сдача экзамена руководителю группы внедрения от компании «Инфософт», который наиболее профессионально сможет оценить компетентность обученных работников.

Следующим этапом должно стать тестирование системы, выявление недостатков и последующая доработка системы. Затем консультант по корпоративным информационным системам совместно с руководителем группы внедрения после проверки готовности системы и опытной эксплуатации должны принять решение о качестве проведенных мероприятий и утвердить порядок ввода исходных данных в систему. Завершающим этапом станет подписание руководителем предприятия приказа о начале промышленной эксплуатации модуля.

В табл. 1 план внедрения модуля «Финансовый менеджмент» приведен с указанием ожидаемых длительностей каждого из этапов.

Таблица 1. План внедрения модуля «Финансовый менеджмент»

Этап	Начало работ	Завершение работ	Ответственный
1. Решение общих технических вопросов	15.01.2015	21.03.2015	
1.1. Установка, настройка БД на демонстрационном сервере	15.01.2015	20.02.2015	Эксперт по техническим вопросам внедрения
1.2. Приобретение и ввод серверов для промышленной эксплуатации	15.01.2015	20.02.2015	Эксперт по техническим вопросам внедрения
1.3. Установка системы на рабочих местах группы внедрения (демонстрационный сервер)	21.02.2015	27.02.2015	Помощник руководителя проекта от производителя
1.4. Установка системы на рабочих местах ключевых предметных специалистов в подразделениях (демонст. сервер)	27.02.2015	06.03.2015	Эксперт по техническим вопросам внедрения
1.5. Установка системы на все рабочие места пользователей ГРПЗ на сервера промышленной группы	27.02.2015	21.03.2015	Эксперт по техническим вопросам внедрения

Таблица 1. (продолжение)

Этап	Начало работ	Завершение работ	Ответственный
2. Обучение	07.03.2015	30.04.2015	
2.1. Обучение специалистов группы внедрения	10.02.2015	28.02.2015	Консультант по КИС
2.2. Обучение всех пользователей	22.03.2015	30.04.2015	Эксперт по работе с персоналом
3. Загрузка исходных данных в справочники базы данных на основе заполненных структур	01.03.2015	03.03.2015	Эксперт по техническим вопросам внедрения
4. Закрепление ответственных за ввод и содержание данных в справочниках ресурсов и контрагентов и утверждение необходимых положений и регламентов по предприятию.	04.03.2015	09.03.2015	Эксперт по стратегическому планированию
5. Настройка	01.02.2015	05.03.2015	Эксперт по техническим вопросам
6. Формирование согласованного перечня критичных доработок системы, выявленных в ходе обучения группы внедрения	22.02.2015	10.04.2015	Руководитель группы внедрения
7. Реализация критичных функциональных доработок	11.04.2015	27.04.2015	Консультант по КИС
8. Сдача-приемка реализованных доработок	28.04.2015	30.04.2015	Руководитель группы внедрения
9. Исправление возможных ошибок	11.05.2015	30.05.2015	Консультант по КИС
10. Подготовка к автоматизированному вводу начальных данных в систему для запуска в промышленную эксплуатацию	01.03.2015	15.05.2015	Руководитель группы
10.1. Формирование структуры начальной загрузки в БД	16.05.2012	30.05.2015	Эксперт по техническим вопросам и помощник руководителя проекта
10.2. Разработка процедур по автоматизированной загрузке	01.06.2015	01.07.2015	Эксперт по техническим вопросам
10.3. Заполнение структур начальной загрузки исходными данными	01.06.2015	01.07.2015	Помощник эксперта по техническим вопросам



Таблица 1. (окончание)

Этап	Начало работ	Завершение работ	Ответственный
10.4. Загрузка исходных данных в БД на основе заполненных структур	02.07.2015	12.07.2015	Помощник эксперта по техническим вопросам
10.5. Проверка результатов загрузки на полноту и связанность данных	13.07.2015	28.07.2015	Эксперт по техническим вопросам
11. Проверка готовности системы	01.08.2015	18.08.2015	Помощник руководителя проекта от производителя
11.1. Окончательная проверка прохождения регламентных контуров с учетом выдачи отчетных форм	01.08.2015	30.08.2015	Руководитель группы внедрения
11.2. Опытная эксплуатация модуля	01.09.2015	15.09.2015	Эксперт по техническим вопросам
12. Автоматизированный ввод начальных данных в систему	16.09.2015	18.09.2015	Эксперт по техническим вопросам
13. Начало промышленной эксплуатации модуля	19.09.2015		Руководитель группы внедрения, руководители подразделений

### 3. Стоимость внедрения модуля

Оценка общей стоимости внедрения модуля «Финансовый менеджмент» на рассматриваемом предприятии представлена данными табл. 2. Следует заметить, что все статьи затрат за исключением расходов на оплату труда достаточно универсальны и, как следствие, актуальны для множества других предприятий.

Конкретные значения в статьях затрат рассчитаны следующим образом. Затраты на приобретение модуля «Финансовый менеджмент» определяются ценой этого модуля. Расходы на оплату труда собственных сотрудников представляют собой надбавку к заработной плате, исчисляемую как процент от основной заработной платы конкретного сотрудника завода. Величина данной надбавки варьируется в течении срока внедрения модуля, в зависимости от степени участия конкретного сотрудника в проводимом в соответствующий месяц этапе процесса внедрения. Расходы на оплату труда специалистов сторонних организаций складываются как сумма заработных плат помощника руководителя проекта от производителя и консультанта по корпоративным информационным системам, выплачиваемым заводом в период реализации проекта внедрения.

Таблица 2. Суммарные затраты на внедрение модуля  
«Финансовый менеджмент»

Статья затрат	Объемы финансирования, тыс. руб.									
	Январь, 2015 г.	Февраль, 2015 г.	Март, 2015 г.	Апрель, 2015 г.	Май, 2015 г.	Июнь, 2015 г.	Июль, 2015 г.	Август, 2015 г.	Сентябрь, 2015 г.	Всего
Приобретение модуля	150	–	–	–	–	–	–	–	–	150
Расходы на оплату труда:										
– собственных специалистов	27.65	58.25	52.5	45.9	45.2	42.25	37.9	37.2	33.55	380.4
– специалистов сторонних организаций	85	85	85	85	85	85	85	85	85	765
Закупка материалов и оборудования	108	11	1150	1150	–	–	–	20	–	2439
Затраты на методическую поддержку	–	–	5	5	5	5	5	5	5	35
<b>Итого:</b>	<b>370.65</b>	<b>154.25</b>	<b>1292.5</b>	<b>1285.9</b>	<b>135.2</b>	<b>132.25</b>	<b>127.9</b>	<b>147.2</b>	<b>123.55</b>	<b>3769.4</b>

Следующей статьей затрат является закупка материалов и оборудования, стоимость которого приведена в табл. 3. Стоимость нижеперечисленного оборудования подсчитана на основе средней рыночной цены данных товаров.

Последней статьей затрат является методическая поддержка реализации проекта внедрения, в стоимость которой включена организация семинаров для сотрудников и подготовка печатной продукции виде инструкций и рекомендаций по работе с новым модулем.

Как видно из табл. 2, суммарная ориентировочная стоимость внедрения модуля «Финансовый менеджмент» составит 3 769 400 рублей.

Таблица 3. Стоимость материалов и оборудования

Статья затрат	Стоимость, тыс. руб.	Количество, шт.	Сумма, тыс.руб.
Сервер	80	1	80
Программное обеспечение для сервера	28	1	28
Wi-Fi точка доступа DruyTek Vigor2930n	11	1	11
Компьютеры	20	100	2000
Программное обеспечение для ПК	3	100	300
Информационные экраны	10	2	20
<b>Итого</b>			<b>2439</b>

#### 4. Ожидаемый эффект от внедрения модуля

Внедрение модуля «Финансовый менеджмент» позволит автоматизировать следующие процессы:

- разработка и анализ исполнения бюджетов всех уровней;
- составление и контроль исполнения платежных календарей;
- централизованный контроль исходящих платежей;
- проведение финансового анализа, расчета финансовых показателей на основе фактических и прогнозных данных.

В организационном плане внедрение модуля «Финансовый менеджмент» позволит:

- снизить трудоемкость выполнения автоматизируемых процессов;
- унифицировать документооборот, практически полностью исключить из него бумажные носители;
- уменьшить потребности в персонале;
- эффективнее использовать средства фонда оплаты труда.

Предложенные меры позволят удовлетворить наиболее существенные информационно-аналитические потребности руководства предприятия, связанные с отслеживанием движения финансовых потоков, выполнением финансового анализа, расчетом финансовых показателей на основе фактических и прогнозных данных. С достаточно высокой степенью уверенности можно ожидать повышения конкурентоспособности рассматриваемого предприятия за счет более эффективного и компетентного управления, основанного на анализе более полного и структурированного набора исходных данных.

#### 5. Заключение

Изложена методика внедрения модуля «Финансовый менеджмент» из контура «Финансово-экономическое управление» корпоративной информационной системы

«Флагман» на машиностроительном предприятии, созданная на основе опыта внедрения контура «Управление производством» той же системы. Определены:

- 1) состав группы внедрения и обязанности членов этой группы;
- 2) план работ по внедрению, включающий этапы их длительности и ответственных за реализацию работ каждого этапа;
- 3) ориентировочная стоимость внедрения модуля;
- 4) ожидаемые производственно-экономические эффекты от результата внедрения модуля.

Материалы статьи могут служить ориентиром для специалистов, решающих вопросы улучшения процессов управления на собственных предприятиях.

## Литература

- [1] Белов В. В., Чистякова В. И. Проектирование информационных систем : для студ. учреждений высш. проф. образования / под ред. В. В. Белова. — М. : Издательский центр «Академия», 2013.
- [2] Акперов И. Г., Сметанин А. В., Коноплева И. А. Информационные технологии в менеджменте : учебник. — М. : НИЦ ИНФРА-М, 2014.
- [3] Трубочкин А. А., Малыгин Е. О., Никульчев Е. В. Оценка экономических ресурсов при управлении программными проектами // Экономика. Налоги. Право. 2011. № 3. С. 206–212.

### **Авторы:**

*Белов Владимир Викторович*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вычислительной и прикладной математики Рязанского государственного радиотехнического университета

*Некрасов Михаил Васильевич*, магистрант Рязанского государственного радиотехнического университета.

## Methodics of the Cost Estimates for the Introduction Module of the Corporate Information Management System at an Engineering Enterprise

V. V. Belov, M. V. Nekrasov  
Ryazan state radio engineering university  
59/1, Gagarin St., Ryazan, Russia, 390005  
e-mail: vvbelloff@yandex.ru, ne.mihail@mail.ru

*Abstract.* The article describes the methodics of introduction of the module "Financial Management" from the circuit "Financial and economic governance" corporate information system "Flagman" at an engineering enterprise, founded on the experience of introduction the circuit "Production Management" of the same system. Introduction is carried out to meet the specific information and analysis needs of the enterprise managers. Planned work, and estimated the approximate cost of introduction the module.

*Key words:* corporate information systems, financial management, Business Process Management, management, estimation cost of introduction

### Литература

- [1] Belov V. V., Chistjakova V. I. (2013) *Proektirovanie informacionnyh system*. Moscow: Izdatelskij centr «Akademija». (In rus.)
- [2] Akperov I. G., Smetanin A. V., Konopleva I. A. (2014) *Informacionnye tehnologii v menedzhmente : uchebnik*. Moscow: NIC INFRA-M. (In rus.)
- [3] Trubochkin A. A., Malygin E. O., Nikulchev E. V. (2012) Ocenka jekonomicheskikh resursov pri upravlenii programmnyimi proektami. *Ekonomika. Nalogi. Pravo*, 3, 206–212. (In rus.)

## Хозяйственный порядок в Британии в XVIII – начале XX вв. О причинах кризиса капитализма «Нулевая депрессия»

Г. Г. Попов

Московский технологический институт  
119334, Москва, Ленинский проспект, 38а  
e-mail: GGPopov2009@mail.ru

*Аннотация.* Настоящая статья посвящена рассмотрению институционально-идеологических причин кризисов рыночного хозяйства. Автор обращается к анализу данных по экономическому развитию Британии в XVIII – нач. XX вв. Выдвинут тезис, что Великая депрессия имеет те же корни, что и спад в капиталистической экономике последней четверти XIX в. — непропорциональное распределение доходов между наемными работниками и предпринимателями.

*Ключевые слова:* Великая депрессия, капитализм, классическая политическая экономия, промышленный переворот, институциональная экономика.

### 1. Введение

В современной науке и политике обострились кризис и дискуссия в аспекте противостояния двух систем взглядов на развитие общества — неоконсервативного и социал-либерального, что обусловлено минувшим глобальным финансовым кризисом и его последствиями<sup>1</sup>. Главные вопросы, вокруг которых идут споры, столь же древние, как и разумная жизнь человечества, кто и сколько должен отдавать средств на общественные нужды, и кто, сколько и почему должен получать средств на жизнь.

Не так давно вышла книга Дж. Стиглица и Линды Билмес «Война стоимостью в три триллиона долларов», посвященная расходам на войну в Ираке [16]. Получилось так, что США только на вторую иракскую кампанию потратили порядка 3 трл долларов, что на 20–25% больше, чем военные расходы США в течение всей Второй мировой войны, если сравнивать по паритету покупательной способности доллар того времени с долларом сегодняшним. Только в ходе второй иракской войны американской армии противостоял намного более слабый противник, нежели императорская Япония и нацистская Германия.

---

<sup>1</sup> На тему этой дискуссии см.: Неравенство доходов и экономический рост: стратегии выхода из кризиса / под ред. А. Бузгалина, Р. Трауб-Мерца, М. Воейкова. — М : Культурная революция, 2014.

Расходы государства увеличились, по сравнению с началом XX века, в разы, при этом эффективность государственного аппарата не всегда росла в соответствии с увеличением расходов, а в случае с Россией можно говорить о кризисе государства как участника экономических отношений в обществе, если обратиться к опыту прошлого века.

Проблема заключается не только в переоценке роли государства, но и в сущности самой индустриальной цивилизации, которая, в отличие от аграрной цивилизации, опирается на сравнительно быстрый демографический рост и стремительную урбанизацию. Те страны, в которых демографический рост прекратился незадолго после Второй мировой войны, компенсируют дефицит населения приемом иммигрантов, таковы правила индустриальной рыночной экономики, что подметил еще К. Поланьи, рост прибыли и постоянное восполнение убыли пролетариата есть столпы капитализма.

Мы говорим индустриальная экономика, характеризуя современную экономическую систему Запада, так как не принимаем теорию постиндустриализма, которая, по нашему мнению, просто отражает особенности распределения национального дохода в развитых странах. Никакой экономики без промышленности и сельского хозяйства быть не может.

Для обеспечения постоянной урбанизации, которая характеризуется как ростом мегаполисов, так и частой сменой центров своего роста, необходимо жилье, вещь достаточно дорогостоящая в условиях нашей современности. Во-вторых, в экономике должен иметь место непрерывающийся в длительном периоде (более 3 лет) рост доходов населения, а не только его отдельных малочисленных сегментов, пусть процент его будет небольшим, но в масштабах крупных государственных комплексов его денежное выражение должно быть внушительным. Рост доходов обеспечивает увеличение спроса населения, что снижает риски банкротства производителей благ, если исходить из равновесия Курно, позволяя им наращивать производство либо поддерживать его хотя бы на уже достигнутом уровне. В-третьих, производство должно быть достаточно интернационализировано, поскольку, как показал опыт еще меркантилистских государств, выигрывает та экономика, которая наиболее открыта для внешнего обмена товарами и факторами производства.

Как показал опыт развития капитализма, чисто рыночные механизмы не в состоянии решить все три задачи индустриальной цивилизации. Можно лишь найти оптимальные пропорции между рынком и административным вмешательством. Но исторический опыт указывает, что общество не всегда может это сделать, поскольку для решения уже этой четвертой, скажем, сверхзадачи, необходимо построение институциональных матриц, поддерживающих баланс интересов в обществе.

В середине XIX века Карл Маркс предсказал кризис капитализма в обозримом из его времени будущем. Вера в кризис и «загнивание» капитализма жила в СССР и всем Восточном блоке десятилетиями, значительные усилия пропаганды, которой служила и социалистическая политэкономия, были направлены на внушение массам идеи скорого конца капиталистической системы. Однако проникновение через

«железный занавес» западной культуры и информации об истинном положении дел на Западе говорили об обратном.

В 1990-х годах либеральные реформаторы увлеклись другой идеологией — рыночным фундаментализмом. Если бывшие союзники СССР по Восточному блоку брали на Западе новейшие институты, то гайдари-чубайсовская группировка настаивала на копировании старых западных институтов, внушая обществу, что это и есть истинно рыночные институты, да, но только никто не сказал тогда, что на Западе они умерли уже к 1950-м годам. Попытки отдельных ученых, как, например, Ю. Давыдов и Р. Капелюшниковая объяснить, что не всякая модель рыночной экономики является передовой, а Запад в прошлом «набил себе шишки» на свободном рынке и т. д. и т. п., не встречали поддержки ни в правящих кругах, ни у далеких от данных теоретических проблем масс населения. Обществу, как и в 1917 году, навязали новую идеологию, в основе которой опять-таки лежали вульгарно понятые идеи А. Смита, который построил теоретическую модель экономики, в которой нет коллективных действий, а, значит, нет и политики [2, с. 40–42], чего, как он сам же признал, не может быть в реальной жизни.

Карл Маркс не был столь далек от истины, когда говорил, что капитализм идет к своему завершению. Только Маркс западную либеральную модель капитализма отнес к капитализму вообще, смешав при этом политику и экономику и отказав рабочим массам в коллективном действии, направленном на смягчение противоречий капиталистической системы. Маркс, в принципе, не отрицал существования капитализма в рамках корпораций Позднего Средневековья, считая, правда, что гильдии и цеха разлагались на этапе зарождения капитализма, что, конечно, справедливо. Но, если капиталистические отношения имели место когда-то в условиях слабой степени отчуждения пролетариата от средств производства, то почему данная ситуация не может повториться? Маркс, впрочем, отрицал такую вероятность.

В основе марксистского видения эволюции капитализма лежали идеи постоянного роста прибыли и стремления к этому владельцев капитала и конкуренции. Однако для капиталистической организации, как и для любой организации, важно выжить, если конкуренция мешает выживанию, то организации пойдут, вероятнее всего, на коллективное соглашение, ограничивающее конкуренцию, а также, возможно, рост стоимости факторов производства, главный из которых — труд.

Асимметрия в распределении доходов, которую К. Маркс выделил как последствие отчуждения труда от средств производства, явилась результатом, скорее всего, самой архитектуры западного общества эпохи расцвета либерализма — вторая половина XVII–XIX веков. Суть философии устройства западного либерального общества заключается в мнении голландского республиканца Де-Витта, который восхищался системой жесткого налогообложения наемных работников, которая делала последнего «покорным и задавленным трудом». Держать рабочего «в черном теле» предлагал У. Петти, который даже призывал превратить всех ирландцев в полурабов в Англии, т. е. учредить спартанскую илотию в Британии XVII века.

Заработная плата на Западе с XVII в. постепенно жестко привязывалась к стоимости хлебного пайка, что укладывалось в экономические представления либера-



лизма того времени о справедливой зарплате. Труд рассматривался как гомогенная категория, сведенная к элементарному объему затраченного на производство времени. О необходимости стимулирования роста квалификации и улучшения условий труда с целью повышения его производительности задумались на Западе только в конце XIX века, инициатива в этом начинании исходила с одной стороны от социалистов, а с другой — от государственных чиновников. Работодатель на Западе мало заботился о благосостоянии работника, что было продиктовано либеральной философией того времени.

Карл Маркс сильно ошибался, когда думал, что фирмы будут обязательно конкурировать, господство олигопольной модели капиталистического хозяйства в длительном периоде не принималось им во внимание. Но капиталист, повторимся, стремится в первую очередь выжить и повысить личное потребление либо удержать его на определенном уровне. С этой целью капиталист будет вступать в соглашения с другими капиталистами.

Другой важный аспект, какой не рассмотрел Маркс, была асимметрия информации на рынке труда, которая создавала эффект привычки в определении заработной платы.

Несмотря на все нюансы, какие не учел К. Маркс при анализе динамики современного ему либерального капитализма, в целом марксистское видение судьбы капитализма оказалось не столь далеким от истины, однако прогноз Маркса не оправдался, свою роль сыграла политика на мир-системном уровне. Маркс не учел такого важного игрока капиталистического мира — государство с его чиновничеством, и это был крупнейший капиталист.

Великая депрессия, или Вторая депрессия капитализма, была порождена активной ролью государства в экономике. Первая Депрессия, охватившая Запад между 1874 и 1914 годами, имела затяжной и намного менее болезненный в то же время характер в силу того, что государственные расходы редко превышали 15% от ВВП. Как доказывал Мюррей Ротбарт, экономика США имела больше шансов на быстрое восстановление после кризиса октября 1929 года, нежели как имело место быть, если бы не дешевый государственный кредит [4]. Однако едва ли удалось бы избежать вмешательства центральной власти в американском случае, поскольку механизмы экономической системы с ее могущественными центральными банками и госкорпорациями уже были созданы и задавали пропорции в развитии экономик Запада.

## 2. Кризисные тенденции в развитии капитализма

Первое, что обращает на себя внимание при анализе капиталистической системы в конце XIX–нач. XX века — это ценовая ситуация на рынках мировых экономических лидеров — Британии и США.

Как приводится у Симона Литмана, потребительские цены в Англии не росли с 1912 года вплоть до начала войны. Кроме того, индекс потребительских цен в метрополии весной 1914 г. был 85% от уровня 1867–77 годов, когда в Объединенном

королевстве был достигнут пик роста цен. Как отмечает, Литман, 1912–начало 1914 годов было еще не самым плохим, так как средний уровень цен в Англии в этот период был на 10% выше, чем в среднем за декаду с 1904 по 1915 год. Грубо говоря, в начале XX века цены «провалились» примерно до 70% от уровня зенита викторианской эпохи [14, р. 8].

Падения общего уровня цен стало во многом следствием «Нулевой депрессии XIX века» в 1873–1896 годах, когда цены и ставки процента так сильно упали, что это, по оценкам современников, привело экономику Британии к сильному откату назад. Впоследствии были высказаны оптимистические мнения, что депрессия стала началом нового цикла в развитии экономики и никакого серьезного спада в производстве не было. Тем не менее, удар «депрессии» викторианской эпохи пришелся в основном на Англию. Ситуация 1929–1934 годов в мире не имела места в конце XIX века во многом в силу того, что кризис в Западной Европе совпал с модернизацией экономик в странах периферийного капитализма, в первую очередь это касается Латинской Америки, России и Японии. На другом берегу Атлантики, в США, тоже произошли события, смягчившие английскую депрессию, гражданская война 1861–1865 годов, спровоцировавшая инфляционный экономический рост в Северной Америке. Освобождение Юга от рабовладельцев облегчило приток инвестиций и рабочей силы в наиболее продуктивные регионы США.

Обращает на себя внимание также и такой факт, как замедление темпов прироста британского ВВП на душу населения в период с 1870 по 1913 год, по сравнению с периодом с 1820 по 1870 годы, когда в других странах Европы ситуация была несколько иной (рис. 1).

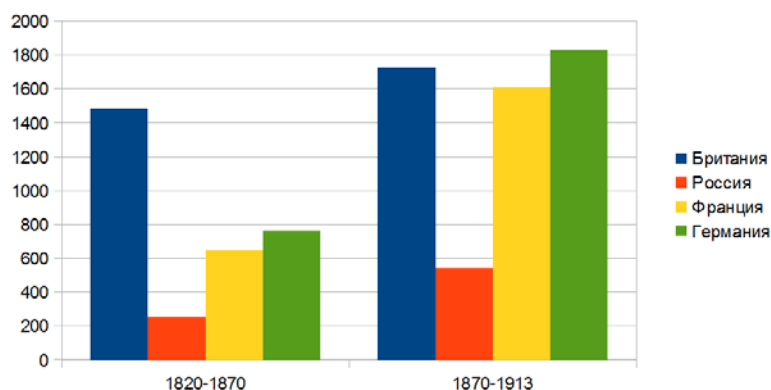


Рисунок 1. Прирост ВВП на душу населения по ряду стран Европы  
(доллары США в ценах 1990 г.)

Из данных, приведенных в рис. 1, мы видим более высокую динамику роста экономик континентальной Европы в период с 1870 по 1913 год, и это — в условиях войн и революционных потрясений. Надо также учесть, что рост британской

экономики в XIX веке был обеспечен высокими темпами освоения железнодорожного строительства.

К 1907 году исследователи обнаружили такую тенденцию, как снижение продуктивности труда в Британии, по сравнению с Германией, правда, разрыв в целом по промышленности не был столь значительным. Тем не менее немцы опережали по эффективности применяемого труда в новых отраслях и металлургии, что особенно примечательно, так как Англия держала в этой сфере первенство на протяжении почти всего XIX века.

«Английская болезнь» имела давние корни, начавшись еще на заре викторианской эпохи и начав прогрессировать за 20 лет до начала Первой мировой войны. Суть ее заключалась в следующем: сделав ставку на рост производства за счет элементарного увеличения трудозатрат, Англия достаточно быстро столкнулась с проблемой обеспечения такого роста сырьем и продовольствием. Длительное время выручали колонии, однако издержки по обеспечению контроля над ними ложились на все общество. Кроме того, после Наполеоновских войн уровень жизни в колониях стал неуклонно отрываться в сторону ухудшения от Британии. Контраст в уровне жизни наблюдался даже между Ирландией и непосредственно Англией, да и внутри Англии существовали межрегиональные различия. Все это неуклонно вело к тому, что спрос на английскую продукцию не рос в необходимом объеме даже внутри империи.

Рост объемов торговли между США и Англией после окончания войны Североамериканских колоний за независимость значительно возрос по сравнению с колониальным периодом. Это говорит в пользу того, что колонии не были эффективным средством решения проблемы дефицита сырья и продовольствия.

Мы не согласны с мнением Дж. Арриги, что дефляция в британской экономике стала результатом длительного мира, который установился на почти столетие после разгрома Наполеона под Ватерлоу [1] (сам факт долгого мира не наблюдается, если вспомнить, сколько Британская империя воевала после разгрома Франции в 1813–1815 годах). Замедление роста экономики Британской империи было спровоцировано системой распределения доходов в британском обществе. Рецидивом англоамериканской модели экономики стала Великая депрессия 1929–1934 годов, которая протекала тяжелее, чем кризисы XIX века, из-за излишней интервенции государства.

Чистый экспорт Британии неуклонно уменьшался с 1720 года, резко возрос, приобретя положительное значение в 1816 году, а потом снова покатился вниз примерно с 1820 года, когда общий объем выпуска товаров и услуг достиг примерно 315 млн фунтов стерлингов (рис. 2).

В 1900 году чистый внешний долг Англии составил почти 2,4 млрд фунтов при общем объеме выпуска товаров и услуг в национальной экономике почти 1,6 млрд фунтов стерлингов [7, р. 75]. По мнению некоторых исследователей, Промышленная революция в Англии финансировалась в значительной степени иностранными инвестициями. Четверть всего национального долга Британии имела голландское происхождение вплоть до начала XIX века. После оккупации Нидерландов армией

Наполеона Англия превратилась сама в крупнейшего мирового кредитора, что отразилось потом на ее экономическом развитии на протяжении всего XIX века. Однако рост экспорта капитала пришелся в основном на 1880–1890 годы, не превышая до 1870 года 50 млн. фунтов в год, что меньше, чем заимствования Британии до Наполеоновских войн. В 1770 году общая задолженность Объединенного королевства, исключая коммерческую задолженность, составила 100 млн фунтов.

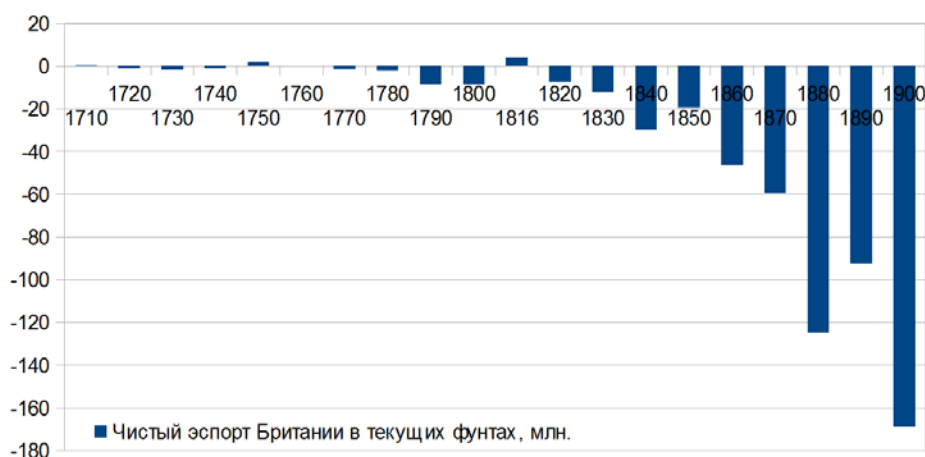


Рисунок 2. Чистый экспорт товаров. Составлено по [7]

Отрицательное значение сальдо торговли товарами и услугами Англии был бы еще выше, если бы не Навигационный акт, который на столетия закрепил за Британией первенство в торговле внутри ее империи, 70% всех отгрузок в британских портах осуществлялось с английских судов. Перевозки британских товаров из других стран английскими же судами включались в торговое сальдо (фактически это были издержки внешней торговли империи, ложившиеся в итоге на плечи покупателей). Имея отрицательное сальдо внешней торговли, Британия при этом превратилась в кредитора.

Английский капитал за рубежом составлял в начале XX века примерно 2,5 млрд ф. ст., что почти эквивалентно накопленному Британией в 1900 году внешнему долгу. Англичане инвестировали капитал не только в промышленность других стран, но, как показывает опыт России, и в сельское хозяйство. Тем не менее финансовые ресурсы и усилия предпринимателей отвлекались из Англии в другие страны, что усиливало только «английскую болезнь».

Дешевый труд, наличие которого было во многом спровоцировано искусственным разорением государством английской деревни, вел к консервации старых форм организации бизнеса, у британских предпринимателей не было стимулов к совершенствованию организации производства и повышению квалификации.

То, что британские предприниматели до XX века старались нанимать больше несовершеннолетних и женщин, нежели взрослых мужчин, было продиктовано не

более высокой хозяйственной эффективностью женского и детского труда, а элементарным управленческим невежеством, базировавшимся на традиционном представлении, что с женщинами и детьми меньше хлопот, и им можно меньше платить. Этому есть свидетельства. Например, после забастовки мужчин-ткачей в Манчестере 1829 года в этом городе работодатели стали активнее нанимать женщин на ранее занимавшиеся мужчинами позиции. Манчестерские мужчины тогда так обиделись, что не стали брать женщин в рабочие ассоциации, так как женщины были в Англии всегда менее активны в коллективных действиях [15, р. 32].

Однако низкая зарплата как фактор предпочтения женской занятости в Англии первой трети XIX в. является скорее всего заблуждением современников и последующих исследователей. По ряду специальностей в результате исследования истории труда в отдельных регионах Англии было выявлено, что зарплаты женщин были выше, чем у занятых в сельском хозяйстве мужчин. Причем, разрыв наблюдался иногда более 20% [15, р. 37]. Грубо говоря, если из села в город приходил наниматься мужчина, его могли взять на работу с меньшей вероятностью, нежели женщину, и ему ничего не оставалось как трудиться в поле за низкий заработок.

Но в некоторых регионах Англии, напротив, разрыв был в пользу мужчин, занятых в сельском хозяйстве, хотя доля женщин в аграрном секторе неуклонно увеличивалась, начиная с эпохи Войны за Испанское наследство. К 1800 году доля наемных работников-мужчин в аграрном секторе сократилась с приблизительно 61,2 до 32,6% [6, р. 30].

Мотив более широкого найма женщин и детей заключался также в особенностях технологий в текстильной промышленности, которая требовала ловкости и гибкости, нежели силы. Хотя, на наш взгляд, это едва ли было главным фактором во всех случаях найма, поскольку увеличение доли добавленной стоимости хлопкопрядения в общей добавленной стоимости английской промышленности несколько не изменило пропорции применения женского и мужского труда, то же самое можно сказать и о сдавшей свои позиции к 1830 году шерстяной отрасли [6, р. 33]. Никаких изменений в пропорциях найма мужчин и женщин не наблюдается в практически не развивавшемся прядении льна. Если бы женский труд был в среднем намного дешевле мужского труда, то в отраслях, переживавших спад, предпочтение отдавалось, конечно же, женщинам. К тому же, изменение структуры найма в сельском хозяйстве в пользу применения женского труда показывает, что женский труд все-таки оставался предпочтителен не только в силу технологических причин.

Другой важной особенностью структуры занятости в английской легкой промышленности был разрыв в пропорциях мужчин и женщин по возрастам. В возрасте 10–19 лет соотношение мужчин и женщин было одинаковым, в возрастной группе 20–39 небольшой перевес был в пользу женщин, в группе после 40 лет перевес был явно в пользу мужчин.

Тем не менее, надежды британских работодателей, что женщины будут более сговорчивы, в целом не оправдались. В 1842 году вспыхнул бунт манчестерских ткачей, в котором активное участие принимали женщины. Во время тех же манче-

сктерских выступлений мужчины выступили с требованием прекратить дискриминацию женщин в оплате труда. Во время Престонских выступлений 1853–54 годов женщины также принимали активное участие в протестах. В крупнейших за историю викторианской эпохи забастовках 1858–1861 годов ситуация повторилась, причем, женщины уже в массовом порядке принимались в рабочие ассоциации. В 1847 году власти были вынуждены пойти на сокращение рабочего дня женщин до 10 часов.

С законом о десятичасовом рабочем дне имело место интересное наблюдение, сделанное общественными активистами, за 10-часовой рабочий день горой стояли высоко- и средне-оплачиваемые специальности, зарабатывавшие от 19 до 35 шиллингов в неделю. Соответственно, 19 шиллингов было неким порогом, за которым увеличение трудовых усилий имело незначительный смысл либо таковой вовсе отсутствовал. Примечательно и то, что низкооплачиваемые работники редко составляли более 30% от всего коллектива. Как правило, это были люди, не осознававшие своего тяжелого социального положения и до конца не понимавшие последствий переработок на производстве. Очевидно, в 1800–1820 годах таких работников в Англии было больше, на чем и держался «дикий капитализм». Как только рабочие стали осознавать свои социальные издержки, связанные с переработкой и большими трудовыми усилиями в целом, отношения труда и капитала стали кардинальным образом меняться.

Мы видим, что 10-часовой рабочий день для женщин и ограничение применения детского труда несколько не снизили темпы экономического роста Англии. Изменения происходят после 1870 года, когда основные законы, регулировавшие рынок труда в Британии, были уже приняты и всюду действовали. Принятие законов, ограничивавших эксплуатацию рабочих и повышавших их заработную плату, принимались в Англии с некоторым запозданием. Кроме того, в промышленности продолжали действовать так называемые работные дома, которые действовали на рынок труда в сторону уменьшения заработной платы. В случае с неквалифицированной рабочей силой работодатели использовали Акт о 10-часовом рабочем дне для снижения оплаты труда, что не могло не сказаться на покупательной способности населения.

Практически до 1830-х годов Англия не встречала на континенте сильную конкуренцию. Французская промышленность только проходила в 1820–1840 годах стадию своей промышленной революции, в Германии наблюдались только ее начала. До 1870-х годов французские фирмы с их преимущественно полукустарным и кустарным производством едва ли могли серьезно конкурировать с Англией. То же самое можно сказать и о немецком бизнесе. Однако вторая промышленная революция 1870–90 годов сильно ослабила позиции Англии в Европе и мире. У власти на континентальной Европе стояли уже не феодальные дряхлые правительства, а бюрократические и тесно связанные с национальным частным бизнесом политические силы. Это и стимулировало рост промышленного производства на континенте, а, значит, и рост конкуренции английским товарам. Все это сопровождалось низким ростом покупательной способности населения в самой Англии и Британской импе-

рии в целом (рис. 3–7), что было спровоцировано пережитками «дикого капитализма».

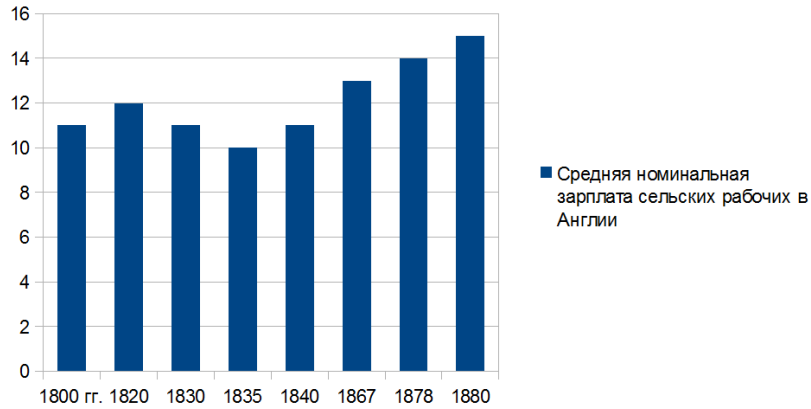


Рисунок 3. Динамика оплаты труда в сельской Англии, включая оплату труда в сельской промышленности, шиллингов в неделю. Составлено по [8, р. 38–39]

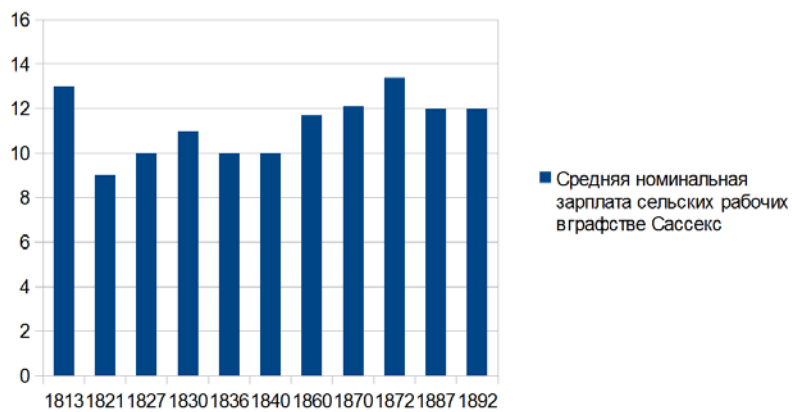


Рисунок 4. Динамика оплаты труда сельских рабочих в графстве Сассекс. Составлено по [8, р. 40]

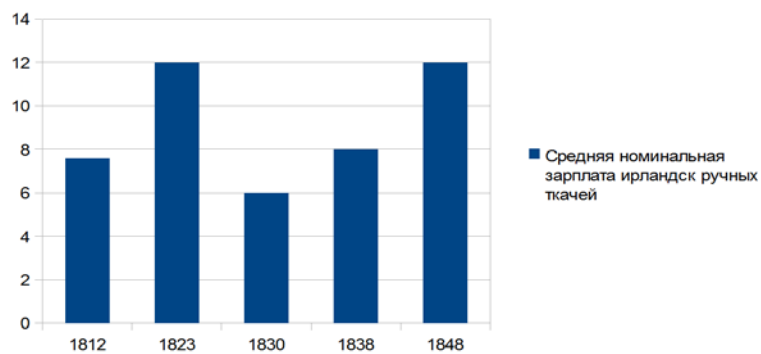


Рисунок 5. Зарплата ткачей в Ирландии, шиллингов в неделю.  
Составлено по [8, р. 53]

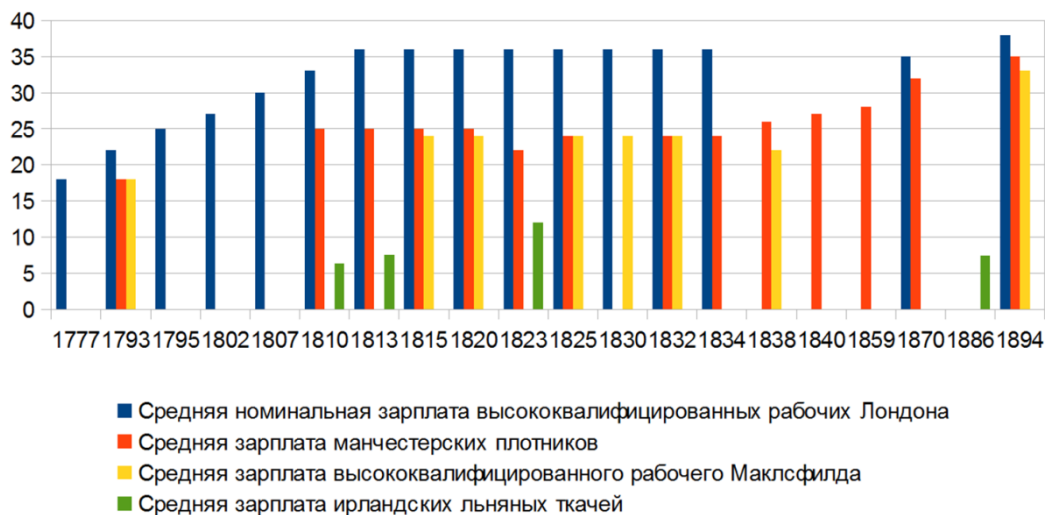


Рисунок 6. Средняя номинальная зарплата высококвалифицированных  
и среднеквалифицированных рабочих по ряду городов и регионов  
Британской империи, шиллингов в неделю. Составлено [8, р. 60]



Рисунок 7. Динамика ежегодной зарплаты (ф. ст.) в  
Объединенном королевстве. Составлено по [8, р. 65]

Нам пока мало что говорят приведенные в рисунках выше данные. Очевидность такова, что динамика заработной платы в Британии XIX века была низкой. Рост благосостояния рабочих происходил в основном за счет снижения цен, однако этот эффект сильно снижался ростом безработицы в условиях дефляции. Для британской экономики в целом данное положение с доходами работающего населения, к нему английская статистика относилась и предпринимателей, могло означать одно — снижение объема сбережений, во всяком случае, в британской экономике не



было базиса для их роста, так как прирост общей суммы доходов работающих был незначительным, если судить хотя бы по периоду между 1866 и 1884 годами (рис. 7).

В Англии 1860-х годов значительная доля работников относилась к разряду сельских рабочих и неквалифицированной рабочей силы (рис. 9).

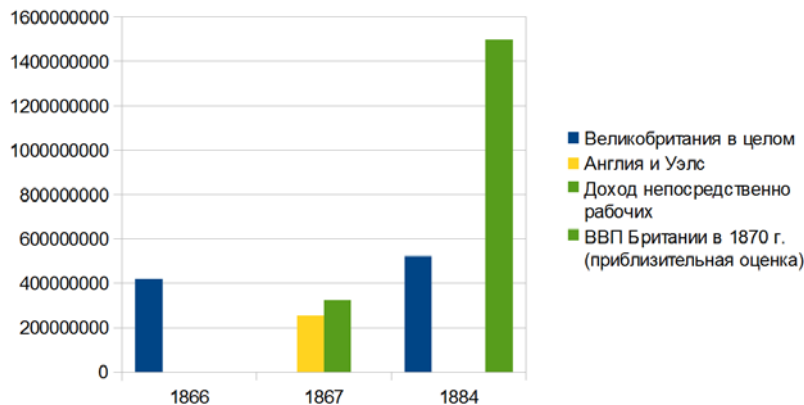


Рисунок 8. Общий объем доходов работающего населения, ф. ст. в текущих ценах [8, р. 65]

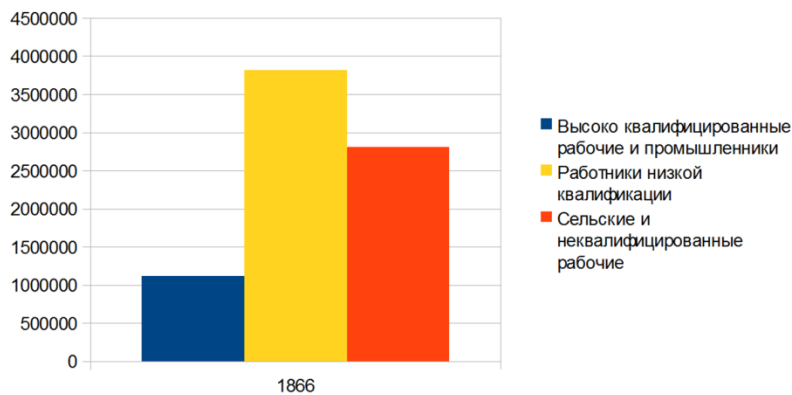


Рисунок 9. Структура занятости (млн чел.) в Англии и Уэльсе по данным 1866 г. Составлено по [8, р. 65]

В Англии в 1803 году высококвалифицированный рабочий, к таковым в первую очередь относили мастеров, зарабатывал в год 55 фунтов, в 1866–50. Это означало снижение мотивации у среднего класса, а также его доходов, с которых в индустриальных экономиках в основном и делались сбережения. К тому же, внутри среднего класса наблюдалась дифференциация в доходах в зависимости от территории и профессии. Все население Англии и Уэльса тогда насчитывало около 23 млн человек. Учитывая, что работоспособное население тогда составляло в За-

падной Европе 50–60%, в Англии в 1866 году около 2/3 работоспособных жителей трудились по найму либо являлись мелкими предпринимателями.

Таким образом, по нашим оценкам, 27–33% ВВП Объединенного Королевства составляла оплата труда и доход мелких предпринимателей. Для практически всего послевоенного периода в Великобритании и США этот показатель не превышал 50%.

Но еще большей проблемой была низкая покупательная способность населения, как определил Боулри, по ряду специальностей зарплата в Британии практически не росла с конца 1840-х годов вплоть до 1891 года. Низкая оплата труда в деревне, в Ирландии она составляла в середине XIX века иногда 2 шиллинга в неделю, создавала ситуацию, когда городу было сложно сбыть продукцию в село, к тому же, часть городского пролетариата была вынуждена высылать деньги пожилым родителям в деревню, так как там отсутствовала система социального страхования и были низкие нормы сбережений у населения, в пожилом возрасте сельским жителям Британии часто просто не на что было существовать.

Куда уходили 67–73% ВВП Британии во второй половине XIX века, а точнее кому? В первую очередь нам надо, конечно, вспомнить о ренте. Низкий уровень цен на промышленную продукцию и частая дефляция повышали доходы землевладельцев и владельцев недвижимости в целом.

Незадолго после Первой мировой войны национальный доход Великобритании составлял 4060 млн ф. ст., из них чуть больше 2 млрд ф. ст. приходилось на оплату труда, 405 млн — на проценты государственных займов и 665 млн на процент от частных ценных бумаг и депозитов, а также ренту с недвижимости. Для конца XIX века последняя статья национального дохода должна была быть выше, ведь то было время высокой конъюнктуры рынков ценных бумаг. Государственные расходы после Первой мировой войны составляли в Британии 285 млн ф. ст., а прибыль фирм — только 685 млн ф. ст. [13, р. 7], и это в условиях благоприятной для Англии рыночной конъюнктуры.

В 1920-е годы английская промышленность хоть и переживала не лучшие времена, но все-таки ее положение было более благоприятным, нежели перед Первой мировой войной, когда прибыли бизнеса были не столь значительными. Исследование британского журнала «Экономист» показало, что средняя прибыль фирмы в Англии составляла в 1914 году 76 тыс. ф. ст. Однако в базовых отраслях промышленности после 1920 года начался кризис, отбросивший экономику страны по ряду пунктов в состояние 1911–13 годов.

Теперь подходим к другой причине «английской болезни», скорее всего, это и была первопричина — рента. Рента — это плата за имущество его владельцу. В Англии, как и везде, были два типа ренты — владельцы недвижимости и владельцы ценных бумаг, наиболее надежными из них были облигации государственного займа.

Чтобы понять особенности англо-американской модели экономики (США, как мы увидим ниже, не столь значительно отличаются от Англии в экономическом аспекте), надо вернуться в далекий 1066 год. Победа при Гастингсе ознаменовала

собой начало уникальной модели средневекового общества в Европе — английско-го, собственно, и название Англия стало приживаться на Британских островах с тех пор. Уникальность нового порядка в Британии, порядка норманнских завоевателей, заключалась в том, что земельный фонд и права на торговлю, особенно внешнюю, оказались сконцентрированы в руках узкого круга лиц, в основном это были те, чьи предки проявили верность Вильгельму Завоевателю.

Земли общинников и старой английской знати были распределены среди мало-численной прослойки ленд-лордов, а права на торговлю — среди буквально 150–200 дельцов из Лондона и близлежащей местности. Все остальное население Англии оказалось на положении рабов и полурабов, кроме нескольких тысяч семей свободных крестьян, вероятно, многие из последних были потомками викингов, т. е., тех же норманнов, только завоевывавших Британию ранее.

Крестьянская община Англии оказалась ослабленной, ремесленные цеха мало-численными и слабее сплоченными, нежели на континенте, купечество малочисленным и слишком сильно связанным с королевским домом. Как ни странно, но именно эти обстоятельства породили то, что впоследствии назовут капитализмом в Англии. Концентрация земли позволила накопить капиталы и быстро превратить сельское хозяйство из средства прокормления крестьянских масс и дворян в источник прибыли, т. е., в зону высокой рентабельности.

Тесная связь ленд-лордов и дельцов из сити с короной обеспечивала взаимоконтроль государства и бизнеса, что, в свою очередь, создало почву для поиска компромиссов, одним из которых стала Великая Хартия вольностей. Но, кроме того, в Англии сложилась традиция — государство финансирует свои расходы преимущественно с займов, так как получить деньги от Парламента не всегда было просто.

В эпоху Наполеоновских войн государственный долг стал важной составляющей британских финансов. Но и после Ватерлоу расходы империи росли, так как надо было держать в покорности почти половину человечества, что нельзя было сделать без достаточно дорогостоящего флота. Перед Первой мировой войной империя имела совокупный долг в размере около 650 млн. ф. ст.

Согласно имевшей место до Первой мировой войны традиции фиска, налоги в Англии падали в основном на потребление, т. е., были косвенными, это означало, что фактически по государственному долгу расплачивалось население, расплачивалось, конечно, перед ленд-лордами и дельцами из сити, последние часто не были ни англичанами, ни кельтами.

Естественно, простой ткач из Манчестера либо плотник из Дублина не имели финансовых возможностей играть на бирже и приобретать ценные бумаги, сбережения порой не могли делать даже банковские клерки. Обеднение крестьянства и превращение его в пролетариат были опять-таки запрограммированы в 1066 году, когда крестьянская община лишилась большей части своих прав, их, можно сказать, вообще не было.

Итак, архитектура британской экономики до Первой мировой войны представляла собой пирамиду, у основания которой была масса потомков обезземеленных

крестьян, заработки которых обеспечивали им только пропитание, средний класс не превышал по численности во всей Британии двух млн человек, и его экономическое положение было не намного лучше, чем у пролетариата. На вершине пирамиды стояли Ротшильды и еще несколько приближенных к правительству семей финансистов, ну, а между ними и средним классом были 250 тыс. рантье, чье совокупное богатство превышало ежегодный доход всей Британии.

Выше мы сказали, что доходы от ренты в Англии были внушительными даже после Первой мировой войны, и это спустя 40 лет после обвала цен на зерно. Сейчас нетрудно подсчитать, зная численность землевладельцев, примерные доходы от земельной ренты в Англии и Уэльсе до сельскохозяйственного кризиса 1880 годов. В начале 1830 годов в центре метрополии (Шотландия и Ирландия не имели прав выдвигать кандидатов на выборы в Парламент) проживали 435 тыс. человек, чьи рентные доходы превышали 2 ф. ст. в год, из них две трети были мелкими землевладельцами, и только 180 относились к разряду крупнейших в Англии.

Если судить по доходам известного борца с отменой Хлебного закона герцога Ричарда Тепла, то доходы крупного ленд-лорда в 1840 годы составляли около 70 тыс. ф. ст. в год [5, с. 259]. Но были еще средние и мелкие землевладельцы и владельцы других видов недвижимости, кто получал ренту. Как определить их денежные поступления?

Расходы на аренду жилья (90% всей недвижимости в городах принадлежало классу рантье) составляли у английского рабочего в среднем 8% его дохода [9, р. 39]. Грубо говоря, в 1884 г. только с рабочих семей домовладельцы получили порядка 45 млн. ф. ст. ренты, исходя из данных общих доходов рабочих и мелких предпринимателей (подавляющее большинство рабочих не имели собственных квартир). Однако рента платилась также за индустриальные площади и за элитное жилье. Надо сказать, для большинства домохозяйств на Западе до 1920 годов аренда и покупка квартир была столь существенной проблемой, что это препятствовало трудовым миграциям даже в рамках одного округа. Санитарные условия жилищ рабочих даже в США в годы Первой мировой войны были в значительном числе случаев ужасными, по признанию специальных федеральных чиновников, занимавшихся этим вопросом [11, р. 17–18].

Проблема дефицита жилья была характерна для Европы в то время. По оценкам немецкого статиста Швабе, богатые европейцы отдавали в среднем 10–15% своего дохода на оплаты жилищной аренды, а простые рабочие — до 25%. Д. Рикардо несколько ошибся, решив, что рента в первую очередь влияет на рост цен товаров первой необходимости, на самом деле рента в XIX веке переместилась из сельского хозяйства в сферу городской недвижимости.

67% всех расходов английского рабочего приходилось на продукты питания [9, р. 39]. Почти 349 млн ф. ст. рабочие Британии, получается, потратили на пропитание, немалая часть этой суммы пошла на оплату ренты землевладельцам, так как даже в 1908 году после всех кризисов английского поместья у лиц, непосредственно обрабатывавших землю, было в собственности 12% земельного фонда Объеди-

ненного королевства<sup>2</sup>. В 1873 году 7000 тыс. английских дворян владели 80% всей земли в Британии. Магазины и склады тоже нередко располагались в арендованных у частных лиц помещениях.

Нам не так просто определить масштабы ренты в Британии конца XIX века и кануна Первой мировой войны. Если брать отмеченную для 1920 годов пропорцию прибыли и ренты и соотнести ее с начисленной за 1884 год общей суммой зарплаты, которая, конечно, могла стать иной к 1914 году, но едва ли намного, то мы можем приблизительно определить масштабы рентных поступлений в Англии до Первой мировой войны. Доходы по процентам с гос. займов, очевидно, возросли к концу Первой мировой войны в 10–12 раз, так как во столько же увеличился внутренний государственный долг. Поэтому до 1914 года выплаты по государственным займам едва ли превышали 50 млн ф. ст.

Как мы указали выше, ВВП Объединенного Королевства составили в 1870 году примерно 1,5–1,6 млрд ф. ст. При незначительном масштабе экономического роста Британия едва ли вышла к 1900 году на показатель в 2 млрд ф. ст. В 1913 году, по оценкам А. Медиссона, ВВП Британии равнялся 224,6 млн долларов в ценах 1990 года. В 1913 году доллар равнялся примерно 13,25 долларам конца XX века, в начале того же века ф. ст. стоил приблизительно 4,88 долларов. После простейших арифметических действий мы выходим на показатель ВВП Британии в 1913 году около 3,47 млрд ф. ст. в ценах того времени, из них около 0,6 млрд ф. ст. в среднем приходилось до Первой мировой войны на гос. расходы.

Между 1870 и 1913 годами, по Медиссону, ВВП Британии вырос почти в 2,2 раза, но основной прирост, как мы думаем, пришелся на период с 1899 по 1913 год, т. к. именно тогда в британской экономике стали широко применяться технические достижения Второй промышленной революции и государство увеличило расходы на оборону, в первую очередь, на строительство нового линейного флота. Кроме того, внесла свои коррективы англо-бурская война, в последний год этого конфликта Британская империя потратила почти 1,25 млрд ф. ст. [12, р. 602] на вооруженные силы, что эквивалентно почти 81 млрд долларов в ценах 1990 года.

Означает ли сказанное выше, что военные расходы, в первую очередь на ведение войны с бурами и строительство дредноутов, «разогнали» экономический рост Британии? В значительной степени это так, однако, на благосостоянии населения и прогрессе общества это сказалось минимальным образом. Первая мировая война показала, что в британской экономике были большие неиспользованные резервы. Тем не менее пример Британии начала XX века показателен, классический западный капитализм был в состоянии продемонстрировать экономический рост, когда в него вмешивалась рука государства, однако рост экономики без социальных реформ означал лишь обогащение узких сегментов общества. Капиталистическая система Британии столетиями работала на рост в первую очередь ренты.

## Литература

<sup>2</sup>Who Does Own Britain Today? Land Ownership in the 1970s Labour Research, vol. 68, no. 4.

- [1] *Арриги Дж.* Долгий двадцатый век. Деньги, власть и истоки нашего времени. — М. : Издательский дом «Территория будущего», 2006.
- [2] *Попов Г. Г., Щеголевский В. А.* Республиканизм и формирование концепции экономической свободы // Journal of institutional studies [Журнал институциональных исследований]. 2014. Т. 6. № 2. С. 27–42.
- [3] *Редер М. У.* Альтернативные теории труда в доходе // В кн. : Рынки факторов производства. Серия «Вехи экономической мысли». Вып. 3. — СПб. : Экономическая школа, 2000.
- [4] *Ротбард М.* История денежного обращения и банковского дела в США. — Челябинск : Социум, 2005.
- [5] *Фергюсон Н.* Восхождение денег. — М. : Астрель, 2010.
- [6] *Berg M.* What Difference Did Women's Work Make to the Industrial Revolution? // History Workshop. 1993. No. 35. P. 22–44.
- [7] *Brezis E. S.* Foreign Capital Flows in the Century of Britain's Industrial Revolution: New Estimates, Controlled Conjectures // The Economic History Review, New Series. 1995. Vol. 48. No. 1. P. 46–76.
- [8] *Bowly A. L.* Wages in the United Kingdom in the Nineteenth century. — Cambridge : The university press, 1900.
- [9] *Clark G.* The condition of the working-class in England, 1209–2004 // Journal of Political Economy. 2005. Vol. 113. No. 6. P. 1307–1340. (<http://www.jstor.org/stable/10.1086/498123>)
- [10] *Federico G.* Not Guilty? Agriculture in the 1920s and the Great Depression // The Journal of Economic History. 2005. Vol. 65. No. 4. P. 949–976.
- [11] *Krivy L. P.* American organized labor and the first world war, 1917–1918: A history of labor problems and the development of a government war labor program. — New York : New York University, 1965.
- [12] *Kennedy P.* The Rise and Fall of the Great Powers: Economic Change and Military Conflict from 1500 to 2000. — London : Fontana, 1989.
- [13] *Laby T. H.* The Cause of the Economic Depression // Australian Quarterly. 2008. Vol. 80. No. 5. P. 6–10.
- [14] *Litman S.* Price and price control in Great Britain and United States during the World War. — New York : Oxford university press, 1920.
- [15] *Morgan C. E.* Women, Work and Consciousness in the Mid-Nineteenth-Century English Cotton Industry // Social History. 1992. Vol. 17. No. 1. P. 23–41.
- [16] *Stiglitz J. E., Bilmes L. J.* The three trillion dollar war. The true cost of the Iraq conflict. — London : Allen Lane and Penguin Books Ltd, 2008.

**Автор:**

*Попов Григорий Германович*, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики, Московский технологический институт

## Economic Order in Britain During XVIII – early XX Centuries and the Case of the Crisis of Capitalism Named "Zero Depression"

Gregory G. Popov

Moscow technological institute  
Leninskii prospect 38 a, Moscow, 119334,  
e-mail: GGPopov2009@mail.ru

*Abstract.* This article is devoted to consideration of the institutional and ideological reasons crises in the market economy. The author refers to the analysis of economic data Britain and to a lesser extent USA in XIX – early XX centuries. Thesis is offered, that the Great depression has the same roots with the decline of capitalist economy of last quarter of XIX century, it's the disproportionate distribution of income between employees and entrepreneurs.

*Keywords:* Great depression, capitalism, classical political economy, industrial revolution, institutional Economics

### Reference

- [1] Arrigi D. (2006) Dolgij dvadcatyj vek. Dengi, vlast i istoki nashego vremeni. Moscow. Izd. dom «Territorija budushhego». (In rus.)
- [2] Popov G. G., Shhegolevskiy V. A. (2014) Respublikanizm i formirovanie koncepcii jekonomicheskoy svobody. *Journal of institutional studies*, 6(2), 27–42. (In rus.)
- [3] Reder M. U. (2000) Al'ternativnye teorii truda v dohode. In *Vehi jekonomicheskoy mysli. Rynki faktorov proizvodstva*. Vol. 3. (In rus.)
- [4] Rotbard M. (2005) Istorija denezhnogo obrashhenija i bankovskogo dela v USA. Cheljabinsk, Socium. (In rus.)
- [5] Ferguson N. (2010) Voshozhdenie deneg. Moscow, Astrel. (In rus.)
- [6] Berg M. (1993) What Difference Did Women's Work Make to the Industrial Revolution? *History Workshop*, 35, 22–44.
- [7] Brezis E. S. (1995) Foreign Capital Flows in the Century of Britain's Industrial Revolution: New Estimates, Controlled Conjectures. *The Economic History Review, New Series*, 48(1), 46–76.
- [8] Bowlry A. L. (1900) Wages in the United Kingdom in the Ninetaanth century. Cambridge, The univercity press.
- [9] Clark G. The condition of the working-class in England, 1209–2004. *Journal of Political Economy*. 113(6), 1307–1340.
- [10] Federico G. (2005) Not Guilty? Agriculture in the 1920s and the Great Depression. *The Journal of Economic History*. 65(4), 949–976.

- [11] *Krivy L. P.* (1965) American organized labor and the first world war, 1917–1918: A history of labor problems and the development of a government war labor program. New York University.
- [12] *Kennedy P.* (1989) The Rise and Fall of the Great Powers: Economic Change and Military Conflict from 1500 to 2000. London, Fontana.
- [13] *Laby T. H.* (2008) The Cause of the Economic Depression. *Australian Quarterly*, 80(5), 6–10.
- [14] *Litman S.* (1920) Price and price control in Great Britain and United States during the World War. New York, Oxford university press.
- [15] *Morgan C. E.* (1992) Women, Work and Consciousness in the Mid-Nineteenth-Century English Cotton Industry. *Social History*, 17(1), 23– 41.
- [16] *Stigliz J. E., Bilmes L. J.* (2008) The three trillion dollar war. The true cost of the Iraq conflict. London, Allen Lane and Penguin Books Ltd.



## Исследования тенденций развития облачных сервисов

*С. С. Баранова*

*Московский технологический институт  
119334, Москва, Ленинский проспект, д. 38  
e-mail: lanchik-08@mail.ru*

*Аннотация.* В статье рассматриваются облачные сервисы как сегмент рынка информационных услуг. Проведен анализ тенденций развития облачных вычислений, выявлены тренды роста различных видов услуг. Проанализированы характеристики облачных услуг.

*Ключевые слова:* облачные сервисы, облачные технологии.

### 1. Введение

Сегодня одной из развивающихся технологий являются «Cloud computing», которые в переводе с английского языка называются «облачными вычислениями». Впервые идея таких вычислений была предложена в 1961 году Джоном Маккарти (John McCarthy), которая заключалась в том, что вычисление могут быть проданы как электричество и вода, т. е. вычислительные мощности будут предоставляться пользователям как услуга [1]. Считается, что при этом он предложил фактически идею облачных сервисов.

В 1963 году Ж.С.Р. Ликлидер (J. C. R Licklider) начал исследовать идею глобальной доступности сети компьютеров. По его мнению, глобальная доступная сеть позволила бы человеку получать выход к компьютерным программам и данным из любого месторасположения в мире [2]. Он сформулировал самые ранние идеи глобальной компьютерной сети, в результате которых появилось сегодняшнее сетевое пространство, в пределах которого существуют облачные сервисы.

В исследовании компаний Forrester Research делается прогноз, что к 2020 г. объем мирового рынка облачных вычислений вырастет практически вшестеро по сравнению с 2011 годом, т. е. с 40,7 млрд долл. до более 241 млрд долл. При этом стоимость «публичного облака», т. е. приложений и услуг, предоставляемых компаниям и индивидуальным пользователям через общедоступный Интернет, за тот же период увеличится еще больше с 25,5 млрд долл. до 159,3 млрд долл. [3]. Прогноз компаний Forrester Research способствовал увеличению тех компаний, которые готовы предлагать своим заказчикам услуги публичного облака.

Вообще характеристики сегодняшних облачных вычислений с учетом их особенностей определены в стандартах США в следующем: самообслуживание по тре-

бованию (англ. self service on demand), универсальный доступ по сети, объединение ресурсов (англ. resource pooling), эластичность и учет потребления<sup>1</sup>.

Облачные технологии постепенно входят в нашу повседневную жизнь. Применение их связано с рядом проблем организационно-правового характера, решение которых будет способствовать развитию не только науки, а ускорит процесс вычисления в финансово-экономической сфере. Облачные технологии развиваются в системе образования [4, 5] и науки [6, 7, 8], банковском секторе [9] и др. [10].

Различают облака в зависимости от формы предоставления услуг — публичные, частные и гибридные. Публичные облака в основном применяются в повседневной жизни, где нет необходимости в конфиденциальности информации, частные — в локальной корпоративной сети, а гибридные — одновременно используют и публичное и частное облака.

В настоящее время на Российском рынке облачные услуги предоставляются в зависимости от обслуживания в следующих моделях сервиса:

- *IaaS модель* (англ. Infrastructure-as-a-Service, инфраструктура как услуга) предоставляется как возможность использования облачной инфраструктуры для самостоятельного управления ресурсами обработки, хранения, сетей и другими фундаментальными вычислительными ресурсами;
- *SaaS модель* (англ. Software-as-a-Service, программное обеспечение как услуга), в которой потребителю предоставляется возможность использования прикладного программного обеспечения провайдера, работающего в облачной инфраструктуре и доступного из различных клиентских устройств или посредством тонкого клиента, из браузера (например, веб-почта) или интерфейс программы;
- *PaaS модель* (PaaS, англ. Platform-as-a-Service, платформа как услуга), когда потребителю предоставляется возможность использования облачной инфраструктуры для размещения базового программного обеспечения с последующим размещением новых или существующих приложений.

## 2. Анализ российского рынка облачных сервисов

Облачные технологии в перспективе обладают высокими показателями спроса. Учитывая рост рынка облачных услуг в России необходимо подчеркнуть, что дифференциация спроса на этих сервисы, в зависимости от вида предоставляемых вариантов, формирует определенные предложения к формам и моделям услуг. Динамика роста рынка облачных услуг в России с 2012 по 2014 годы в целом, и по сервисам IaaS, SaaS, PaaS приведена в табл. 1.

С учетом особенностей облачных сервисов, ожидаемый на конец 2014 года сегмент ИТ-рынка, составит 11,3%, что больше на 3,2% в сравнении с прошлым годом, что характеризует увеличение спроса к облачным вычислениям. Из числа моделей поставки услуг облачного вычисления IaaS, т. е. возможность использова-

<sup>1</sup> Национальный институт стандартов и технологий США. NIST

ния облачной инфраструктуры для самостоятельного управления ресурсами обработки, хранения, сетей и другими фундаментальными вычислительными ресурсами является более востребованным, чем программное обеспечение и платформа как услуга.

Таблица 1. Динамика роста рынка облачных услуг в России с 2012 по 2014 по IaaS, SaaS, PaaS моделям, %.

Годы	Облачные услуги. % ИТ-рынка	В том числе		
		IaaS	SaaS	Paas
2012	4.5	2.5	1.4	0.2
2013	7.9	3.4	2.1	0.4
2014 ожидаемый	11.3	4.9	3.2	0.7

Облачное вычисление развивается очень быстро на российском рынке и прогноз динамики роста использования облачных услуг с 2014 по 2018 годы на основе тренда уравнений представлен на рис. 1.

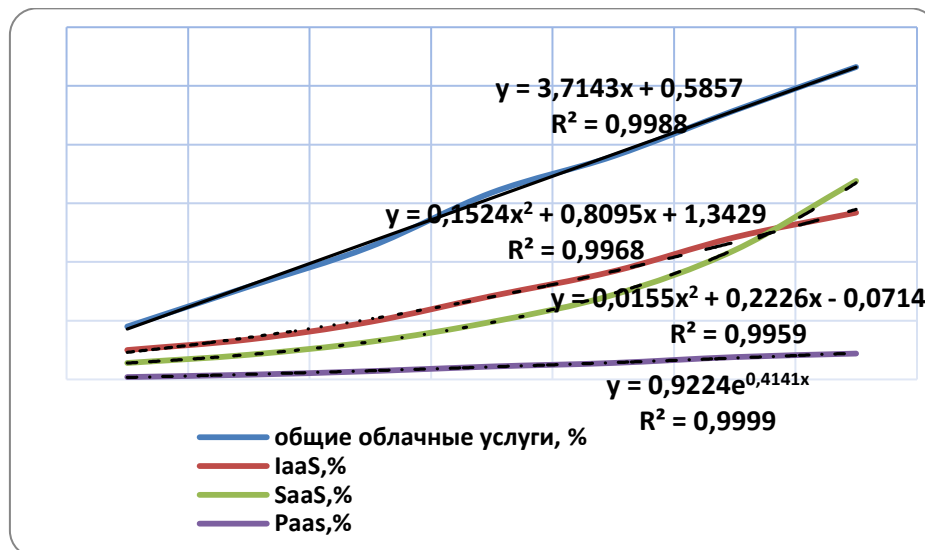


Рисунок 1. Прогноз динамики роста использования облачных услуг в России<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Расчет автора по данным: Cloud services (Russian Market).  
([http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Облачные\\_сервисы\\_\(рынок\\_России\)\\_Cloud\\_services\\_in\\_2013](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Облачные_сервисы_(рынок_России)_Cloud_services_in_2013)).  
Cnews Analysis, Overview ([http://www.cnews.ru/reviews/new/oblachnye\\_servisy\\_2013/](http://www.cnews.ru/reviews/new/oblachnye_servisy_2013/))

На графике, на основе динамического ряда с 2012 по 2014 год, составлена математическая модель аппроксимации на общие облачные услуги и с IaaS, SaaS, PaaS моделями, и прогноз объема предоставления облачных услуг в зависимости от значения достоверности ( $R^2$ ) уравнений тренда. С учетом значений величины достоверности ( $R^2$ ) аппроксимации были подобраны модели уравнений для общих облачных услуг — линейная, для IaaS — полинома второй степени, для SaaS — экспоненциальная, а для PaaS — полинома второй степени.

Прогноз динамики роста облачных услуг показывает, что на 2018 год рынок облачных услуг имеет тенденции изменения в сторону роста относительно SaaS модели услуг. Потребителю облачных услуг все больше будет предоставляться возможность использования прикладного программного обеспечения провайдера, работающего в облачной инфраструктуре и доступного из различных клиентских устройств или посредством тонкого клиента или интерфейс программы (табл. 2).

Таблица 2. Прогноз динамики роста рынка облачных услуг в России с 2012 по 2018 гг. по IaaS, SaaS, PaaS моделям в %.

Год	Облачные услуги в объеме ИТ-рынка, %	В том числе		
		IaaS,%	SaaS,%	Paas,%
2012г.	4.5	2.5	1.4	0.2
2013г.	7.9	3.4	2.1	0.4
2014г.	11.3	4.9	3.2	0.7
2015г.	15.9	7.1	4.9	1.1
2016г.	19	9.2	7.2	1.4
2017г.	22.9	12.1	11	1.9
2018г.	26.6	14.2	16.9	2.2

Недостаточная изученность преимуществ и недостатков применение облачных услуг на Российском рынке сдерживает обширное использование. В основном недостатки применения облачных технологий связаны с организационно-техническими и законодательными вопросами, решение которых возможно в будущем.

При существующих облачных сервисах на рынке России необходимо улучшить условия предоставления, трафика и ответственности сторон сопровождения, расчет и взаиморасчет между операторами. Также техническая поддержка облачного сервиса желает лучшего.

С учетом состояния облачного сервиса проанализированы их возможности, сформулированы преимущества и недостатки облачных технологий. Сравнительная характеристика преимуществ и недостатков применения облачных услуг на российском рынке представлена в табл. 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика преимуществ и недостатков облачных вычислений

№	Преимущества	Недостатки
1.	<i>Экономическая эффективность.</i> Облачные вычисления являются наиболее экономически эффективным способом для использования, поддержки и модернизации информации, требует меньше расходов на ИТ-инфраструктуру компании, в сравнении с традиционными.	<i>Технические вопросы.</i> В условия доступности информации система может иметь серьезные дисфункции, связанные в поставке облачных сервисов. Необходим высокоскоростной Интернет и техническое обеспечение.
	<i>Неограниченные объемы для хранения информации.</i> Хранение информации в облаке дает почти неограниченную емкость.	<i>Безопасность.</i> Безопасность и конфиденциальность информации в облаке не предусмотрены в законодательстве Российской Федерации.
2.	<i>Отказоустойчивость, резервное копирование и восстановление.</i> Все данные хранятся в облаке, резервное копирование и восстановления гораздо проще, чем другие традиционные методы хранения данных.	<i>Склонность к атаке.</i> Хранение информации в облаке может сделать вашу компанию уязвимой к внешним атакам и угрозам. Скрытие конфиденциальных данных усложняется.
3.	<i>Автоматическая интеграция программного обеспечения.</i> Настройка и интеграция программного обеспечения и приложений в облаке происходит автоматически в соответствии с требованием потребителя.	<i>Зависимость от иностранных поставщиков.</i> Поставка облачных услуг на рынок России осуществляется в основном от иностранных операторов.
4.	<i>Легкий доступ к информации.</i> После регистрации в облаке, можно получить доступ к информации из любой точки, где есть подключение к Интернету.	<i>Расчет и взаиморасчет услуг.</i> Отсутствие облачных услуг в законодательстве России создает проблемы в валютном расчете с иностранными партнерами — операторами поставщика услуг.

#### 4. Заключение

Потенциал использования информационно-коммуникационных технологий достаточно велик и требует усиления его роли в обществе. Подводя итоги по вопросу об облачных вычислениях, хочется отметить следующее. Во-первых, это действительно революционная технология, вобравшая в себя базовые принципы консолидации и виртуализации, но с поправкой на время. Во-вторых, нужно упомянуть о том, что на данный момент эта технология слабо стандартизирована, особенно в вопросе безопасности. В связи с этим, нас ждет еще долгое развитие и осмысление того, что мы уже имеем сейчас и можем этим пользоваться — безграничные вычислительные ресурсы.

Необходимо отметить, что рынок облачных технологий развивается быстро и имеет тенденцию изменения в сторону применения разных моделей облачных сервисов.

## Литература

- [1] *Blaisdell R.* A Brief History of Cloud Computing // CloudTweaks.com. 2011. 10. (<http://cloudtweaks.com/2011/10/a-brief-history-of-cloud-computing/>)
- [2] *Licklider J. C. R.* Topics for Discussion at the Forthcoming Meeting, Memorandum for: Members and Affiliates of the Intergalactic Computer Network // Advanced Research Projects Agency. 1963. (<http://www.kurzweilai.net/memorandum-for-members-and-affiliates-of-the-intergalactic-computer-network>)
- [3] *Грубин А.* HP: федеративное хранение для облачных сервисов // Storage News. 2011. № 4 (48). С. 8–11.
- [4] *Бубнов Г. Г., Ефименко Г. А., Никульчев Е. В., Плужник Е. В.* Опыт эффективного внедрения инновационных информационных технологий в образовательную деятельность // Международная конференция «Инжиниринг & Телекоммуникации — En&T 2014». Тезисы докладов. — М.—Долгопрудный : МФТИ, 2014. — С. 272–275.
- [5] *Плужник Е. В., Никульчев Е. В.* Функционирование образовательных систем в облачной инфраструктуре // Известия вузов. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2013. № 3. С. 096–105.
- [6] *Pluzhnik E., Nikulchev E., Payain S.* Laboratory test bench for research network and cloud computing // International Journal of Communications, Network and System Sciences. 2014. Vol. 7. No. 7. P. 243–247 (doi: 10.4236/ijcns.2013.612054)
- [7] *Очков В. Ф.* Облачные функции — новый этап информационной поддержки науки и техники // Cloud of Science. Т.1. № 1. С. 5–16.
- [8] *Батаев А. В.* Перспективы внедрения облачных технологий в банковском секторе России // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2014. № 2 (192). С. 156–165.
- [9] *Pluzhnik E., Nikulchev E., Payain S.* Concept of Feedback in Future Computing Models to Cloud Systems // World Applied Sciences Journal. 2014. Vol. 32. No. 7. P. 1394–1399. (doi: 10.5829/idosi.wasj.2014.32.07.588)
- [10] *Облачные сервисы 2013* // CNews-аналитика. ([http://www.cnews.ru/reviews/new/oblachnye\\_servisy\\_2013/](http://www.cnews.ru/reviews/new/oblachnye_servisy_2013/))

**Автор:** Баранова Светлана Сергеевна, магистрант Московского технологического института

## Study development trends of cloud services

S. S. Baranova

Moscow Technological Institute  
38a Leninsky Pr., Moscow, 119334,  
e-mail: lanchik-08@mail.ru

*Abstract.* This article discusses how cloud services market segment informs services. The analysis of development trends of cloud computing identified trends of growth of various types of services. There are analyzed the characteristics of cloud services.

*Keywords:* cloud computing, cloud services.

### Литература

- [1] *Blaisdell R.* A Brief History of Cloud Computing // CloudTweaks.com. 2011. 10. (<http://cloudtweaks.com/2011/10/a-brief-history-of-cloud-computing/>)
- [2] *Licklider J. C. R.* (1963) Topics for Discussion at the Forthcoming Meeting, Memorandum for: Members and Affiliates of the Intergalactic Computer Network. Advanced Research Projects Agency.
- [3] *Grubin A.* (201) HP: federativnoe hranenie dlja oblachnyh servisov. *Storage News*, 4(48), 8–11. (In rus.)
- [4] *Bubnov G. G., Efimenko G. A., Nikulchev E. V., Pluzhnik E. V.* (2014) Opyt jeffektivnogo vnedrenija innovacionnyh informacionnyh tehnologij v obrazovatelnuju dejatel'nost. *Mezhdunarodnaja konferencija «Inzhiniring & Telekom-munikacii — En&T 2014»*. MIPT, 272–275 (In rus.)
- [5] *Pluzhnik E. V., Nikulchev E. V.* (2013) Funkcionirovanie obrazovatelnyh sistem v oblachnoj infrastrukture. *Izvestija vysov. Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela*, 3, 096–105. (In rus.)
- [6] *Pluzhnik E., Nikulchev E., Payain S.* (2014) Laboratory test bench for research network and cloud computing // *Int'l J. of Communications, Network and System Sciences*, 7(7), 243–247.
- [7] *Ochkov V. F.* (2014) Oblachnye funkcii — novyj jetap informacionnoj podderzhki nauki i tehniki. *Cloud of Science*, 1(1), 5–16. (In rus.)
- [8] *Bataev A. V.* (2014) Perspektivy vnedrenija oblachnyh tehnologij v bankovskom sektore Rossii. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Jekonomicheskie nauki*, 192, 156–165. (In rus.)
- [9] *Pluzhnik E., Nikulchev E., Payain S.* (2014) Concept of Feedback in Future Computing Models to Cloud Systems. *World Applied Sciences Journal*, 32(7), 1394–1399.
- [10] [http://www.cnews.ru/reviews/new/oblachnye\\_servisy\\_2013/](http://www.cnews.ru/reviews/new/oblachnye_servisy_2013/)

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: 11.11.2014. Усл. печ. л. 21,6

© Авторы статей  
© НОУ ВО МосТех