

ISSN 1819-3161

# ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

6/2017

CONTROL  SCIENCES

## **Редакционный совет**

Акад. РАН С.Н. Васильев, акад. РАН С.В. Емельянов, акад. РАН И.А. Каляев, акад. РАН В.А. Левин, чл.-корр. РАН Н.А. Махутов, акад. РАН Е.А. Микрин, чл.-корр. РАН П.П. Пархоменко, чл.-корр. РАН А.Ф. Резчиков, акад. РАН Е.А. Федосов

## **Редколлегия**

Д-ра техн. наук Ф.Т. Алескеров, В.Н. Афанасьев, Н.Н. Бахтадзе, канд. техн. наук Л.П. Боровских (зам. гл. редактора), д-ра техн. наук В.Н. Бурков, В.М. Вишневский, д-р экон. наук М.И. Гераськин, д-р техн. наук А.А. Дорофеюк, д-р экон. наук В.В. Клочков, д-ра техн. наук С.А. Краснова, О.П. Кузнецов, В.В. Кульба, А.П. Курдюков, д-ра физ.-мат. наук А.Г. Кушнер, А.А. Лазарев, д-р техн. наук В.Г. Лебедев, д-р психол. наук В.Е. Лепский, д-р техн. наук А.С. Мандель, д-р биол. наук А.И. Михальский, чл.-корр. РАН Д.А. Новиков (гл. редактор), д-ра техн. наук Б.В. Павлов, Ф.Ф. Пащенко (зам. гл. редактора), д-р физ.-мат. наук Л.Б. Рапопорт, д-ра техн. наук Е.Я. Рубинович, В.Ю. Рутковский, д-р физ.-мат. наук М.В. Хлебников, д-р техн. наук А.Д. Цвиркун, д-р физ.-мат. наук П.Ю. Чеботарёв, д-р техн. наук И.Б. Ядыкин

## **Руководители региональных редакционных советов**

Владивосток – д-р техн. наук О.В. Абрамов (ИАПУ ДВО РАН)  
Волгоград – д-р физ.-мат. наук А.А. Воронин (ВГУ)  
Воронеж – д-р техн. наук С.А. Баркалов (ВГАСУ)  
Курск – д-р техн. наук С.Г. Емельянов (ЮЗГУ)  
Липецк – д-р техн. наук А.К. Погодаев (ЛГТУ)  
Пермь – д-р техн. наук В.Ю. Столбов (ПНИПУ)  
Ростов-на-Дону – д-р техн. наук Г.А. Угольницкий (ЮФУ)  
Самара – д-р техн. наук В.Г. Засканов (СГАУ)  
Саратов – д-р техн. наук В.А. Твердохлебов (ИПТМУ РАН)  
Уфа – д-р техн. наук Б.Г. Ильясов (УГАТУ)



**CONTROL SCIENCES**

**Научно-технический  
журнал**

6 номеров в год

ISSN 1819-3161

Издается с 2003 года

**УЧРЕДИТЕЛЬ**

Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова РАН

Главный редактор  
чл.-корр. РАН

Д.А. Новиков

Заместители главного  
редактора

Л.П. Боровских, Ф.Ф. Пащенко

Редактор  
Т.А. Гладкова

Выпускающий редактор  
Л.В. Петракова

Издатель  
ООО «Сенсидат-Плюс»

Адрес редакции  
117997, ГСП-7, Москва,  
ул. Профсоюзная, д. 65, к. 410.  
Тел./факс (495) 334-92-00  
E-mail: pu@ipu.ru  
Интернет: http://pu.mtas.ru

Оригинал-макет и электронная версия  
подготовлены  
ИП Прохоров О. В.

Отпечатано в ООО «Авансед солюшнз»

Заказ № PB617

Подписано в печать  
29.11.2017 г.

Журнал зарегистрирован  
в Министерстве Российской  
Федерации по делам печати,  
телерадиовещания и средств  
массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации  
ПИ № ФС 77-49203 от 30 марта 2012 г.

Журнал входит в RSCI на платформе  
Web of Science и Перечень  
рецензируемых научных изданий ВАК

Подписные индексы:  
**80508** и **81708** в каталоге Роспечати;  
**38006** в объединенном каталоге  
«Пресса России»

Цена свободная

© Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Институт проблем управления  
им. В.А. Трапезникова РАН

# ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

## 6.2017

### СОДЕРЖАНИЕ

#### Обзоры

Кузнецов С.К., Потехин А.И. Современные системы поддержки  
принятия решений железнодорожным диспетчером . . . . . 2

#### Анализ и синтез систем управления

Иванов Н.Н. Обобщенные стохастические сетевые графики  
с управляющими дугами . . . . . 15

#### Управление в социально-экономических системах

Логиновский О.В., Максимов А.А. Стратегическое управление  
регионами: от сложившихся подходов к учету современных реалий . . . . 19  
Кантор О.Г., Кузнецова Ю.А. Оценка уровня развития социальных  
инноваций . . . . . 32  
Зацаринный А.А., Козлов С.В., Шабанов А.П. Интероперабельность  
консолидируемых организационных систем . . . . . 43

#### Информационные технологии в управлении

Гарбук С.В., Бакеев Р.Н. Конкурентная оценка качества технологий  
интеллектуальной обработки данных . . . . . 50  
Салтыков С.А., Русяева Е.Ю. Медиация в науковедении:  
экспертно-наукометрический подход . . . . . 63

#### Управление техническими системами и технологическими процессами

Слугин В.Г., Зубарев А.А., Шевцов О.Ю. и др. Декомпозиционный  
метод решения задачи целераспределения в оперативном режиме . . . . 68

#### Краткие сообщения

Чадаев А.И., Тропова Е.И. Этапы развития систем регулирования  
соотношения расходов компонентов топлива жидкостных  
ракет-носителей «Союз» . . . . . 75

\* \* \*

Указатель статей, опубликованных в 2017 г. . . . . 77  
Index of papers published in 2017 . . . . . 78  
Contents and abstracts . . . . . 80

# СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ДИСПЕТЧЕРОМ

С.К. Кузнецов, А.И. Потехин

Рассмотрены основные проблемы в работе железнодорожного диспетчера. Обоснована необходимость разработки умных систем поддержки принятия решений, включающих в себя средства прогнозирования развития ситуации при возникновении задержек в движении поездов или неисправностей объектов железнодорожной сети. Дан обзор некоторых зарубежных систем, в которых реализованы такие средства. Рассмотрены и представлены в виде сетей Петри дискретно-событийные модели объектов железнодорожных сетей (станций, перегонов и др.), модели группового управления движением поездов в целях построения систем автоматики, обеспечивающих безопасное управление движением поездов в режиме реального времени.

**Ключевые слова:** оперативное управление, железнодорожный транспорт, методы прогнозирования, дискретно-событийная модель, компоненты железнодорожной сети, сети Петри, логическое управление, безопасность.

## ВВЕДЕНИЕ

Увеличение нагрузки на железнодорожный транспорт и повышение требований к пунктуальности и надежности движения при ограниченных возможностях развития железнодорожной сети требуют все более эффективного использования ресурсов существующей инфраструктуры, чем объясняется растущий интерес к развитию средств поддержки принятия решений диспетчером, обеспечивающих возможности прогнозировать развитие текущей ситуации в режиме реального времени.

При разработке подобных средств важно использовать знания диспетчера и выявить те трудности, с которыми он сталкивается. В то время как расписание движения поездов тщательно планируется на год вперед с помощью сложных математических моделей, повседневная работа диспетчеров (дежурных по станции, поездных диспетчеров) по выполнению план-графика движения поездов при наличии помех и задержек опирается только на определенный свод правил, и на опыт и мастерство самих диспетчеров. Конечно, современные системы диспетчерского контроля и централизации (например, системы «Сетунь», «Диалог» [1]) существенно облегчают труд диспетчеров. Однако при этом отсутствует какая-либо помощь

диспетчеру в виде краткосрочного прогноза по процессу управления движением при наличии временных задержек поездов, неисправностей в инфраструктуре железнодорожной сети, конфликтных ситуаций. Отсутствуют средства оценки эффективности принимаемых решений. Работа в предупредительном режиме практически не поддерживается современными системами, диспетчер работает в режиме разрешения ситуаций по мере их возникновения. Диспетчер располагает полной информацией принятия решений, по какому пути должен пройти поезд, в каком порядке поезда могут использовать путевой ресурс и в какое время, не ранее, поезд может пройти специальные сигналы. Задача оперативного управления осложняется тем, что:

— информация для принятия решений либо опаздывает, либо теряется;

— недостаточная точность в получаемых данных (пространственное положение поездов, их скорости);

— большой объем информации для принятия решений разделен по нескольким системам (региональным и сетевым);

— в сложных ситуациях роль автоматики падает.

В результате при серьезных нарушениях современные системы управления движением не обес-



печивают диспетчера необходимой (адекватной) информацией и средствами эффективного управления движением.

В периоды высокой интенсивности движения поездов (а также в нештатном режиме, в случае аварии) требуется высокая скорость принятия решения. К примеру, в Москве на Ярославском железнодорожном узле в часы пик прибывают и отправляются электропоезда каждые 2 мин. На практике отмечается, что 80 % всех случаев нарушений безопасности движения, так или иначе, связаны с ошибками диспетчеров.

Главное направление современных исследований — автоматизация и интеллектуализация диспетчерского управления движением поездов в железнодорожной сети.

В общем случае оперативное управление железнодорожной системой состоит из двух частей: оперативное планирование движения поездов в условиях разнообразных помех и логическое управление компонентами железнодорожных объектов и движением поездов.

*Оперативное планирование* необходимо ввиду сильной зависимости между проходящими поездами и большим числом возможных управляющих акций, влиянием разнообразных помех, отклонений и эффект возможных решений диспетчеров. Практически невозможно предсказать и, следовательно, эффективно планировать и управлять движением без помощи специальных систем (систем поддержки принятия решений), причем время реакции таких систем строго ограничено ввиду их работы в реальном времени.

*Логическое управление* направлено на автоматическую реализацию функций управления компонентами железнодорожных объектов (стрелками, светофорами, сборкой-разборкой маршрутов и др.) а также на реализацию безопасного движения поездов.

В § 1 рассмотрены пионерские зарубежные проекты систем оперативного планирования движения поездов в условиях разнообразных помех в части определения приближающихся конфликтов и нахождения оптимальных решений группового движения поездов путем перепланировки планов движения в режиме реального времени.

В § 2 рассмотрены разработанные на основе единого математического аппарата (сетей Петри) модели компонентов инфраструктуры железнодорожных сетей (стрелок, светофоров, маршрутов, станций, перегонов, переездов), а также модели группового движения поездов в целях построения автоматических систем управления инфраструктурой, обеспечивающих безопасное движение поездов.

## 1. ПРОЕКТЫ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Диспетчерское управление движением поездов является основным видом управления, оно включает в себя:

- оперативный контроль выполнения графика движения и формирования поездов;
- принятие решений по управлению движением поездов (при отклонении от графика).

Во многих научных центрах мира ведутся широкие исследования по проблеме автоматизации управления движением поездов, по созданию систем оперативного планирования движения поездов. Например, как будет показано, выяснилось, что наиболее востребованной оказалась *задача прогнозирования* приближающихся конфликтов, а также задача нахождения оптимальных решений группового движения поездов путем перепланировки планов движения поездов, изменения в режиме реального времени маршрутов, параметров движения поездов. Далее рассмотрены первые зарубежные проекты, в которых рассматриваются задачи прогнозирования конфликтов и нахождения оптимальных решений группового движения поездов [2—8].

В работах [2, 3] описан проект системы, реализующий новые стратегии управления (Uppsala University, Швеция).

В проекте реализуются стратегии:

- управление посредством оперативной перепланировки планов движения каждого поезда в режиме реального времени;
- отделение процесса принятия решений диспетчером от реализации выполнения этих решений средствами автоматики;
- интеграция информации — вся необходимая для принятия решения информация в едином графическом интерфейсе;
- визуализация информации, необходимой для принятия решения, т. е. визуализация потенциальных конфликтов с окнами для перепланировки маршрутов.

После включения в графический интерфейс интегрированной информации для принятия решения о перепланировке в большинстве случаев стало возможным автоматическое выполнение выбранного плана движения каждого поезда. В результате была создана новая парадигма управления движением поездами — управление движением поездов путем перепланировки в реальном времени. Диспетчер получил возможность с опережением обнаруживать возможные конфликты и нарушения, изменять план каждого поезда для получения оптимального плана движения и автома-

тически этот план реализовывать. Таким образом, процесс логического управления инфраструктурой был совмещен с процессом планирования движения.

Кроме того, наиболее полно и подробно изложены требования к автоматической реализации выбранного плана движения каждого поезда:

— автоматическим функциям запрещено изменять порядок, в котором поезда могут использовать определенный путевой ресурс;

— автоматические функции никогда не выполнят план, содержащий конфликты;

— если в соответствии с планом движения определенный поезд будет следующим в использовании определенного путевого ресурса, автоматические функции заранее тестируют маршрут поезда установкой стрелок в нужные позиции — это делается с целью как можно раньше обнаружить потенциальные проблемы инфраструктуры;

— конечное резервирование планируемого маршрута поезда выполняется как можно позже, но с таким расчетом, чтобы не вынуждать поезд задерживаться; резервирование маршрута зависит от позиции поезда и его скорости, цель — оставить максимально возможное время для перепланировки.

В настоящее время Swedish National Rail Administration планирует создание системы оперативного управления движением поездов на базе полученных результатов.

В работе [4] описана автоматизированная система поддержки принятия решений диспетчерами ROMA (Railway traffic Optimization by Means of Alternative graphs — оптимизация железнодорожного движения с помощью альтернативных графов). Разработаны алгоритмы перепланировки по оптимизации движения при наличии помех. Система ROMA позволяет оценивать перспективу и эффективность различных решений на период до 15 мин. Она позволяет диспетчеру вносить поправки в заданное расписание, чтобы адаптировать его к появляющимся нарушениям (таким как опоздания поездов или блокировка участка железнодорожного пути, путевой стрелки).

Задача определения маршрутов поездов и порядка следования рассматривается как задача распределения ресурсов с дополнительными ограничениями. Для ее решения используется альтернативный граф, в вершине которого для каждой пары конфликтующих поездов (претендующих на одну секцию железнодорожного пути) добавляется пара альтернативных ребер. В каждой паре может быть выбрано только одно ребро, при этом второе ребро убирается. Полный перебор конфликтных ситуаций соответствует случаю, когда из каждой пары альтернативных ребер выбрано одно, тем самым определяется порядок следования поездов в каждой точке конфликта.

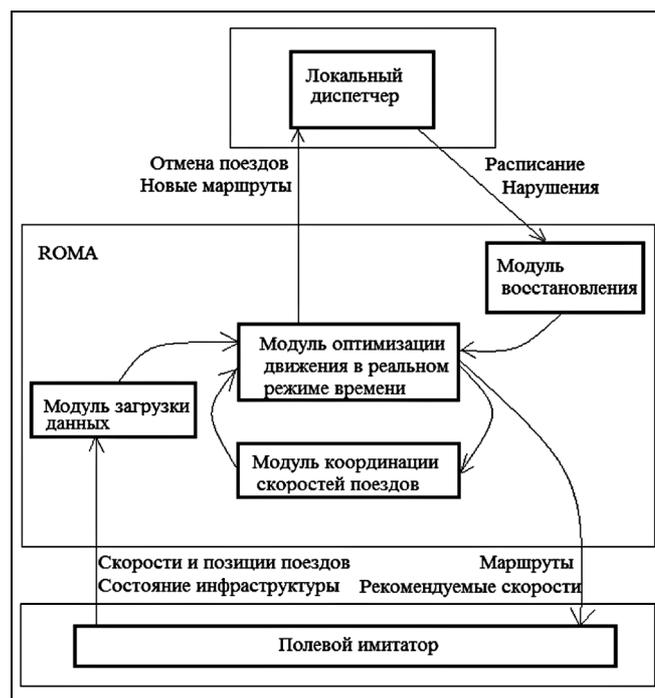


Рис. 1. Структура системы ROMA

Таким образом, минимизация отклонения от заданного расписания достигается с помощью метода ограниченного перебора, итеративного согласования маршрутов и порядка следования поездов (в рамках разрешенного времени вычисления).

Структура системы ROMA изображена на рис. 1. Модуль загрузки данных загружает всю необходимую для других блоков информацию: статическую (состояние инфраструктуры, расписание) и динамическую (позиции и характеристики поездов). В любой момент времени маршрут (последовательность блок-участков) доступен, если не заблокирован ни один из его блок-участков. Для каждой пары (поезд, участок пути) вычисляется время блокировки на основе текущих характеристик движущихся поездов и состояния инфраструктуры.

После загрузки данных модуль восстановления проверяет наличие заблокированных зон в сети, которые делают недоступными некоторые маршруты. Данный модуль используется для определения приемлемого маршрута для каждого поезда на базе оценки выстроенных по приоритету дополнительных вариантов. В случае, если такого маршрута не находится, система обращается за внешней поддержкой диспетчера, которому необходимо будет установить новые маршруты либо отменить некоторые поезда.

После того как определены приемлемые маршруты для всех поездов, процедура выявления конфликтов (модуль оптимизации) определяет



потенциальные конфликты, рассматривая одновременно все поезда. Потенциальные конфликты определяются прогнозом положения поездов на основе информации о текущем состоянии железнодорожной сети. Поскольку поезд проходит участки маршрута последовательно, маршрут моделируется в альтернативном графе посредством цепочки приоритетных ограничений. Так как на одном стандартном участке железнодорожного пути (блок-участке) не может находиться одновременно больше одного поезда, потенциальный конфликт имеет место, когда два или более поездов требуют один и тот же ресурс. В таком случае необходимо определить порядок следования поездов, что моделируется в альтернативном графе добавлением в него подходящей пары альтернативных дуг для каждой пары поездов, проходящих по блок-участку. Бесконфликтное расписание получается путем выбора одной из альтернативных дуг из каждой пары таким образом, чтобы в графе не было ситуации дедлока.

По нашему мнению, основное достоинство альтернативного графа — это уровень детализации модели. Такой граф включает в себя описание топологии небольшой железнодорожной сети на уровне железнодорожных сигналов и операционных правил. Более того, он может легко включать в себя другие ограничения, присущие железнодорожной практике, такие как минимальное время посадки, гибкие времена прибытия/отправления на остановках по расписанию.

В работе [5] (Delft University of Technology, Department of Transport and Planning, Нидерланды) предложена концепция системы управления железнодорожным движением на базе модели-прогноза (MPC — model-predictive control). Предлагаемая система должна обеспечивать тесную связь между заданным расписанием и реальным движением поездов. Это достигается путем постоянного контроля позиций поездов и состояния инфраструктуры железнодорожной сети. Свойство системы предвидеть состояние модели движения позволяет диспетчеру видеть влияние возникающих задержек и оценивать эффект предложенных решений (система с обратной связью). Так на базе аналого-дискретной модели объекта делается предположение о значениях на выходе системы на определенном отрезке времени (вычисления осуществляются с помощью Max-Plus алгебры [8]). Предположение может инициироваться либо по заданному интервалу времени, либо по наступлению каких-либо событий. Выходы системы, предсказанные моделью процесса (на базе полученных данных телеметрии на определенный отрезок времени), сравниваются с заданной траекторией и дальше определяются управляющие сигналы, ко-

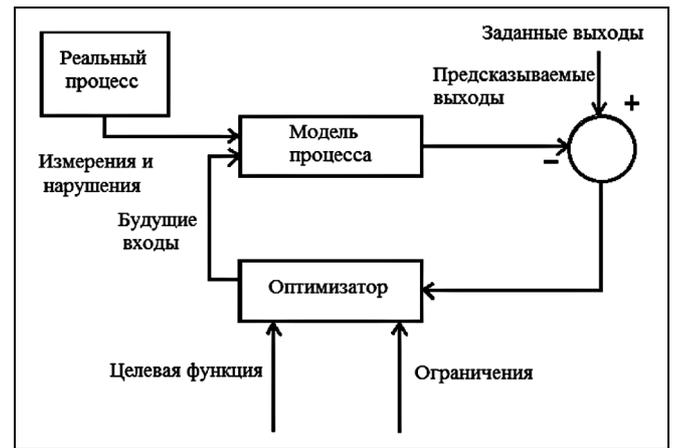


Рис. 2. Функциональная структура MPC-системы

торые направляют систему к желаемой траектории. Затем снова используется модель процесса для оценки эффективности предложенных управляющих сигналов. Выходом модели служит вектор задержек всех поездов.

Таким образом, минимизируется отклонение системы от заданной траектории (аналог классической схемы регулирования). После получения оптимальной управляющей последовательности только новый входной вектор подается на систему и повторяется полный цикл уже для измененной ситуации. Это позволяет реализовать изменение плана движения поездов при появлении нарушений.

Функциональная структура MPC-системы изображена на рис. 2. В соответствии с предложенным подходом в качестве сигналов обратной связи используется информация о текущих положениях поездов и состоянии инфраструктуры, которые затем служат входами для модели MPC в реальном времени. Выходом модели является вектор задержек всех поездов на указанной глубине прогноза.

Структуру MPC-системы управления железнодорожным движением можно представить как композицию ее трех частей (рис. 3):

- средства мониторинга позиций поездов, скоростей, состояния инфраструктуры, в результате которого формируется оценка движения поездов по времени;

- модель MPC, постоянно обновляющаяся в соответствии с текущими данными и действиями диспетчера;

- контроллер MPC, оптимизирующий будущие управляющие решения путем прогнозирования будущего состояния и учета текущего состояния инфраструктуры.

Средства прогнозирования на микроуровне способны точно моделировать процессы движения

на основе детального моделирования инфраструктуры, сигнализации, характеристик подвижного состава, динамики движения и заданного расписания. Однако применение таких средств на больших фрагментах сети приводит к длительным вычислениям, недопустимым в реальном времени.

Поэтому в данном проекте большую железнодорожную сеть предлагается рассматривать в виде иерархической многоуровневой структуры и соответственно систему управления движением (рис. 4). Число уровней и границы управления по уровням могут варьироваться, но в основном системы управления разбиваются на два уровня — тактический и оперативный. Тактический уровень (региональный или сетевой диспетчер) охватывает управление движением на сетевом уровне, обнаружение отклонений от расписания и разрешение конфликтных ситуаций, влияющих на пропускную способность всей сети. Оперативный уровень — уро-

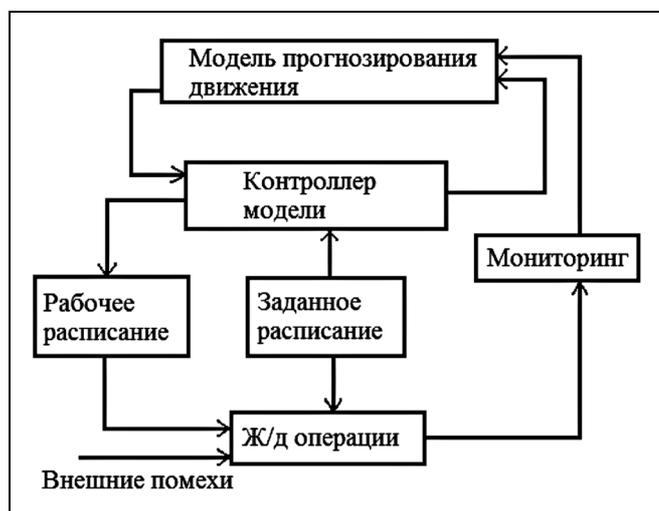


Рис. 3. Структура MPC-системы управления железнодорожным движением

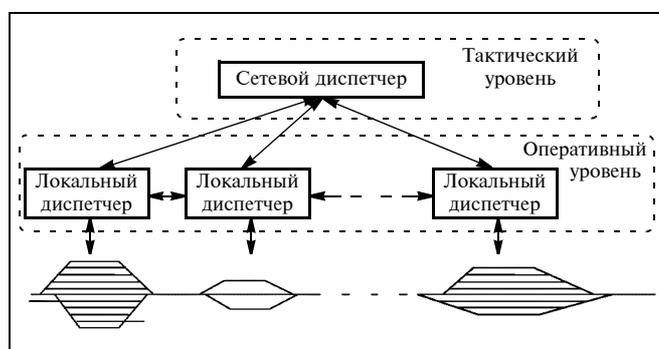


Рис. 4. Иерархическая структура управления движением поездов

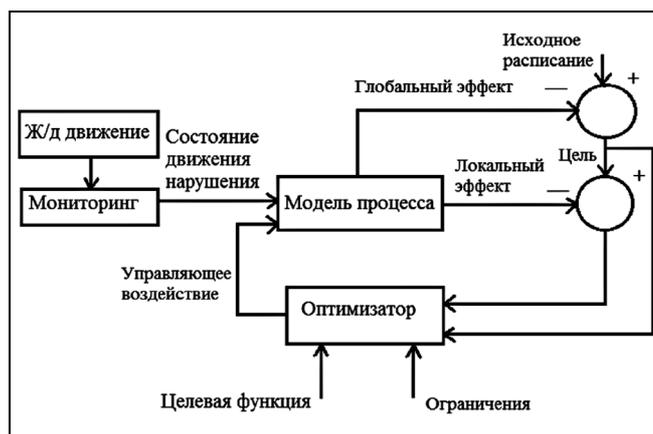


Рис. 5. Система MPC в виде каскадной системы управления

вень локальных диспетчеров станций. Здесь решаются задачи обеспечения безопасности движения, определяются маршруты поездов. Однако в результате такого разделения диспетчер каждого уровня не владеет всей необходимой информацией для принятия оптимальных решений. Сетевой диспетчер не отслеживает и не может управлять движением поездов и инфраструктурой на нижнем уровне (блок-участка, выбор пути на станции), а локальный диспетчер не имеет информации о движении поездов за границей своего участка.

Текущее расписание представляется как адаптированное заданное расписание на сетевом уровне и как модифицированное расписание событий на микроуровне в зависимости от уровня управляющего воздействия.

При управлении железнодорожным движением сетевого уровня на базе MPC управление и оптимизация интегрированы, скоординированы и организованы в форму дополнительной обратной связи. С точки зрения теории управления это соответствует каскадной системе управления с двумя петлями обратной связи на разных уровнях иерархии (рис. 5).

Задачи модели-прогноза зависят от той обратной связи, которая их инициирует. Так, по внешней связи должен предсказываться эффект больших нарушений и оцениваться управляющие действия на глобальном уровне, которому соответствует макроуровень. По внутренней связи должна учитываться точная топология сети, детализированные процессы и управляющие решения на микроуровне.

Рассмотренные модели управления железнодорожным движением позволяют каждому диспетчеру прогнозировать развитие событий, предвидеть влияние текущих задержек и оценивать результаты предложенных решений.



## 2. ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ

### 2.1. Постановка задачи

Железнодорожные системы отличаются детерминированностью, асинхронностью, управлением по событиям, параллельностью. Железнодорожная сеть представляется совокупностью железнодорожных станций, соединенных между собой перегонами с разъездами (вставками). Наличие автоматических блокировок в современных железнодорожных сетях позволяет каждый перегон и станцию представить в виде совокупности электрически изолированных участков («блок-участков»), светофоров, электрически изолированных стрелочных секций с соответствующими дискретными датчиками состояния. Это обстоятельство позволяет перейти от традиционных непрерывных моделей компонентов железнодорожных сетей к их логическим моделям.

Логическое моделирование широко применяется в проектировании дискретных (и не только) систем. Теоретический базис логического моделирования составляют математическая логика, теория конечных автоматов, теория логического синтеза, теория формальных языков, теория графов и другие разделы дискретной математики [9]. Дальнейшее развитие логическое моделирование получило в теории дискретно-событийных систем (ДСС- или ДС-моделирование) [10–12]. Отличительная особенность ДС-моделирования заключается в рассмотрении дискретной системы как триплета  $\langle G, K, S \rangle$ : модели объекта  $G$ , ограничения на его поведение — спецификации  $K$  и супервизора  $S$ . Основная задача ДСС: по дискретно-событийным моделям объектов и заданным ограничениям на их функционирование построить управляющий компонент (супервизор), обеспечивающий поведение объектов в соответствии с заданными ограничениями. Две основные трудности в практическом применении ДСС-моделирования: одна из них заключается в большой размерности автоматной модели объекта управления  $G$ ; другая — в мультипликативном росте сложности методов синтеза управляющего автомата (супервизора).

В рассматриваемых далее работах дискретно-событийные модели железнодорожных объектов, а также модели группового движения поездов, модели обеспечения безопасности строятся на основе сетей Петри [13–23]. Графическое представление железнодорожных сетей с помощью сети Петри позволяет привлекать к работе железнодорожных экспертов, не являющихся экспертами в математических дисциплинах. Сети Петри обладают

точной математической семантикой, что позволяет достаточно просто интерпретировать поведение железнодорожной сети. Сети Петри хорошо подходят к реальной параллельности движения поездов в железнодорожных сетях: блок-участки представляются позициями, управляемые переходы реализуют условия движения поездов. Поезда моделируются метками (фишками) в позициях. Сеть Петри в виде текущей разметки всегда точно определяет состояние железнодорожной сети, положение поездов. Методы анализа сетей Петри определяют возможные конфликтные ситуации. Модели железнодорожной станции, перегона и других крупных объектов железнодорожной сети не требуют декартового произведения моделей их компонентов, изображенных в виде сетей Петри (в отличие от автоматных моделей).

Общая модель железнодорожной сети в виде сети Петри (сеть типа позиция/переход) может развиваться, как будет показано далее, в более сложные формы. Так, добавляя шкалу времени, получают сети Петри с таймером (СПВ), добавляя вероятности событий, получают стохастические сети Петри. Если метки в сети Петри нагружены дополнительной спецификацией и они должны различаться, одним из вариантов такого развития служат сети Петри с раскраской. Для построения управляющей логики применяют сети Петри с ограничивающими (блокирующими) дугами.

Основные задачи при создании моделей на основе сети Петри:

- описание реальной системы;
- имитация поведения реальной системы посредством моделирования различных ситуаций, которые в реальной системе не так просто воспроизвести;
- анализ поведения системы на наличие блокировок (дедлоков).

### 2.2. Примеры дискретно-событийного моделирования объектов железнодорожных сетей

Железнодорожные сети включают множественные композиции одних и тех же компонентов (блок-участки, стрелки, светофоры и др.). Для этих компонентов строятся модели на основе сети Петри (СП-модели). Набор таких моделей образует библиотеку компонентов. В рассматриваемых далее работах (работах раннего периода применения сетей Петри, 2006–2010 гг.) основное внимание уделено построению СП-моделей базовых компонентов железнодорожных сетей, а также разным способам их композиции для представления сложных сетей. Однако механизмами управления этими моделями в литературе уделено меньше внимания.

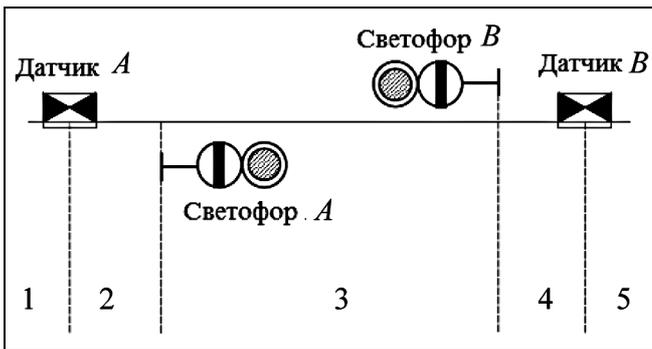


Рис. 6. Схема участка пути

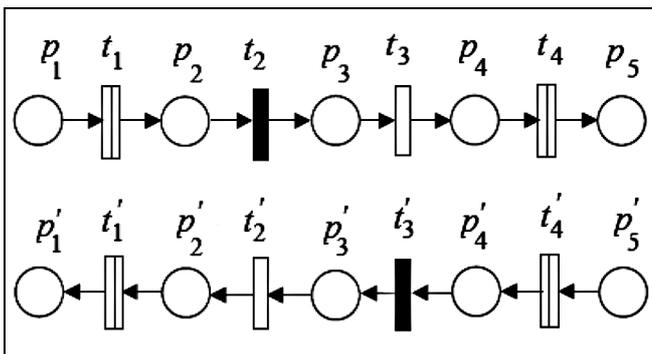


Рис. 7. СП-модель участка пути

В работе [13] рассмотрена задача моделирования железнодорожных объектов сетями Петри таким образом, чтобы можно было применить теорию супервизорного управления дискретно-событийной системой для автоматического проектирования системного контроллера.

Для этого вначале предлагается построить модель объекта, разработать соответствующую управляющую логику, чтобы удовлетворить набору ограничений для обеспечения безопасности движения поездов и живучести (отсутствие блокировок).

В настоящей работе рассмотрены две основные модели: на нижнем уровне разработана детальная модель для решения проблемы безопасности, на следующем уровне разработана более абстрактная модель для решения проблемы живучести.

Рассмотрим пример построения детальных моделей нижнего уровня (участка пути, станции, стрелки). На рис. 6 представлен участок пути, который можно разделить на пять сегментов.

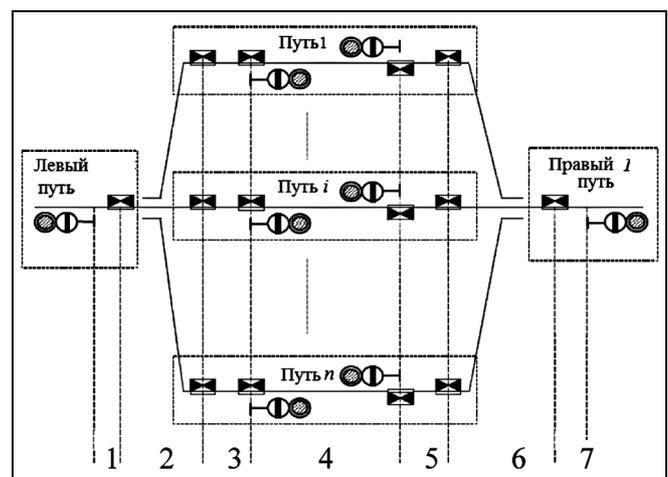
Датчики *A* и *B* обнаруживают прохождение поезда безотносительно его направлению. Светофор *A* может остановить поезд, идущий влево (из сегмента 3 в сегмент 2). Аналогично для светофора *B* (переход из сегмента 3 в сегмент 4).

На рис. 7 изображена СП-модель этого участка пути. Каждая пара вершин (позиций)  $p_i$  и  $p'_i$  представляют сегмент  $i$ : наличие метки в вершине  $p_i$  ( $p'_i$ ) означает наличие поезда в сегменте  $i$ , движущегося вправо (влево).

Переходы  $t_1, \dots, t_4$  ( $t'_1, \dots, t'_4$ ) представляют переход поезда, движущегося вправо (влево) из одного сегмента в другой. Предполагается, что когда датчик *A* обнаруживает поезд, движущийся вправо, метка помещается в вершину (позицию)  $p_1$ . При этом переходы могут быть (не)управляемыми и/или (не)наблюдаемыми, например, переход  $t'_2$  соответствует светофору *A*, он является и наблюдаемым, и управляемым, поскольку переход поезда в сегмент 2 при движении влево может быть запрещен сигналом светофора. Аналогично: переход  $t_3$  соответствует светофору *B*, поскольку переход поезда в сегмент 4 при движении вправо может быть запрещен сигналом этого светофора. Наблюдаемые, но не управляемые переходы представляют датчики.

Данная модель может представлять два случая.

- Однопутный участок, по которому поезда движутся в двух направлениях. Вершины  $p_i$  и  $p'_i$  представляют один сегмент пути. Очевидно, две эти вершины могут содержать не больше одной метки и не могут быть отмечены одновременно — это должно обеспечиваться соответствующей управляющей логикой.
- Двухпутный участок, по каждому пути поезда движутся только в одном направлении. В этом случае вершины  $p_i$  и  $p'_i$  соответствуют параллельным сегментам. Вершины могут содержать не больше одной метки и могут быть отмечены одновременно.


 Рис. 8. Схема станции с  $n$  путями

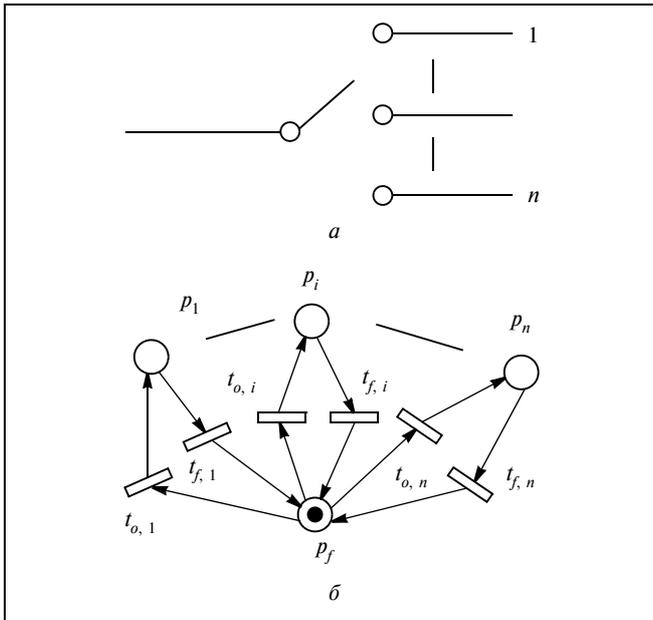


Рис. 9. Схема стрелки (а) и ее СП-модель (б)

Модель станции представляет собой  $n$  внутренних путей и два входо-выходных пути. На схеме (рис. 8) можно выделить 7 сегментов: 1- и 7-й сегменты представляют входо-выходные пути, 2- и 6-й — пути, управляемые стрелками.

На рис. 9 приведены схема и СП-модель стрелки. Стрелка имеет  $n + 1$  вершину и  $2n$  переходов. Когда отмечена вершина  $p_i$ ,  $i = 1, n$ , поезд может быть направлен на  $i$ -й путь. Если отмечена вершина  $p_f$ , то поезд не может пройти стрелку. Это означает, что либо изменяется маршрут, либо стрелка в режиме обслуживания.

На рис. 10 приведена СП-модель станции. Двойные стрелки использованы для обозначения петель. Две подсети справа и слева внизу моделируют стрелки.

В той же работе [13] рассмотрены вопросы построения супервизора железнодорожной сети, задача которого — обеспечение ее безопасности и живучести. Предложен метод автоматического синтеза контроллеров (супервизоров) для сетей вершина/переход с (не)управляемыми и (не)наблю-

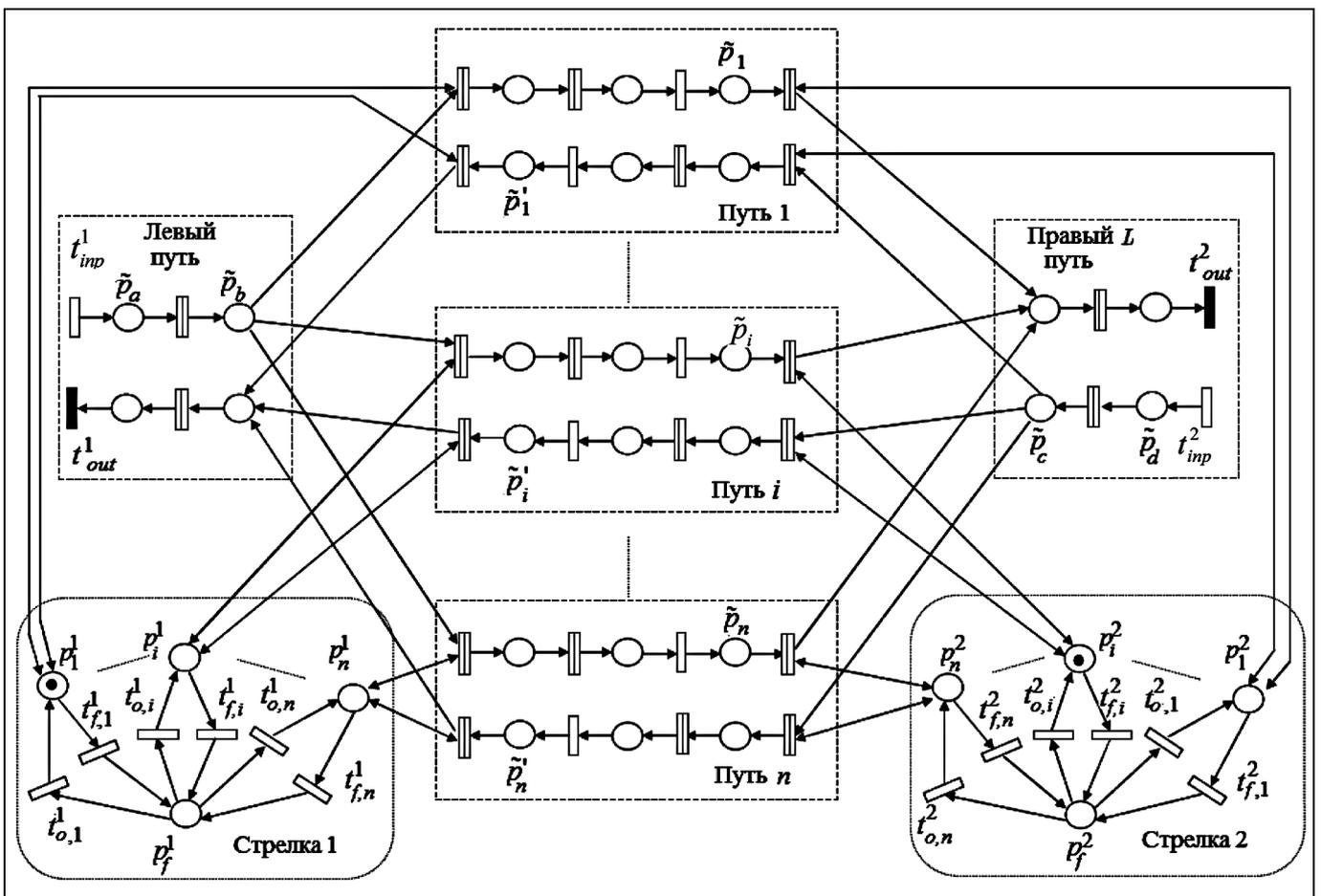


Рис. 10. СП-модель станции с  $n$  путями

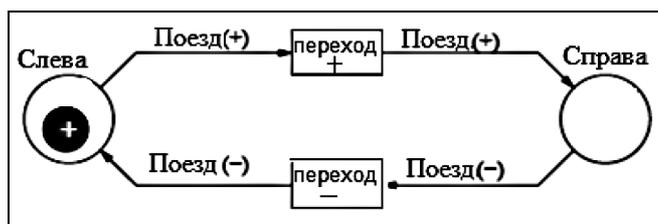


Рис. 11. СП-модель блок-участка

даемыми переходами, гарантирующий движение двух поездов по сети в одном или противоположных направлениях без столкновений и блокировок (дедлоков).

Привлекательная особенность изложенного в работе [13] подхода заключается в том, что проблема управления в целом может быть разбита на определенное число подзадач, что делает предложенную процедуру управления подходящей даже для задач большой размерности.

Однако рассмотренные СП-модели являются примерами абстракции. Они имеют понятное, но мало реалистичное поведение. Так, например, в реальности светофоры располагаются на концах участка. Движение поезда от одного участка к другому моделируется перемещением одной метки по сети Петри, но поезд при движении некоторое время может занимать оба участка.

В работах [14, 15] предложен компонентный подход: строятся СП-модели компонентов железнодорожных сетей (путей, блок-участков, стрелки). СП-модели железнодорожных сетей включают разнообразные композиции из этих моделей.

На рис. 11 изображена СП-модель блок-участка.

Позиции *Слева* и *Справа* представляют левую и правую границы блок-участка. Переход перемещает метку поезда между позициями в зависимости от направления движения поезда.

На рис. 12 изображена СП-модель железнодорожной сети, состоящей из двух блок-участков с объединенными левыми позициями (рис. 12, а) и СП-модели стрелки (рис. 12, б).

Светофоры позиций *Вверх* и *Вниз* поддерживают путь в соответствии с положением стрелки. Устройство выбора направления может управляться путем размещения метки светофора в позицию *Изменить*, после чего возможен переход *Установить вверх* или *Установить вниз*.

На рис. 12 возможен только один переход — верхний *переход+*. Если срабатывает этот переход, метка поезда забирается из позиции *Слева*, а метка светофора — из позиции *Вверх*. Далее, метка поезда добавляется в позицию *Справа вверх*, а метка светофора — в позицию *Вверх*. Это моделирует проезд поезда по стрелке на левый путь.

Модели на рис. 11 и 12 рассматриваются как модели базовых элементарных компонентов железнодорожной сети. Поезду указывается направление, но не задается маршрут. Одна из общих проблем в железнодорожной системе — возможность прохождения поездом стрелки в неверном направлении. На рис. 12 такая ситуация может возникнуть, если метка поезда в позиции *Справа* и поезд движется влево в направлении позиции *Слева*.

Для более реалистичного поведения требуется уточнение базовых сетей. Каждая позиция блок-участка отмечена меткой «нет поезда». Метка поезда может попасть в позицию блок-участка, если только в этой позиции есть метка «нет поезда».

Важным фактором при моделировании является время. В данных работах ([14, 15]) компонентам сопоставляются постоянные задержки, т. е. всем поездам требуется одинаковое время на преодоление одинаковых участков пути. Это упрощение реальной системы, но все же это важный шаг к уточнению поведения модели.

Поезда, проходящие через этот компонент, получают задержку в одну единицу модельного времени. Метка «нет поезда» также получит такую же задержку. Это означает, что позиция, из которой вы-

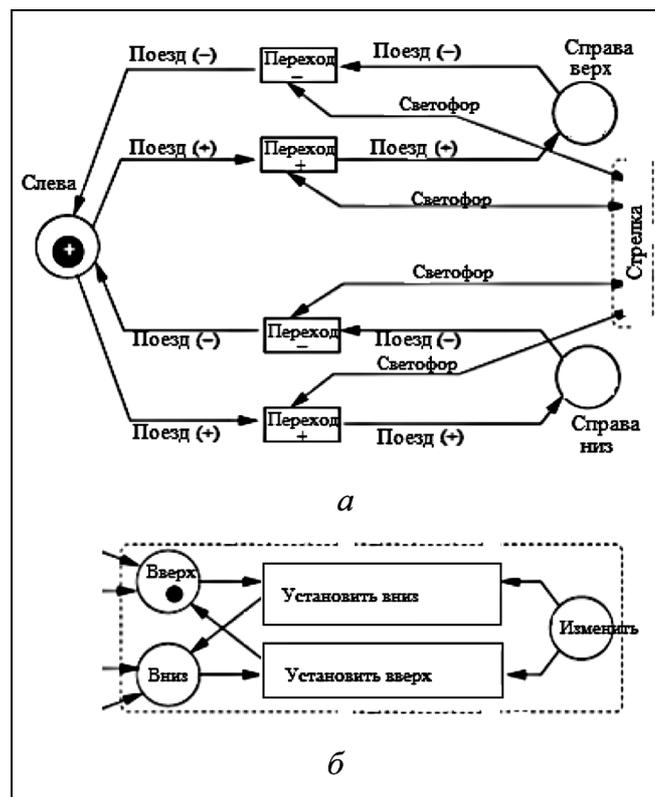


Рис. 12. СП-модель железнодорожной сети, состоящей из двух блок-участков с объединенными левыми позициями (а) и СП-модель стрелки (б)

шел поезд, будет занята до тех пор, пока поезд не достигнет другой позиции.

Набор таких компонентов образует библиотеку компонентов. Библиотека отображает определенные свойства системы типа безопасности, обнаружения коллизий, управления стрелками, контроль времени. Композиция базовых компонентов может формировать более крупные сети. При моделировании метка поезда содержит список элементов, реализующих его маршрут, в соответствии с которым устанавливаются нужные стрелки (или переход блокируется, если какой-либо элемент уже занят другим маршрутом).

В работе [16] для моделирования железнодорожных сетей предложено использовать автоматные сети Петри, которые представляют собой расширение сетей Петри (расширение заключается во введении запрещающих дуг). Железнодорожный путь разбивается на электрически изолированные участки. Каждый участок представляется вершиной (в том числе и стрелки). Полученный граф, отображающий топологию железнодорожного пути, дополняется управляющими вершинами, реализующими систему блокировок. Именно от этих вершин проводятся разрешающие или запрещающие линии к переходам между вершинами, представляющими железнодорожные участки. В зависимости от маркировки управляющих вершин и требуемого маршрута поезда устанавливаются необходимые стрелки и сигналы. Размещение меток в управляющих вершинах в работе не рассматривается. Автоматные СП позволяют с достаточной степенью достоверности моделировать движение поездов в железнодорожной сети и управление сигнальной системой.

В работе [17] рассмотрена проблема получения формальной спецификации (текстов) на разработку модели. Написание формальных спецификаций на базе текстовых описаний является важнейшей и одновременно сложной задачей. Предложен метод ее решения — получение алгебраической спецификации, которая затем адаптируется к сети Петри. Показано, как можно применить такой метод для получения модульных сетей Петри с раскраской.

В качестве примера рассмотрим железнодорожную сеть с 12-ю блок-секциями ( $B1 — B12$ ), соединенными четырьмя стрелками (рис. 13). Стрелками указаны направления, по которым поезда могут проходить стрелки. По всем блок-участкам разрешено движение в обоих направлениях. Железнодорожная сеть подключена к компьютеру через последовательный порт, что позволяет считывать состояния датчиков и посылать команды поездам через блок-участки и на стрелки.

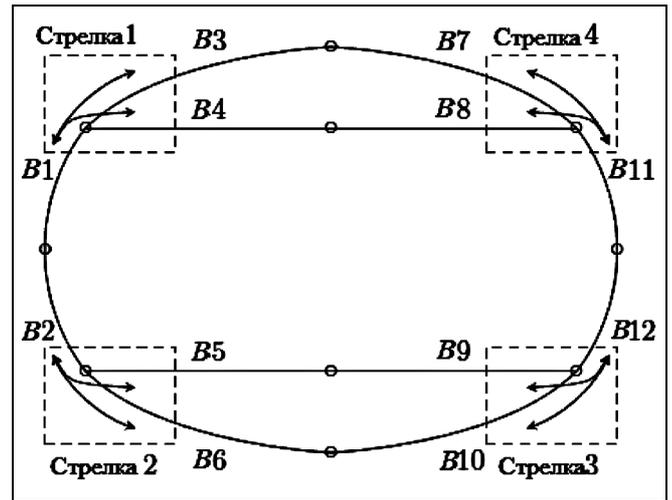


Рис. 13. Пример железнодорожной сети

На границах каждого блок-участка установлены датчики для обнаружения прихода или ухода поезда. Команда на поезд может означать остановку или движение вперед или назад с определенной скоростью. В сети одновременно могут двигаться несколько поездов, при этом не должно быть столкновений. Движение должно быть постоянным и без вмешательства человека, т. е. движение поездов адаптируется к локальным условиям, а не следует заданным маршрутам.

Исходным заданием служит текстовое описание, которое разбивается на отдельные фразы по определенным категориям в зависимости от типа получаемой информации. Информация от датчика определяет состояние, в то время как команда определяет событие. Пример вербальных фраз, связанных с движением и позицией поездов:

- поезда могут проходить стрелки;
- движение по блок-участкам разрешено в обоих направлениях;
- поезд может начать обратное движение, если он не может двигаться вперед;
- команды, посылаемые на поезд, требуют либо остановки, либо движения в одном из направлений.

На следующем этапе определяются списки событий, типов данных, модулей. Для каждого события определяется предсостояние для его возникновения (*precondition*) и постсостояние после того, как оно произошло (*postcondition*).

Затем определяются свойства событий. Например, событие *changeTrackSec*: поезд *tr* движется из блок-секции *ts1* в блок-секцию *ts2*.

Предсостояние: эти секции должны быть соединены (вводится новый указатель события *connected*), секция *ts2* должна быть свободной, поезд

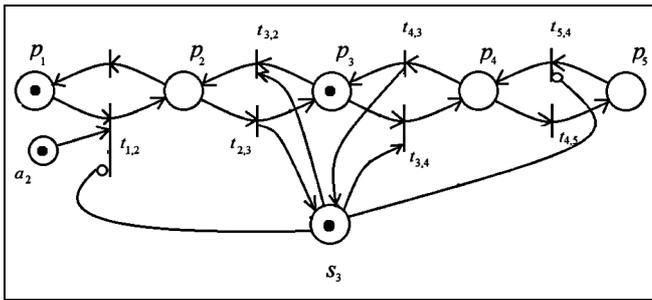


Рис. 14. Объединенная сеть Петри сегмента и супервизора безопасности

должен находиться на секции  $ts1$ , направление движения поезда ( $td$ ) от секции  $ts1$  к секции  $ts2$ . Это приводит к уже формальному выражению:

$$(connected\ ts1,\ ts2,\ td) \wedge (direction \\ (tr = td \wedge trainPresent(ts1) = tr) \wedge (trainPresent \\ (ts2) = none).$$

В конечном итоге получается список модулей с определенными интерфейсами и набором свойств, состояний и событий. На основе этого списка формируется сеть Петри с раскраской. Состояния и события соответствуют вершинам и переходам. Разработан подход с точными правилами построения модульной сети Петри с раскраской из текстового описания системы.

Заметим, что в то время как применение сетей Петри становится все проще с появлением новых средств разработки, очень мало работ посвящено методам разработки спецификаций для проектирования сети Петри.

В работе [18] сети Петри применены для моделирования переезда железнодорожных путей. Шлагбаум, автодорожный и железнодорожный сигналы — три основных физических компонента переезда. Сети Петри с таймером использованы для отображения временной сущности сигнальной системы. Сети Петри с таймером были введены для преодоления временных ограничений сети Петри. В СПВ метка в вершине считается живой только в пределах интервала  $[t_{min}, t_{max}]$ . По истечении времени  $t_{max}$  метка считается мертвой. Таким образом, для того, чтобы переход был возможен, присутствие требуемого числа меток в каждой из входных его вершин должно быть гарантировано в интервале  $[t_{min}, t_{max}]$ . После момента  $t_{max}$  все метки во входных вершинах будут деактивированы.

Построены модели СПВ для шлагбаума, дорожного и железнодорожного сигналов (красный, зеленый). Управляющий блок обеспечивает управление физическими компонентами таким обра-

зом, чтобы железнодорожное движение было непрерывным и не возникало опасных ситуаций. Сети Петри с таймером помогают в анализе условий безопасности, определении потенциально опасных ситуаций.

Рассмотрены нечеткая сетевая модель сети Петри для оценки задержек поезда [19], задача моделирования железнодорожных сетей с использованием цветных сетей Петри [20], задача моделирования надежности железнодорожных перевозок в случае сбоев [21] и др.

В работах [22, 23] разработаны СП-модели основных элементов участка железной дороги: перегона с разъездом, блок-участка, стрелки, а также модели движения поездов. Групповое управление моделями при параллельно-конвейерном движении поездов осуществляется специально разработанными управляющими компонентами (супервизорами), обеспечивающими требования безопасности движения.

В работе [22] предложено строить несколько иерархически зависимых уровней моделирования.

На верхнем уровне с помощью сети Петри строится модель перегона с разъездом железнодорожной сети по его структурной схеме. Основное назначение этого уровня — наблюдать за движением поездов по перегону и контролировать соответствие заданным маршрутам, рассчитывать временные параметры движения поездов и др.

На среднем уровне проектируется супервизор в виде сети Петри с блокирующими (ограничивающими) дугами, обеспечивающий заданную зону безопасности, состоящую из одного или двух свободных блок-участков между двумя соседними поездами. Рассмотрим пример. На рис. 14 показан участок пути — сегмент, состоящий из нескольких последовательно соединенных блок-участков (позиции  $p_1 - p_5$ ). Позиции  $p_1$  и  $p_3$  содержат метки, отражающие нахождение поездов в соответствующих блок-участках. Супервизор состоит из позиции  $s$  и выходящих из нее блокирующих дуг, одна из которых запрещает перемещение метки из позиции  $p_1$  в позицию  $p_2$ . Тем самым обеспечивается зона безопасности, состоящая из одного свободного блок-участка между поездами.

На нижнем уровне (микроуровне) моделирования определяется связь СП-моделей блок-участков, стрелок, светофоров с соответствующими датчиками и управляющими командами диспетчера, тем самым обеспечивается связь между состояниями моделей нижнего уровня и состояниями физических объектов.

Здесь впервые предпринята попытка построения СП-модели участка пути с учетом длины поезда. Рассмотрим это более подробно.



На рис. 15 изображена маркированная сеть Петри, моделирующая перемещение поезда с первого блок-участка (позиция  $p_1$ ) на второй блок-участок (позиция  $p_2$ ). Позиции  $s_1^o$ ,  $s_2^c$  — управляющие позиции перехода  $t$ . Наличие метки в позиции  $s_1^o$  означает, что первый блок — участок свободен (*open*), наличие метки в позиции  $s_2^c$  означает, что второй блок — участок занят (*close*). При наличии меток в обеих управляющих позициях происходит событие — запуск перехода  $t$  и (по правилам функционирования сети Петри) происходит удаление метки из позиции  $p_1$  и помещение метки в позицию  $p_2$ .

Такое функционирование сети Петри не соответствует реальной картине передвижения поезда с одного блок-участка на другой, так как существует интервал времени, в течение которого поезд находится на обоих блок-участках. Таким образом, в данном случае имеет место событие (переход), длительность которого отлична от нуля (так называемое непримитивное событие). Непримитивное событие моделируется сетью Петри, показанной на рис. 16, где метка в позиции  $p_{1,2}$  соответствует нахождению поезда на обоих блок — участках.

Другой вариант сети Петри, моделирующей данный процесс, показан на рис. 17.

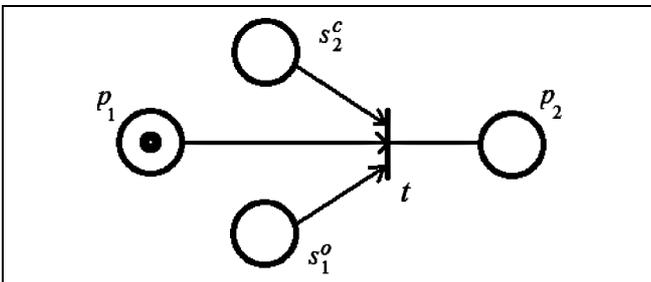


Рис. 15. Сеть Петри, моделирующая перемещение поезда с первого блок-участка на второй

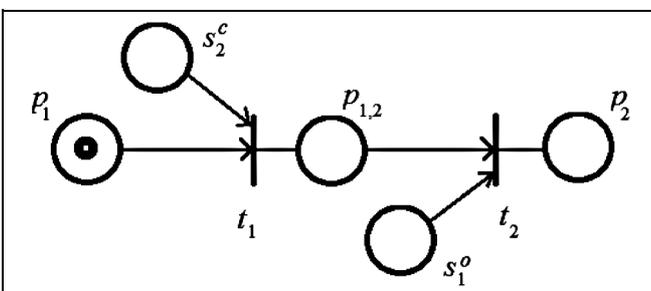


Рис. 16. Сеть Петри, моделирующая перемещение поезда с помощью непримитивного события

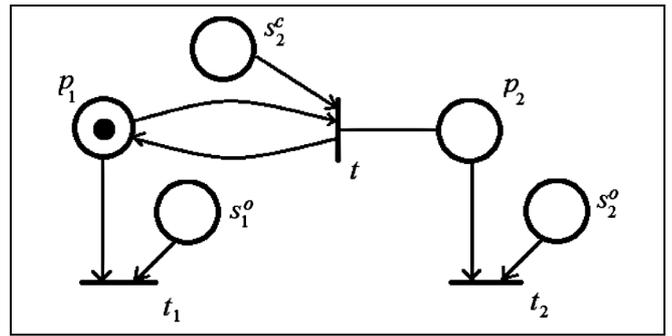


Рис. 17. Сеть Петри, моделирующая движение «длинного» поезда

Запуск перехода  $t$  помещает метку в позицию  $p_2$ , это означает, что голова поезда находится на втором блок-участке. Одновременно сохраняется метка в позиции  $p_1$  (конец поезда находится на первом блок-участке). Появления метки в позиции  $s_1^o$  (поезд покинул первый блок-участок) приводит к запуску перехода  $t_1$ , в результате чего метка удаляется из позиции  $p_1$ . Такая модель движения поезда соответствует реальному процессу. Однако это приводит к усложнению моделей движения поездов и управляющей логики.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В заключение краткого рассмотрения работ, посвященных проектам систем оперативного планирования движения поездов и методам моделирования на основе сетей Петри компонентов железнодорожных сетей сделаем некоторые выводы.

- Рассмотренные системы прогнозирования и нахождения оптимальных решений группового движения поездов можно считать интеллектуальными — они, как минимум:
  - определяют (предвидят) возможные конфликтные ситуации;
  - находят близкие к оптимальным решения группового движения поездов; в основном изменяют планы движения каждого поезда в режиме реального времени;
  - отделяют процесс принятия решений диспетчером от выполнения этих решений средствами автоматики.
- В результате работы систем формируются в том или ином виде множество маршрутов, последовательности движения поездов, параметры движения (скорости, остановки).
- Методы прогнозирования и нахождения оптимальных решений группового движения поездов должны обеспечивать точное вычисление параметров движения на основе детального мо-

делирования инфраструктуры, сигнализации, характеристик подвижного состава, динамики движения и заданного расписания.

- В условиях увеличения объемов данных, их неопределенности, роста количества неструктурированной информации и воздействия внешней среды требуется выполнение большого объема вычислений, порой недопустимого в реальном времени; поэтому эти вычисления осуществляются как методами дискретной математики, так и на основе законов нечеткой алгебры, правил Мах-Plus-алгебры и др.
- На основе теории сетей Петри разработаны модели основных компонентов инфраструктуры железнодорожных сетей (участков путей, стрелок, станций, перегонов, поездов и др.) в целях построения автоматических систем управления инфраструктурой железнодорожной сети, обеспечивающих безопасное движение поездов в режиме реального времени.

Модели движения поездов в большинстве работ имеют понятное, но мало реалистичное поведение. Так, движение поезда от одного участка к другому моделируется перемещением только одной метки по сети Петри, в то время как поезд при движении некоторое время может занимать оба участка. Кроме того, недостаточное внимание уделяется проектированию управляющей логики, синхронизации супервизоров при групповом движении поездов.

*Авторы признательны д-ру техн. наук О.П. Кузнецову, конструктивная и доброжелательная критика которого способствовала улучшению статьи.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Левин Д.Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом. — М.: Маршрут, 2005. — 760 с.
2. Isaksson-Lutteman G. Future train traffic control. Development and deployment of new principles and systems in train traffic control. — Uppsala, Uppsala University, 2012. — URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:504962/FULLTEXT05.pdf> (дата обращения: 11.11.2017).
3. Kauppi A., Wikström J., Sandblad B., Andersson A. Future train traffic control: control by re-planning // Cognition, Technology & Work. — 2006. — Vol. 8, N 1. — P. 50–56.
4. D'Ariano A., Corman F., Hansen I.A. Railway traffic optimization by advanced scheduling and rerouting algorithms. — Delft: Delft University of Technology, 2010. — URL: [http://uic.org/cdrom/2008/11\\_wcrr2008/pdf/O.1.4.2.3.pdf](http://uic.org/cdrom/2008/11_wcrr2008/pdf/O.1.4.2.3.pdf) (дата обращения 23.10.2017).
5. Kecman P., Goverde R.M.P., Van den Boom, Ton J.J. A model-predictive control framework for railway traffic Management // Computers in Railways XII. — 2010. — Vol. 114.
6. Kecman P., Goverde R.M.P. (2014): Online Data-Driven Adaptive Prediction of Train Event Times // IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems. — 2015. — Vol. 16, iss. 1. — P. 465–474.
7. Kecman P. Models for Predictive Railway Traffic Management Management — Delft University of Technology, 2014. — 190 p.
8. Goverde R. Railway Timetable Stability Analysis Using Max-Plus System Theory // Transportation Research Part B. — 2007. — Vol. 41, N 2. — P. 179–201.
9. Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженера. — СПб.: Лань, 2009. — 400 с.
10. Cassandras C.G., Lafontaine S. Introduction to discrete event systems. — Springer, 2008. — 772 p.
11. Амбарцумян А.А. Моделирование и синтез супервизорного управления на сетях Петри для рассредоточенных объектов // Автоматика и телемеханика. — 2011. — Ч. 1. — № 8. — С. 151–169; Ч. 2. — № 9. — С. 173–189.
12. Амбарцумян А.А. Потехин А.И. Групповое управление в дискретно-событийных системах // Проблемы управления. — 2012. — № 5. — С. 46–53.
13. Giua A., Seatzu C. Modeling and supervisory control of railway networks using Petri nets // IEEE Trans. on Automation Science and Engineering. — 2008. — Vol. 5, N 3. — P. 431–445.
14. Bjuurk J., Hagalisletto A.M., Enger P. Large Scale simulations of Railroad Nets // Proc. of the Fourth International Workshop on Modelling of Objects, Components and Agents, MOCA'06. — Bericht 272, FBI-HH-B-272/06. — June 2006. — P. 45–101.
15. Hagalisletto A.M., Bjuurk J., Yu I.C., Enger P. Constructing and Refining Large-Scale Railway Models Represented by Petri Nets // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Part C. — 2007. — Vol. 37, N 4. — P. 444–460.
16. The Application of Automation Theory to Railway Signalization Systems: The Case of Turkish National Railway Signalization Project / M.T. Söylemez, M.S. Durmuş, U. Yıldırım, et al. // Preprints of the 18th IFAC World Congress Milano (Italy) August 28 — September 2, 2011.
17. Choppy C., Laure Petrucci L., Gianna Reggio G. A Modelling Approach with Coloured Petri Nets // 13th International Conference on Reliable Software Technologies / ADA-Europe, Venice, Italy. 2008. — Vol. 5026 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, P. 73–86.
18. Hajra P., Dasgupta R. Modelling of a Multi-Track Railway Level Crossing System Using Timed Petri Net // International Scholarly and Scientific Research & Innovation. — 2012. — Vol. 6, N 11. — P. 1427–1432. — URL: <http://scholar.waset.org/1307-6892/11608> (дата обращения: 11.11.2017).
19. Milinkovic S., Mrkovic M., Veskovic S. A fuzzy petri net model to estimate train delays // Simulation, Modelling, Practice and Theory. — 2013. — Vol. 33. — P. 144–157.
20. Vanit-Anunchai S. Modelling Railway Interlocking Tables Using Coloured Petri Nets. — URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01054630/document> (дата обращения: 14.11.2017).
21. Fecarotti C., Andrews J., Remenyte-Prescott R. Modeling railway service reliability in the event of failures // Safety and Reliability of Complex Engineered Systems: 25th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2015; Zurich; Swaziland; 7 September 2015 — 10 September 2015. P. 1539–1545.
22. Потехин А.И., Браништов С.А., Кузнецов С.К. Дискретно-событийные модели железнодорожной сети // Проблемы управления. — 2014. — № 1. — С. 74–81.
23. Кузнецов С.К., Потехин А.И. Применение сетей Петри для моделирования железнодорожных систем (обзор) // Тр. XII Всерос. совещания по проблемам управления (ВСПУ-2014) / ИПУ РАН. — М., 2014. — С. 4937–4946.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии О.П. Кузнецовым.*

**Кузнецов Сергей Константинович** — науч. сотрудник,  
✉ skuznetsov@bk.ru,

**Потехин Анатолий Иванович** — канд. техн. наук,  
вед. науч. сотрудник, ✉ arot@ipu.ru,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,  
г. Москва.

## ОБОБЩЕННЫЕ СТОХАСТИЧЕСКИЕ СЕТЕВЫЕ ГРАФИКИ С УПРАВЛЯЮЩИМИ ДУГАМИ

Н.Н. Иванов

Для обобщенного стохастического сетевого графика предложены алгоритмы управления временем его выполнения, основанные на введении управляющих дуг. Предложен способ вычисления среднего времени выполнения сетевого графика с управляющими дугами и его оценок при нескольких режимах их активации.

**Ключевые слова:** обобщенный стохастический сетевой график, критический путь, управляющие дуги, время выполнения, имитационное моделирование.

### ВВЕДЕНИЕ

Сетевые графики служат для моделирования сложных взаимосвязанных временных процессов, таких как выполнение проектной документации, строительства, сборочных процессов, процессов выполнения в реальном времени управляющих программ в вычислительных системах (ВС). В настоящее время сетевые графики рассматриваются в предположении о временах прохождения дуг как случайных величинах с известными распределениями [1].

В настоящей работе рассматривается вариант сетевых графиков, названный обобщенным стохастическим сетевым графиком (ОССГ) и отличающийся допущением в качестве дисциплины возникновения события (возбуждения некоторой вершины), помимо стандартной, при которой событие наступает после прохождения всех дуг, входящих в соответствующую данному событию вершину (дисциплина «И»), альтернативной дисциплины (исключенное) «ИЛИ», которой соответствует возбуждение вершины в результате прохождения первой (по времени) из входящих в нее дуг [2, 3].

Применительно к вычислительным процессам в управляющих параллельных ВС, основанным на структуризации управляющих программ (программных модулей) с помощью ОССГ [4, 5]), последние могут рассматриваться как инструмент обеспечения временной надежности ВС. Это понятие предполагает, что для заданных распределений времени выполнения отдельных работ пове-

дение ОССГ может быть смоделировано, и на этой основе сделан вывод о возможности выполнения управляющей программы не более чем за заданное директивное время с заданной вероятностью.

Для выполнения этого требования могут быть привлечены предлагаемые в работе средства, основанные на внедрении в ОССГ специальных (управляющих) дуг, вызывающих досрочное свершение событий — вершин, для которых они являются входными, или смену типа управляемой вершины (с «И» на «ИЛИ»).

Помимо чисто управленческих функций эти дуги могут решать и другие моделирующие задачи: например, за время прохождения управляющей дуги параллельно с управляемым контуром могут осуществляться действия, дублирующие процессы, которые происходят в этом контуре. Так, например, за время прохождения управляющей дуги могут быть осуществлены вычислительные процессы по упрощенным алгоритмам (с понижением точности вычислений, с сокращением числа используемых параметров и т. п.), сопровождаемые существенным сокращением временных затрат и использованием при необходимости результатов этих вычислений для достижения временной надежности управляющих программ в управлении техническими объектами в реальном времени.

Кроме того, подчеркнем, что в практике моделирования введение в сетевые графики подобных дуг явится расширением функциональных возможностей этих графиков. Таким образом, наряду с традиционными дисциплинами свершения событий («И» и «ИЛИ») в сетевые графики могут быть введены вершины, соответствующие событиям,

свершение которых может происходить по иным дисциплинам. Примеры таких дисциплин, которыми не исчерпывается все многообразие подобных вершин, рассматриваются в данной работе.

Отметим также, что приемы, рассмотренные в работе, могут найти применение и в других предметных областях. Необходимость использования этих возможностей определяется пользователем, а их целесообразность и эффективность может быть подтверждена обсуждаемыми в работе средствами имитационного моделирования.

## 1. АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ДУГ

Управление предполагает включения в ОССГ дуг, которые ведут в вершины типа «И» и активируют соответствующие им события независимо от того, закончилось ли прохождение всех входящих дуг, либо меняют тип управляемой вершины (с «И» на «ИЛИ»).

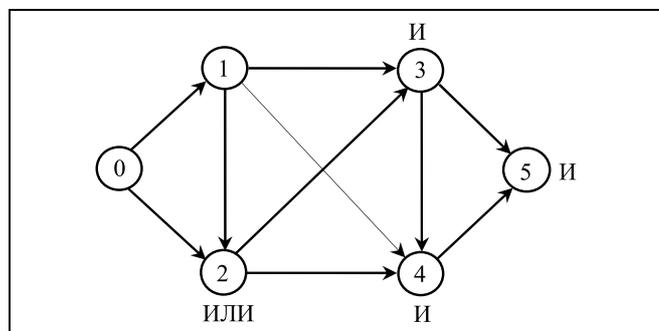
На рисунке представлен ОССГ, на котором имеется показанная тонкой линией управляющая дуга 14 (обозначения дуг соответствуют номерам соединяемых ими вершин).

В работе предлагается методика моделирования ОССГ с управляющими дугами с целью нахождения оценок времени выполнения ОССГ для различных предлагаемых режимов активации управляющих дуг. Методика позволяет также находить статистическую вероятность активации управляющих дуг для всех предлагаемых режимов их активации.

На случайные времена выполнения работ налагаются ограничения: распределения этих времен предполагаются абсолютно непрерывными, заданными на конечных промежутках и, возможно, зависимыми.

Структурные ограничения на ОССГ с управляющими дугами, принятые в работе, определяются двумя правилами:

— управляемая вершина может управляться только одной дугой;



Пример ОССГ

— время прохождения управляющей дуги — детерминированная величина.

В работе рассматривается режим I активации управляющей дуги, при котором активация происходит в случае, если время прихода управляющей дуги в управляемую вершину меньше времен прихода всех дуг из выделенного подмножества  $S$  дуг.

При альтернативном способе (режим II) активация происходит, если время прихода управляющей дуги меньше времени прихода хотя бы одной из входящих в множество  $S$  дуг.

В режиме III активация управляющей дуги происходит только в том случае, если время ее прихода больше времени прихода каждой дуги из множества  $S$  выделенных входных дуг, но при этом существует, по крайней мере, одна входная дуга, не входящая в множество  $S$ , время прихода которой в управляемую вершину больше времени прихода управляющей дуги.

Кроме упомянутых режимов управления, основанных на непосредственном воздействии на динамические процессы в ОССГ, рассматривается один из возможных методов (режим IV) косвенного воздействия на поведение ОССГ, определяемый изменением типа управляемой вершины, которое происходит, если время прихода управляющей дуги в управляемую вершину меньше времен прихода всех входящих в нее дуг.

Рекомендуется следующее правило выбора управляемых вершин: по результатам имитационного моделирования процессов выполнения сетевого графика выбрать минимальное число управляемых вершин на наиболее вероятных критических путях и режимы активации управляющих дуг.

## 2. МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ

Моделирование поведения ОССГ основывалось на алгоритме, схожем с алгоритмом DAG\_SHORTEST\_PATHS [6] нахождения кратчайшего пути в простом графе, однако его применимость к ОССГ в связи с иными задачами и используемыми в этих графиках управляющими дугами потребовала его существенной перестройки. Ниже приведен текст алгоритма DAG\_LONGEST\_PATHS и применяемых в нем процедур в тех же кодах, которые использованы в работе [6].

Принятые обозначения:  $I[G]$  — множество вершин;  $(v, u)$  — дуга, соединяющая вершины  $v$  и  $u$  в указанном порядке;  $Adj[u]$  — множество всех непосредственных последователей вершины  $u$ ;  $d[v]$  — время нахождения в вершине  $v$ ;  $\pi[v]$  — предшественник вершины  $v$  такой, что дуга  $(\pi[v], v)$  вызвала изменение времени  $d[v]$ ;  $w(v, u)$  — время прохождения дуги  $(v, u)$ ;  $s$  — начальная вершина,  $r$  — конечная вершина.



**DAG\_LONGEST\_PATHS** ( $G, w, s$ ) (в графе  $G$  вершины обоих типов и управляющие дуги)

```

1 топологическая сортировка вершин  $G$  (введе-
  ние отношения  $\phi$  строгого порядка, которое
  покрывает частичный порядок  $\psi$ , определяе-
  мый ОССГ,  $u\psi v \Rightarrow u\phi v$ )
2 INITIALIZE_SINGLE_SOURCE ( $G, s$ )
3 for всех  $u \in V[G]$  (в установленном полном по-
  рядке  $\phi$ ) do
4   if  $u$  — управляемая вершина и  $(v, u)$  — управ-
    ляющая дуга
5     then CONTROL ( $v, u, w$ )
6   for  $v \in Adj[u]$  (для всех последователей верши-
    ны  $u$ ) do
7     if  $v$  имеет тип «ИЛИ» и не управляемая
8       then RELAX ( $u, v, w$ )
9     if  $v$  имеет тип «И» и не управляемая
10      then INCREASE ( $u, v, w$ )
11    if  $v$  имеет тип «И» и управляемая по режиму
    I—IV then
12      if  $(u, v)$  — не управляющая дуга
13        then INCREASE ( $u, v, w$ )
14 Время выполнения сетевого графика  $T \leftarrow d[r]$ .
    INITIALIZE_SINGLE_SOURCE ( $G, s$ ) (иници-
    ализация алгоритма [6], с добавлением п. 2 и 3)
1 for  $\forall v \in V[G]$  do
2   if  $v$  типа «И»
3     then  $d[v] \leftarrow 0$ 
4   if  $v$  типа «ИЛИ»
5     then  $d[v] \leftarrow \infty$ 
6    $\pi[v] \leftarrow \text{NIL}$ 
7    $d[s] \leftarrow 0$ 

```

**Примечание.** Если  $\pi[v] = \text{NIL}$ , то предше-  
ственник не определен, если же  $\pi[v] \neq \text{NIL}$ , то об-  
ращенная цепочка  $r, \pi[r], \pi[\pi[r]], \dots, s$  будет пред-  
ставлять собой критический путь.

CONTROL ( $v, u, w$ ) ( $(v, u)$  — управляющая дуга,  
 $S \subseteq Q$ ,  $Q$  — множество входных дуг в  $u$ ).

Режим I

```

1 if  $\forall (q, u) \in S(d[q] + w(q, u) > d[v] + w(v, u))$ 
2   then  $d[u] \leftarrow d[v] + w(v, u)$ 
3    $\pi[u] \leftarrow v$ 

```

Режим II

```

1 if  $\exists (q, u) \in S(d[q] + w(q, u) > d[v] + w(v, u))$ 
2   then  $d[u] \leftarrow d[v] + w(v, u)$ 
3    $\pi[u] \leftarrow v$ 

```

Режим III

```

1 if  $\forall (q, u) \in S(d[q] + w(q, u) > d[v] + w(v, u)) \&$   

 $\exists (p, u) \in Q \setminus S(d[p] + w(p, u) > d[v] + w(v, u))$ 
2   then  $d[u] \leftarrow d[v] + w(v, u)$ 
3    $\pi[u] \leftarrow v$ 

```

Режим IV

```

1 if  $\forall (q, u) \in Q((d[q] + w(q, u) > d[v] + w(v, u)) \&$   

 $\exists (z, u) \in Q(d[z] + w(z, u) \leq d[q] + w(q, u))$ 
2   then  $d[u] \leftarrow d[z] + w(z, u)$ 
3    $\pi[u] \leftarrow z$ 

```

RELAX ( $u, v, w$ ) [6] (применяется для вершин  
типа «ИЛИ»)

```

1 if  $d[v] > d[u] + w(u, v)$ 
2   then  $d[v] \leftarrow d[u] + w(u, v)$ 
3    $\pi[v] \leftarrow u$ 

```

INCREASE ( $u, v, w$ ) (применяется для вершин  
типа «И»; вершины, имеющие одну входную дугу,  
отнесены к вершинам типа «И»)

```

1 if  $d[v] < d[u] + w(u, v)$ 
2   then  $d[v] \leftarrow d[u] + w(u, v)$ 
3    $\pi[v] \leftarrow u$ 

```

### 3. ПРИМЕР

Далее в режимах I и II множество  $S$  выделенных  
дуг совпадало с множеством всех дуг, входящих в  
управляемую вершину 4. В режиме III множество  
 $S$  состояло из дуги 24.

Аналитико-имитационное исследование ОССГ,  
приведенного на рисунке, проводилось для неза-  
висимых нормальных распределений при уровнях  
значимости, определяемых «правилом трех сигм».  
Величины  $m_{ij}$  и  $d_{ij}$  представляют собой математи-  
ческие ожидания и дисперсии времен прохожде-  
ния дуг, соединяющих вершины с номерами  $i$  и  $j$ :

$$\begin{aligned}
 m_{01} &= 5, & m_{02} &= 3\sqrt{2}, & m_{12} &= m_{23} = 9, \\
 m_{13} &= m_{34} = 6, & m_{14} &= m_{24} = 6\sqrt{2}, & m_{35} &= m_{45} = 3, \\
 d_{01} &= d_{14} = 0, \\
 d_{02} &= d_{12} = d_{13} = d_{23} = d_{24} = d_{34} = d_{35} = d_{45} = 1.
 \end{aligned}$$

Времена прохождения дуг моделировались по  
методике, описанной в работе [7], с помощью дву-  
мерных изотропных векторов.

В соответствии с рекомендованным выше спо-  
собом внесения управляющих дуг была внесена  
управляющая дуга 14 в предположении, что про-  
хождение дуги 34 на путях 6 и 8 (см. далее) может  
оказаться нештатным (с превышением предельно-  
го времени). Для данного графика задано дирек-  
тивное время  $T_{\text{дир}}$ , для которого определена пре-  
дельная относительная частота  $p_{\text{дир}}$  выхода време-  
ни выполнения графика за значение  $T_{\text{дир}}$  (в нашем  
примере  $p_{\text{дир}} = 2,5 \cdot 10^{-5}$ ).

Результаты проведенных экспериментов сведе-  
ны в таблицу, где  $m$  — оценка среднего времени  
выполнения ОССГ без управления и с управле-  
нием,  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение это-  
го времени,  $\Delta$  — ширина интервала доверия при  
уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе прогонов  $10^6$ ,  
 $P_i$  — относительная частота  $i$ -го пути, при этом пу-  
ти, обозначенные номерами проходимых вершин,  
упорядочены: 1 — 0135, 2 — 0235, 3 — 0145, 4 —  
0245, 5 — 01235, 6 — 02345, 7 — 01245, 8 — 01345,

9 — 012345. В четвертой строке таблицы приведено значение  $T_{\max}$  — наибольшее время выполнения рассматриваемого ОССГ во всех имитационных прогонах и номер пути, на котором это значение достигнуто. В пятой строке приведены частоты  $P_{14}$  активации дуги 14. В шестой строке приведена относительная частота  $P_{30}$  того, что время выполнения графика превосходит заданное директивное время  $T_{\text{дир}} = 30$ . Второй столбец — все упомянутые выше величины получены без управления (Б. у.). Строки, соответствующие путям 5, 7 и 9, удалены, поскольку все величины в них равны нулю.

Как видно из таблицы, отсутствие управления сопровождается превышением предельного значения ( $p_{\text{дир}} = 2,5 \cdot 10^{-5}$ ) частоты  $P_{30}$ . Любой из рассмотренных режимов управления исправляет эту ситуацию, при этом наиболее эффективными следует признать режимы I и IV, поскольку они обеспечивают наименее частую активацию управляющей дуги 14 и наибольшее снижение относительной частоты  $P_{30}$ . Режим II сопровождается практически постоянной активацией управляющей дуги, и по этой причине в данном примере может быть признан непригодным для целей управления.

Снизить относительную частоту  $P_{14}$  активации управляющей дуги при сохранении исходного требования  $P_{30} < 2,5 \cdot 10^{-5}$  можно, увеличив временной параметр  $m_{14}$  (длительность прохождения управляющей дуги 14) до значения 7,3. В этом случае в режимах I и IV величина  $P_{30}$  не будет превосходить  $2 \cdot 10^{-5}$ , а частота  $P_{14}$  не превзойдет значение, равное 0,032.

**Результаты экспериментов**

Параметр	Б. у.	Режим I	Режим II	Режим III	Режим IV
$m$	22,32	20,69	17,17	18,8	20,81
$\sigma$	1,9	2,62	1,1	3,07	2,48
$\Delta$	$7,42 \cdot 10^{-3}$	$10,3 \cdot 10^{-3}$	$4,29 \cdot 10^{-3}$	$12,03 \cdot 10^{-3}$	$9,62 \cdot 10^{-3}$
$T_{\max}$	32,14/6	30,89/6	24,25/2	31,15/6	30,89/6
$P_{14}$	—	0,2953	~1	0,7049	0,2953
$P_{30}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-6}$	0	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-6}$
$P_1$	~0	0,002	0,0174	0,0155	0,0013
$P_2$	0,0001	0,1817	0,4426	0,2612	0,1281
$P_3$	—	0,1117	0,54	0,4283	—
$P_4$	~0	~0	~0	~0	0,166
$P_6$	0,9036	0,6173	0	0,2870	0,6173
$P_8$	0,0963	0,0873	~0	0,0080	0,0873

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен новый тип сетевых графиков — обобщенные стохастические сетевые графики с вершинами как традиционными, функционирующими по правилам «И» и «ИЛИ», так и специальными, функционирующими по особым правилам под воздействием управляющих дуг. Рассмотрены четыре типа таких дуг и соответствующие им правила активации.

Рассмотрено применение предложенных сетевых графиков для моделирования процессов в управляющих параллельных вычислительных системах как инструмента обеспечения их временной надежности, связанной с возможностью выполнения управляющей программы не более чем за заданное директивное время с заданной вероятностью.

Приемы, рассмотренные в работе, могут найти применение и в других предметных областях. Необходимость использования этих возможностей определяется пользователем, а их целесообразность и эффективность может быть подтверждена обсуждаемыми в работе средствами имитационного моделирования, основанными на предложенной программе нахождения времени выполнения сетевого графика с управляемыми вершинами при заданном случайном наборе времен прохождения дуг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Голенко-Гинзбург Д.И.* Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками. — Воронеж: Научная мысль, 2010. — 283 с.
2. *Иванов Н.Н.* Аналитико-имитационное моделирование обобщенных стохастических сетевых графиков // Управление большими системами. — 2015. — Вып. 53. — С. 27–44.
3. *Иванов Н.Н.* Степень параллелизма обобщенных стохастических сетевых графиков // Там же. — 2017. — Вып. 65. — С. 6–23.
4. *Иванов Н.Н., Шастун В.В.* Определение точных верхних оценок времени выполнения сложных наборов задач в управляющих параллельных вычислительных системах // Автоматика и телемеханика. — 2010. — № 9. — С. 174–184.
5. *Игнатущенко В.В., Исаева Н.А.* Резервирование взаимосвязанных программных модулей для управляющих параллельных вычислительных систем: организация, оценка отказоустойчивости, формализованное описание // Там же. — 2008. — № 10. — С. 142–161.
6. *Кормен Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К.* Алгоритмы: построение и анализ: 2-е изд. — М.: Вильямс, 2005. — 1296 с.
7. *Ермаков С.М., Михайлов Г.А.* Статистическое моделирование. — М.: Наука, 1982. — 296 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Н. Бурковым.

**Иванов Николай Николаевич** — д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва,  
✉ niknivan@ipu.ru.

# СТРАТЕГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕГИОНАМИ: ОТ СЛОЖИВШИХСЯ ПОДХОДОВ К УЧЕТУ СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЙ

О.В. Логиновский, А.А. Максимов

Представлены результаты анализа подходов, концепций, программ, а также сложившейся практики стратегического управления развитием регионов в нашей стране и за рубежом. На основе выявленных тенденций и учета факторов глобальной нестабильности в мире сформулирован комплекс научных положений по формированию актуальной стратегии управления социально-экономическим развитием регионов современной России.

**Ключевые слова:** стратегическое управление, социально-экономическое развитие, регион, территория.

## ВВЕДЕНИЕ

Стратегическое управление регионами нельзя рассматривать обособленно без взаимосвязи с целями, задачами и критериями их достижения на уровне государства в целом, федеральных государственных целевых программ и масштабных проектов, зачастую оказывающих значительное влияние на развитие экономических районов и отдельных территорий субъектов РФ. Стратегическое управление регионами должно давать ориентиры для развития крупнейших промышленных предприятий и иных хозяйствующих субъектов городов и территорий, а также определять стратегические приоритеты для органов местного самоуправления.

Вопросам федерального государственного и регионального стратегического управления посвящена обширная научно-техническая литература, в том числе [1—39]. В свою очередь, огромное количество научных трудов написано по взаимосвязанной с государственным управлением тематикой — стратегическому управлению промышленными предприятиями и организациями, в частности [1—20, 40—56].

Важно осознавать, что идеи, подходы, концепции, методы и технологии государственного, регионального, муниципального и корпоративного управления в своем историческом развитии эволюционировали, опираясь на достижения и результаты друг друга. Новые подходы и концепции

создавались на фоне ожесточенной конкурентной борьбы между странами и экономическими районами, транснациональными корпорациями, регионами и территориальными образованиями внутри отдельных государств, лидерами отраслевого бизнеса и др. Разумеется, что такая борьба сопровождалась политическими и экономическими победами одних и поражениями других, меняя не только существо экономических подходов, но и социально-политические платформы и даже политические режимы.

Прежде чем говорить о том, какая концепция стратегического управления регионами необходима нашей стране в современных условиях нарастающей нестабильности в мире, следует осмыслить, чему учит отечественный и зарубежный исторический опыт социально-экономического развития.

## 1. АНАЛИЗ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ОСНОВ И ОПЫТА СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В НАШЕЙ СТРАНЕ И ЗА РУБЕЖОМ

Традиции государственного, регионального и корпоративного управления в нашей стране складывались под воздействием совокупности природных, историко-политических и социальных факторов, существенно воздействовавших на особенности и динамику социально-экономических преобразований [21, 22, 46, 57].

Как известно, после социалистической революции частные промышленные предприятия перешли в собственность государства, и потому именно государственные и партийные органы власти стали определять основную стратегию их развития на основе централизованного планирования развития всего народного хозяйства. Руководство предприятий осуществляло в основном оперативное управление производством, направленное на безусловное выполнение утвержденных «сверху» директивных планов. Взаимосвязь между стратегической государственной и региональной политикой по всем направлениям развития народного хозяйства реализовывалась в те годы на основе полностью централизованной финансово-хозяйственной системы, путем распределения ресурсов через союзный государственный бюджет. Регион в такой системе представлял собой территориальное образование, системообразующей экономической основой которого были централизованно управляемые отраслевые производственные структуры. В советской модели экономики среди множества этапов ее развития (военный коммунизм, нэп и др.) наиболее существенные достижения и экономические результаты были достигнуты лишь в периоды управления на основе командно-административной системы с жесткими пятилетними планами. Таким образом, как сама структура территориальных образований современной России, так и отраслевой состав крупнейших промышленных предприятий в своем генезисе базируются на созданных в Советском Союзе и не так уж значительно от них отличаются. Это связано с тем, что постперестроечная российская экономика основана на перераспределении в прошлом централизованных государственных ресурсов в пользу субъектов, ранее бывших структурными элементами командно-распределительной экономики и продолжающими до сих пор воспроизводить ее характерные особенности как во внутренней своей структуре, так и во взаимодействии с органами государственной власти [46].

Отметим, что формы и методы централизованного пятилетнего планирования (с ежегодной корректировкой) сохранялись в управлении страной и ее регионами вплоть до середины 1980-х гг. Результаты стратегического управления государством на основе пятилетних планов доказали свою высокую эффективность и позволили Советскому Союзу стать еще в первой половине XX в. одной из крупнейших индустриальных держав мира, победить гитлеровскую Германию во Второй мировой войне и быстро восстановить разрушенное после войны народное хозяйство, а затем достичь паритета с США в военно-технической сфере и даже

кое в чем превзойти их, например, в освоении космоса.

В то же время со второй половины 1970-х гг. социально-экономическое развитие Советского Союза стало замедляться и даже пошло на спад, хотя еще продолжало обеспечивать социальную стабильность в обществе. В этой связи с конца 1980-х гг. руководство Советского Союза начало предпринимать попытки модернизировать управление страной, вводя элементы рыночных преобразований. В рамках настоящей статьи нет возможности дать анализ стратегических ошибок в управлении страной и ее регионами в этом периоде (так называемых рыночных реформ М.С. Горбачева, а затем Б.Н. Ельцина). В течение всего этого времени задачи стратегического развития страны фактически были заменены переходом от экономики социализма к капиталистической, когда государственная собственность была отдана в частные руки. Этот период нашей истории охарактеризовался резким падением промышленного производства, уровня жизни населения и т. п. [4, 5].

Наша страна фактически отказалась от планирования своего будущего и конкуренции с ведущими капиталистическими странами во главе с США, отведя себе скромное место региональной державы в системе мирового хозяйства. В то же время опыт стратегического управления в зарубежных странах отразил совсем иные тенденции.

Значимость стратегического планирования и управления стала осознаваться ведущими мировыми державами по мере выдающихся успехов, достигнутых в ходе первых пятилеток народным хозяйством СССР. Например, США начали заимствовать опыт государственного регулирования хозяйственных процессов Советского Союза с 1933 г. Использование этого опыта стало ключевым спасительным средством по выводу американской экономики из Великой депрессии. Именно с тех пор идея о том, что «невидимая рука рынка» способна обеспечить эффективное управление экономикой крупнейших капиталистических государств была подвергнута сомнению. Оказалось, что вмешательство государства в экономику путем введения элементов централизованного планирования и разработки целевых программ в строительной индустрии, сельском хозяйстве и других отраслях способствует повышению занятости населения и ускорению динамики промышленного роста. В частности, опыт индустриализации в СССР послужил методологической основой создания целевой программы «Освоение и развитие ресурсов долины реки Тенесси» — хрестоматийного результата, достигнутого благодаря американской целевой программе регионального развития, реализованной при поддержке президента США



Ф. Рузвельта. Данная программа дала возможность создать систему искусственных водоемов, обеспечить комплексную мелиорацию сельскохозяйственных земель, улучшить экологическую обстановку в регионе, ускорить рост производства сельскохозяйственной продукции, развитие судостроения и системы транспортных коммуникаций, а снижение тарифов на электроэнергию, принятые местной администрацией, несмотря на возражение частных компаний, дало импульс экономическому росту, привлекло значительное число частных предпринимателей, увеличило объемы выпускаемой продукции промышленными предприятиями, а также способствовало созданию развитой социальной инфраструктуры.

Таким образом, широкий спектр современных американских целевых программ (как известно, термин «программа» в американском понимании имеет множество значений и может распространяться, по сути, на любой вид управленческой деятельности), развиваемых и реализуемых, в том числе в наукоемких областях (различные программы космических исследований, стратегическая оборонная инициатива и др.) в своей корневой основе базируются на опыте стратегического планирования, разработанного в нашей стране.

Отметим, что многие зарубежные масштабные целевые программы исходят из интересов крупного бизнеса и не всегда поддерживаются населением. Особенно они значимы для экономики регионов в периоды спадов производства.

В Японии роль целевых программ особенно заметна в таких наукоемких отраслях, как электроника, робототехника, информационные системы. Компаниям и корпорациям при этом не навязываются конкретные показатели объемов производства той или иной продукции, а предлагаются лишь базовые ориентиры, необходимые для развития частного предпринимательства и страны в целом. Стратегическое экономическое планирование, в том числе посредством воздействия индикативных планов на производственную динамику, дает, таким образом, необходимые ориентиры частным компаниям, а государству позволяет контролировать главные направления экономического развития страны.

Можно привести множество примеров разнообразных целевых программ во Франции, Великобритании, Германии и других странах. Такие программы применяются в основном для реализации проектов и развития производств с большим сроком окупаемости. Они наряду с государственными заказами служат основными механизмами участия государства в экономической жизни стран Западной Европы. В частности, государственные заказы обеспечивают поддержку традиционных

отраслей промышленности этих стран — угольной, судостроительной, металлургической и др.

В стратегическом управлении Франции применяются среднесрочные программы экономического и социального развития сроком на 4—5 лет, а также краткосрочные экономические программы (называемые экономическими бюджетами) сроком на 1 год. Это было бы почти полной аналогией с пятилетним планированием в СССР, если бы не отличалось гораздо меньшей жесткостью требований к их выполнению. Упомянутые французские программы не обязательны к исполнению, а носят лишь рекомендательный характер, являясь некими ориентирами для частного бизнеса.

Опыт стратегического управления ФРГ связан с тем, что большая часть страны с середины 1960-х гг. охвачена программами — так называемыми «общественными задачами», к которым относятся мониторинг хозяйственной ситуации в регионах, а также мероприятия по улучшению региональной хозяйственной структуры. На эти цели предусмотрены средства из федерального и земельных бюджетов на развитие промышленности и инфраструктуры. Несмотря на декларирование невмешательства государства в хозяйственную жизнь страны, однако в стратегическом управлении регионами предусмотрен конкретный механизм так называемой макроориентации экономики, который, в сущности, является не чем иным, как плановым управлением ее развитием.

В Норвегии целевыми региональными программами охвачено 90 % территорий. В Великобритании этот показатель составляет около 40 %.

Показательно, что практически во всех европейских странах существуют специальные органы управления, занимающиеся вопросами регионального развития, а также бюджетные фонды поддержки развития территорий. Во многих европейских странах, кроме того, существуют специально созданные государственные предприятия, вкладывающие финансовые ресурсы государственного бюджета в развитие инфраструктуры различных территорий. Так, в Швеции в провинции Норланд более трети средств, требующихся для ее развития, выделено из централизованных источников. Более половины средств, предназначенных для развития промышленности на юге Италии, также финансируется государством.

Тем не менее, теоретические основы стратегического управления, разработанные в странах Запада, считаются главным достижением управленческих идей в современном мире. Упомянем их вкратце.

Теоретические разработки по стратегическому управлению в США возникли в 1940—1960-х гг. Они связаны с именами Л. Уайта, Ф. Тейлора,

Г. Ганта, Ф. и Л. Гилбретов, Т. Парсонса и многих др. Среди различных теоретических разработок американских ученых для современных управленческих практик интерес представляют идеи обеспечения интеграции и стабильности существующей системы административно-государственного управления на основе структурно-функционального метода, а также концепция организационного развития [22].

Теоретические исследования по административно-государственному управлению в Великобритании начались еще в конце XIX в. Были разработаны, в частности, институциональный подход в государственном управлении, системы «жесткого», а затем «мягкого мышления», организационная кибернетика и др. [2].

Исследования проблем государственного управления во Франции сложились как итог развития науки государственного (или конституционного) права. Классиком теории административно-государственного управления во Франции по праву считают А. Файоля. Сформулированные им принципы управления являются универсальными и применимы практически повсюду: в государственном управлении, экономике и др. На основе теории институтов во французской школе административно-государственного управления была сформулирована институциональная концепция государства, которая пришла на смену трактовке государства как юридического лица, разработанной в рамках конституционного права. Одна из важнейших проблем теории административно-государственного управления во Франции заключается в поиске оптимальной системы взаимосвязи между государственным аппаратом и гражданами [2].

Теория административно-государственного управления в Германии во многом базируется на философско-антропологическом подходе к государственному администрированию, формулируя, по сути, идею создания «сильного» государства. Широко известна концепция В. Вебера, в которой развивается социологический подход в государственном управлении. Однако для практики современного государственного управления наиболее интересной представляется концепция Л. Эрхарда, которая связана с повышением социальной роли государственного администрирования и подчинением интересов всех групп населения общему благу. Следование этой концепции позволило в послевоенном восстановлении Германии достичь выдающихся результатов благодаря приведению в порядок государственного бюджета посредством систематического снижения государственных расходов, смягчению налогового бремени, запрещению набора новых служащих и повышению окла-

дов, сведению до минимума служебных поездок и др. [39].

С начала 1960-х гг. начинается экспансия публично-управленческих дисциплин в Европу. Возникли новые управленческие концепции: школа общественного выбора, некорпоратизм, школа социологии организаций, когнитивный подход. С 1980-х гг. начинаются интенсивные исследования сетевых структур, специализированных сообществ и смежных явлений. Впоследствии изучение «сообществ» стало лишь одной из возможных ступеней анализа [22].

Сегодня в развитых странах конкурируют ряд концепций, обосновывающих роль государства в управлении обществом: либеральная (признающая основным регулятором общественной жизни свободный рынок); неолиберальная (государство регулирует экономический процесс, выступая в роли заказчика продукции через контрактные отношения с крупными корпорациями); социалистическая (отстаивающая принцип централизованного планового государственного управления); концепции, сочетающие элементы неолиберальной и социалистической концепций (отражают современную объективную тенденцию развития мирового сообщества, характеризующуюся в области политики возрастанием роли сознательного фактора в виде прогнозирующей и планирующей, регулирующей и управляющей деятельности государства).

Несмотря на критику неолиберальной модели экономической политики, в свое время правительство России положило именно неолиберальную модель в основу стратегии капитализации страны. Был взят курс на разрушение государственного регулирования экономики. В полном противоречии с теорией, с отечественным и зарубежным опытом «государственная собственность была квалифицирована как «ничейная», качество ее использования якобы не подлежало оценке по критериям экономической эффективности».

Не будет лишним отметить, что существует несколько теоретических подходов к изучению государственного управления, позволяющих с различных позиций и точек зрения проводить его анализ. Среди них выделяются подходы на основе: теории групп (государственное управление оценивается как результат групповой борьбы, конфликта между различными группами в обществе и правительстве и поиска консенсуса по конкретным вопросам); концепции политического процесса (государственное управление представляется как результат политической деятельности, имеющей фиксированные ступени и этапы в процессе решения общественных проблем); теории институционализма (государственное управление рассматривается как результат деятельности государственных институ-



тов, использующих определенные административные процедуры для достижения намеченных целей); теории элит (государственное управление рассматривается как результат предпочтения и выбора политической и административной элит); теории рационализма (государственное управление рассматривается как результат деятельности по достижению оптимальных общественных целей на основе разработанных технологий управления); теории инкрементализма (постепенности) (государственное управление реализуется как последовательная и поэтапная деятельность государственной бюрократии по медленному изменению существующего положения дел, т. е. небольших вариаций по изменению прошлого состояния); теории игр (государственное управление представляется как рациональный выбор в конкурентной борьбе двух наиболее влиятельных сторон в обществе или правительстве); теории общественного выбора (государственное управление рассматривается как результат деятельности индивидов на основе осознания собственных интересов принятия соответствующих решений, которые должны принести им определенную выгоду); теории открытых систем (государственное управление формируется как результат ответа политической системы на запросы и нужды соответствующих структур и факторов внешней среды).

Наиболее важные характеристики государственной политики, которыми она должна обладать в целом, сводятся к необходимости отвечать следующим критериям: реагировать на различные изменения, происходящие в обществе и государстве; иметь комплексный характер и рассматривать любую проблему во взаимосвязи с другими проблемами; быть эффективной и результативной; пользоваться доверием населения [14].

На Западе полагают, что стратегическое управление государством должно обеспечивать: четкое определение перспектив, целей и задач по их достижению; осуществлять ресурсное обеспечение управления государством по всем направлениям хозяйственной деятельности; обеспечивать подготовку принятия решений по управлению государством, реализацию самого процесса управления и решение проблем, возникающих при этом.

Идеи научного управления в советский период развивали А.А. Богданов, Н.А. Витке, А.К. Гастев, О.А. Ерманский, Е.Ф. Розмирович и многие другие ученые и практики, работавшие в различных организациях и институтах научной организации труда [18]. Их идеи, концепции и разработки базировались на критике капиталистической системы и ее хозяйственной деятельности на основе частного бизнеса. В них были разработаны теории, закономерности и законы, присущие социалисти-

ческой системе, включая планомерное развитие народного хозяйства посредством пятилетних планов и др.

Необходимо в полной мере осознавать, что все эти разработки основывались на критике К. Марксом концепции двойственного характера управления при капитализме, когда управление капиталиста понималось не только как особая функция, возникающая из самой природы общественного прогресса труда и относящаяся к нему, но и как функция эксплуатации общественного процесса труда, обусловленная неизбежным антагонизмом между эксплуататором и рабочими. Поскольку основная цель капиталистического производства состоит в получении прибыли, то управление, с одной стороны, призвано координировать действия всех участников производства и рационализировать его организацию, а с другой — служить средством усиления эксплуатации наемного труда, и две эти стороны управления в условиях капитализма неотделимы друг от друга. В отличие от капиталистических целей в управлении экономикой, главная декларируемая задача при социализме заключается в обеспечении «полного благосостояния и свободного всестороннего развития всех членов общества», что теоретически устраняет двойственный характер управления, присущий капитализму, и создает условия для широкого привлечения трудящихся к управлению предприятиями, так как они становятся собственниками средств производства в лице государства. Управление экономикой, основанное на социалистической собственности, коренным образом изменяет не только классовую сущность управления, но и его формы и методы. Становится возможным планомерная организация общественного производства в общенациональном масштабе. В этой связи основополагающей идеей советской школы управления становится централизация и прямое управление производственной деятельностью предприятий со стороны государственных органов. Разрабатываются теории функций, структур и процессов управления на предприятиях и в органах власти, исследуются закономерности и формулируются законы управления социалистическим народным хозяйством (законы единства системы управления, пропорциональности производства и управления, оптимального соотношения централизации и децентрализации функций управления, участия трудящихся в управлении, соотносительности управляющей и управляемой систем) [46].

Начиная с конца 1980-х гг. в отечественной управленческой и экономической науке подверглись сокрушительной критике фундаментальные основы социализма, что в итоге обесценило все разработки теории управления той эпохи. В то же время

в силу инертности, обусловленной эффектом масштаба, и сложности реформирования огромных массовых производственных систем, признаки социалистической модели управления сохранились в крупных производственных структурах [46]. С другой стороны, многие малые производства России создавались уже в постперестроечный период развития экономики и изначально формировались на иной основе. Это сделало производственно-хозяйственный комплекс страны не вполне однородным.

За годы реформ многие российские ученые, аналитики, политические и государственные деятели предложили ряд концепций стратегического управления, сценариев и программ социально-экономического развития России и ее регионов [10, 11, 16, 24, 25, 29, 30, 32–37, 58]. Многие из этих концепций и программ базируются на известных моделях регионального управления, сформированных крупнейшими научными школами экономики и управления (Л.И. Абалкина, А.Г. Гранберга, Д.С. Львова, А.Г. Поршнева и др.). Приведем одно из классических определений стратегического планирования [11, 33]. Стратегическое планирование — это процесс разработки стратегического плана путем формулирования целей и критериев управления, анализа проблем и среды, определения стратегических идей и конкурентных преимуществ, выбора сценариев и базовых стратегий развития, прогнозирования социально-экономического развития. При этом регион рассматривается в двуединстве аспектов: экономического и социального развития, к которым примыкает и природный аспект [33]. Таким образом, при разработке стратегических планов развития региона необходимо выполнить: анализ внешней и внутренней среды региона; разработать альтернативные варианты развития; рассчитать потребность в различного вида ресурсов; составить смету доходов и расходов (бюджета) и др.

К общим проблемам развития практически любого российского региона в долгосрочной перспективе относятся реструктуризация экономики, ресурсообеспечение народного хозяйства, улучшение демографической ситуации и качества жизни населения, оздоровление экологической обстановки и обеспечение экологической безопасности [32, 33, 36].

В научной литературе предложены и другие подходы к решению задач социально-экономического развития регионов [3, 24, 25, 29, 35, 37]. Регион может также рассматриваться как совокупность шести макроподсистем: региональное хозяйство; агропромышленный комплекс; производственная, социальная, финансово-экономическая, управленческая сферы. В состав каждой сферы входит ряд подсистем, выделенных по отраслевому при-

знаку (промышленность, транспорт, торговля, образование, культура и др.) или предмету управления (экономика, финансы, инвестиции, персонал, рыночные институты и др.). В прерогативу функционального управления регионом входит также управление отраслями экономики на уровне региона и городов. Стратегия развития региона формируется на основе программно-целевого управления, что предусматривает постановку стратегических и тактических целей, а также критериев их достижения — количественных показателей, определяющих меру или состав оценки достижения цели по сравнению с другими возможными вариантами развития региона. Зачастую формируются три варианта развития региона: пессимистический, реалистический, оптимистический.

Отметим, что еще в работе [60] концепция долгосрочной стратегии и экономического реформирования России представлялась основанной на новых в те годы принципах и механизмах взаимодействия компонентов социальной и экономической эффективности. Важнейшее место в ней должны были занимать системно-институциональные преобразования. Их главная цель была направлена на создание действенных стимулов предпринимательской и трудовой активности людей. В развитии отношений собственности приоритет отдавался повышению эффективности ее различных форм, что должно было обеспечить многоукладность экономики. Представлялось, что в соответствии с мировыми тенденциями преобразований, геополитическими и национально-историческими особенностями России, ее мощным ресурсным и духовным потенциалом, основной целью социально-экономического развития станет последовательное движение к российскому варианту информационно-индустриального общества с многосекторной социально-ориентированной рыночной экономикой. Это должно было способствовать созданию государственной стратегии развития экономики и общества России, формированию ее политических и экономических отношений с окружающим миром на обозримую перспективу (35–40 лет). В той же работе приведены цели стратегического управления в области социальной политики и безопасности, экономического развития.

Как совершенно справедливо указывалось [16], в среднесрочной перспективе необходимо предотвратить дальнейшее увеличение разрыва между Россией и развитыми странами, а в долгосрочной — восстановить и упрочить позиции нашей страны, как одной из стран — лидеров мирового развития. Эта задача и сегодня остается в повестке дня. В этом контексте любопытно подробно рассмотренные три модели политического режима в России: застойная модель; жестко авторитарная мо-



дель; авторитарно-демократическая модель. Именно последняя из этих моделей фактически и была реализована в последние годы. Общим принципом преодоления кризиса власти и укрепления государства в длительной перспективе стала формула: сильная исполнительная власть в государстве, где обеспечен правопорядок. Тем не менее, от неэффективности неконсолидированной, инертной и коррумпированной исполнительной власти, неспособной выработать и последовательно проводить в жизнь разумную экономическую политику, российское общество страдает и сегодня. Президент и правительство страны должны гарантировать всем участникам экономического процесса стабильность, прозрачность и понятность «правил игры». Это поможет восстановить доверие к государству и власти и тем самым, помимо прочего, стимулирует возвращение в Россию вывезенного из страны капитала, а также инвестиции [16].

По замыслу идеологов рыночных реформ сценарий, подразумевающий уход государства практически из всех сфер экономической деятельности, открытие страны внешнему миру и передаче многих социальных функций в частный сектор, должен был привести к существенному экономическому росту, более высокому в краткосрочной перспективе, чем в любом другом сценарии. Однако этого, как известно, не произошло.

Среди целого ряда других сценариев социально-экономического развития страны и ее регионов [10, 11, 24, 25, 29, 30, 32—37, 58] есть и сценарий модернизации, согласно которому основная роль уделяется высвобождению частной инициативы и усилению роли государства в обеспечении благоприятных условий хозяйствования, включая финансовую и социальную стабильность.

Важное значение имеют также условия реализации стратегии развития региона. Концептуальная схема реализации подобной стратегии может быть выполнена на основе рекомендаций, предложенных в работе [50], где выделяются три этапа реализации стратегии:

- 1) концентрация ресурсов в стратегически важных направлениях деятельности;
- 2) создание жизнеспособной системы управления на основе эффективного взаимодействия органов власти, предприятий и организаций региона;
- 3) достижение стратегических ориентиров на основе поставленных целей и критериев управления.

Таким образом, управление реализацией стратегии развития осуществляется в рамках целевых комплексных программ, которые служат важнейшим инструментом реализации стратегического плана развития страны и ее регионов. В составе стратегического плана разрабатывается перечень

региональных целевых комплексных программ по основным макроподсистемам региона.

В работе [6] приведен цикл стратегического планирования экономического развития региона, в котором можно выделить семь стадий: определение целей развития региона; анализ внешней среды развития региона; выявление слабых и сильных сторон региона; анализ использования имеющихся и создание новых местных преимуществ; разработка стратегии и концепции развития региона; разработка плана конкретных действий и осуществление стратегии; контроль эффективности, корректировка форм и методов достижения целей развития региона. Рассмотрено также применение методов регионального маркетинга, бенчмаркинга и других в целях повышения эффективности стратегического управления регионами.

За годы реформ создан ряд региональных концепций управления развитием промышленных предприятий, малым бизнесом, социальной сферой и др. (в частности, была предложена концепция управления развитием промышленности Челябинской области [19, 21]). Известны примеры как весьма удачных решений таких задач, так и негативного опыта, который показывает, что проблема регионального управления нуждается в серьезном осмыслении, научной оценке и требует более комплексного экономически обоснованного подхода, в том числе в части анализа социально-экономического развития территорий, промышленных, сельскохозяйственных объектов и субъекта РФ в целом. В последнее время стало модным формировать позиции стратегического развития регионов, городов и территорий на основе различного рода опросов жителей, в них проживающих. При всем уважении к мнению отдельных граждан не следует забывать о том, что лишь сотые доли процента из них являются специалистами по управлению и способны правильно оценить и понять цели и задачи регионального развития на профессиональном уровне. Поэтому подобные опросы, как правило, носят лишь популистский характер, а их результаты не должны становиться основой для формирования приоритетов развития региона.

## 2. ФОРМИРОВАНИЕ АКТУАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ РЕГИОНОВ СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

Анализ теории и практики стратегического государственного и регионального управления в нашей стране и за рубежом показывает, что далеко не все предложенные идеи и концепции оказались продуктивными и нашли воплощение в практике управленческой деятельности. В то время как прак-

тика стратегического управления в крупнейших зарубежных странах с успехом использовала стратегический опыт развития народного хозяйства Советского Союза, в нашей стране, начиная с конца 1980-х гг., следование западным рецептам в управлении государством и его регионами не дало сколь-либо позитивных результатов.

Глубочайший кризис, в котором оказалась Россия в конце XX в., и огромные сложности в управлении государством и его регионами, возникшие в тот период и не преодоленные до сих пор, свидетельствуют о неадекватности принятого варианта экономических реформ требованиям времени и условиям страны. Вероятно, была необходима в корне иная концепция реформ, ориентированная не на огульное разрушение существующего хозяйственного уклада Советского Союза, а на постепенное вхождение страны в рынок через, прежде всего, малый бизнес, а также продуманное и постепенное внедрение рыночных механизмов на крупных и средних промышленных предприятиях и в других секторах экономики [22].

Если в крупнейших странах Запада, широко декларирующих либерально-рыночные подходы к социально-экономическому развитию, реальные цели и задачи стратегического управления и практика их воплощения по существу всегда были подчинены не этим идеям, а совсем иному — достижению политических приоритетов, получаемых этими странами, и экономических преимуществ, достигаемых транснациональными корпорациями в жесткой борьбе с конкурентами на мировых рынках, то преувеличение значимости идей либерально-рыночной экономики и целесообразности их применения для развития народного хозяйства в нашей стране отнюдь не способствовали укреплению ее потенциала. Экономика России и после рыночных реформ 1990-х гг. оказалась в числе развивающихся, а совсем не ведущих экономик мира. И несмотря на то, что с 2000-х гг. нам удалось несколько поднять свой рейтинг, тем не менее, и сегодня Российская Федерация и ее регионы нуждаются в новой актуальной стратегии социально-экономического развития.

Следует отдавать себе отчет в том, что наши сегодняшние отнюдь не выдающиеся результаты и различного рода просчеты в стратегическом государственном, региональном и корпоративном управлении базируются во многом на пренебрежении к традициям русского предпринимательства дореволюционной России, собственному опыту высокоэффективного развития народного хозяйства советского периода 1930—1960-х гг., нежеланию или неспособности извлечь уроки из плохо продуманных и организованных реформ конца 1980—1990-х гг., а также на преувеличении значе-

ния зарубежного опыта для становления рыночных отношений в современной России.

Сложившаяся структура российской экономики такова, что динамика ВВП в ближайшие годы будет в основном определяться динамикой промышленного производства, и государство должно сделать все от него зависящее для укрепления и развития предприятий всех отраслей отечественной промышленности [19].

Другой важный аспект. В связи с ликвидацией дотаций ЖКХ возрастут расходы населения на жилищно-коммунальные услуги, и если данный рост не будет компенсирован государством, это может стать серьезным препятствием для развития страны.

К особенностям сложившегося производственно-хозяйственного комплекса современной России следует отнести: территориальную разобщенность субъектов производственно-хозяйственной деятельности; диспропорции в развитии промышленных отраслей еще более усилившиеся за годы реформ; декларативность и неконкретность многих задач по управлению страной и ее регионами; размытость ответственности на многих уровнях в структурах государственного регионального управления.

Смена политического строя и перевод экономики на рыночные отношения так и не позволили России сделать желанный властями шаг в коренном обновлении обветшавшего за годы застоя социалистического хозяйства и его «сердца» — промышленного комплекса, до настоящего времени во многом сохранившем в своей основе сложившиеся еще в эпоху административно-командной системы подходы, методы и технологии управления промышленностью и экономикой.

Обеспечение высоких темпов экономического роста России и ее регионов — важнейшая задача стратегического значения. Будущее страны напрямую зависит от того, насколько удастся перевести ключевые отрасли промышленного производства на уровень экономически высокоразвитых государств. России просто необходимо добиться опережающих западные страны экономических показателей и результатов. К сожалению, сегодня в экономике и промышленности РФ существует явный перекос в сторону развития добывающих отраслей и металлургических производств низких переделов. В этой связи темпы обновления машиностроительного комплекса и важнейших высокотехнологичных производств при существующей динамике ни в ближайшие годы, ни в отдаленном будущем не позволят России занять сколь-нибудь заметное место в мировом рейтинге промышленно развитых стран. По причине практически непреодолимых трудностей, которые стоят на пути со-



ревнования в супертехнологиях между крупнейшими державами мира, сегодня рассматриваются совсем иные концепции технологического прорыва России в будущем, идея которых состоит в том, чтобы обогнать западных конкурентов, не догоняя их, т. е. путем создания прорывов в тех областях инновационно-производственной деятельности, в которых технологически наиболее развитые зарубежные державы еще не сумели добиться выдающихся научно-технических результатов либо вообще не занимались разработкой этих направлений инновационного развития.

Говоря об этих инновационных направлениях развития нашей страны, не следует думать, что большое отставание в области критических технологий можно компенсировать столь просто. Это колоссальная научно-техническая проблема, и ее решение может потребовать огромных и взаимно координируемых усилий больших групп ученых различных направлений и значительных финансовых расходов [60].

Проблема технологического отставания России от ведущих держав мира усугубляется еще и тем, что в нашей стране за годы реформ так и не было создано эффективной управленческой парадигмы, которая бы обеспечивала не только решение оперативных вопросов государственного и регионального управления, но и способствовала формированию и реализации стратегических целей и задач социально-экономического развития. Не удалось также создать адекватных провозглашенным целям рыночной экономики методологий, моделей, инструментов и механизмов управления развитием различных отраслей народного хозяйства и соответствующих им методов, технологий и систем аналитической и информационной подготовки принятия управленческих решений. Большинство научных разработок в области государственного управления в субъектах РФ не нацелено на комплексное решение наиболее важных вопросов социально-экономического развития регионов. В результате регулирующие воздействия органов государственной власти на производственные процессы связаны в основном с запретительными, фискальными мерами, а само государственное региональное управление носит ситуационный характер и не позволяет планировать и осуществлять решение значительных стратегических задач даже на достаточно близкую перспективу.

Сегодня для повышения эффективности управления регионами нужна продуманная современная целостная система управления социально-экономическим развитием территорий, в задачи которой входит не простой мониторинг деятельности промышленных предприятий и других хозяйствующих субъектов, а обеспечение увеличения темпов

роста промышленного производства и других показателей территориально-производственной динамики. Достижение этой цели невозможно без всестороннего научного обоснования концепции и технологии создания подобной системы.

Формирование современной стратегии социально-экономического развития региона необходимо осуществлять следующим образом.

1. Стратегию социально-экономического развития региона необходимо рассматривать как целостную структуру подсистем, учитывающую весь спектр ее природных, хозяйственных и социальных компонентов, составляющих единый территориальный комплекс с множеством сложных внутренних и внешних связей [21]. Однако обеспечить сбалансированное развитие подобного комплекса на практике чрезвычайно затруднительно, из-за огромного количества упомянутых компонентов, воздействующих на них факторов, а также критериев и ограничений такой задачи. К тому же прогнозные и плановые показатели экономического регулирования, характеризующие социально-экономическую ситуацию в субъекте РФ, зачастую выглядят не как научно-обоснованный комплекс взаимосвязанных показателей, а как некий конгломерат сведений о благих намерениях регионального руководства. Поэтому стратегия социально-экономического развития региона должна разрабатываться системно при серьезном научно-техничко-экономическом обосновании [60].

Органы государственной власти субъектов РФ могут и должны оказывать воздействие на экономический рост посредством регулирования налоговой нагрузки, расходования общественных финансов, предоставления в случае целесообразности бюджетных дотаций неэффективным предприятиям, административной защиты местных предприятий от зарубежных конкурентов и др. Эффект этих воздействий должен просчитываться, причем не просто посредством нескольких элементарных экономических выкладок, а быть вариантно моделируемым с помощью современных информационно-аналитических систем и технологий принятия решений [20].

2. Первым шагом в процессе создания стратегии развития региона должно стать:

— проведение анализа сложившейся парадигмы государственного управления промышленностью и экономикой в регионе, в том числе методов и технологий анализа динамики развития промышленности, существующей системы и структуры управления социально-экономическим развитием, концепций и программ промышленной и социальной политики [19];

— обоснование и разработка теоретических положений, методов и механизмов системной интег-

рации процессов регулирования социально-экономического развития региона, а также комплексной реорганизации сложившихся на практике структурных схем управления промышленностью и экономикой в исполнительных органах государственной власти субъекта РФ [21];

— определение наиболее существенных принципов, требований, средств и инструментов региональной политики, которые целесообразно закладывать при разработке концепций и программ поддержки промышленности и других сфер управления в регионе [20].

Необходимо осуществлять анализ социально-экономического состояния региона по совокупности направлений его производственно-экономической деятельности, сопоставление соответствующего набора показателей, предоставляемых органами государственной и региональной статистики, с имеющимися данными, получаемыми в результате мониторинга функционирования промышленных предприятий. На основе результатов такой работы становится возможным определить тенденции в деятельности промышленных предприятий региона, которые позволят осуществить прогнозирование указанной динамики на различные прогнозные периоды (ближнюю, среднюю и дальние перспективы).

Для оценки состояния технологического развития промышленных предприятий региона по отдельным отраслям можно воспользоваться, к примеру, приведенной в работе [61] моделью.

3. Для решения указанных в п. 2 задач следует:

— разработать и утвердить методику эффективного взаимодействия органов государственной власти и промышленных предприятий на территории субъекта РФ;

— создать комплекс современных моделей управления развитием региональной промышленности и других областей народного хозяйства на основе математических методов многокритериальной оптимизации и др.;

— внедрить в практику деятельности органов государственной власти субъекта РФ современную информационно-аналитическую систему управления промышленностью и экономикой региона [60].

Формирование стратегических приоритетов социально-экономического развития промышленных предприятий субъекта РФ следует осуществлять с помощью системы поддержки принятия управленческих решений по развитию региона, включающей в себя методы, модели и программные комплексы информационно-аналитической системы, упомянутые ранее.

4. Субъекты РФ должны разрабатывать стратегии своего социально-экономического развития в соответствии с «Прогнозом научно-технологичес-

кого развития Российской Федерации на период до 2030 года» [62] руководствоваться рядом нормативных документов [63—66 и др.].

5. Поскольку субъекты РФ являются по своей сути интегральными образованиями, обладающими единством широкого спектра природных, хозяйственных и социальных компонентов, и заинтересованы в их пропорциональном сбалансированном развитии, то для обеспечения стратегических приоритетов промышленности и экономики этих регионов необходимо выполнить комплексный анализ обеспечивающих инфраструктурных подсистем (инженерно-технических сооружений и коммуникаций, ресурсов всех видов и т. п.) для развиваемых промышленных предприятий. В составе информационно-аналитической системы регионального управления следует продуктивно использовать разнообразные комплексы программ, решающие эти задачи [60]. Подобная система может базироваться на геоаналитических порталах, позволяющих анализировать самые разнообразные слои территорий региона; экспертных системах; системах поддержки принятия решений по формированию стратегий социально-экономического развития субъекта РФ, а также агломераций, городов и административных районов, входящих в его состав. Информационно-аналитическая система регионального управления должна «уметь» успешно взаимодействовать с соответствующими информационными системами федерального центра, обеспечивая корреспонденцию показателей социально-экономического развития в рамках цифровой экономики [22].

Руководство субъектов РФ должно организовать поддержку национальных ИТ-лидеров в регионах, а также добиться увеличения притока ИТ-специалистов во все сферы народного хозяйства. Этот процесс, начиная с 2010-х гг., уже активно развивается, и задача органов государственной власти субъектов страны состоит в интенсификации его динамики на основе интернет-технологий, в том числе на основе развития «онлайн-экономики», «новой экономики», «умной экономики» и «экономики Рунета». Это в полной мере способствует созданию эффективных управленческих моделей, включая «умный дом», «умный город», «умный регион».

6. Концепции и программы социально-экономического развития регионов должны быть не только грамотно разработаны и информационно увязаны с соответствующими федеральными программами. Их жизнеспособность и эффективность не может быть обеспечена без участия в их реализации крупных промышленных предприятий на основе государственно-частного партнерства [45, 46, 57]. В этом, в частности заключается со-



циальная ответственность бизнеса, который должен принимать активное участие в развитии региона, не устремляясь от решения наиболее важных социально-экономических задач развития последнего.

Отметим, что социальная ответственность бизнеса за рубежом, а в последние годы и в нашей стране, стала важным компонентом повышения эффективности регионального управления [49]. В мировой практике индекс устойчивого развития компании рассчитывается по трем ключевым показателям: экономика, экология и социальная политика. Они и считаются главными направлениями деятельности предприятий и организаций в рамках поддержки бизнесом системы регионального управления.

7. Какие бы масштабные и амбициозные планы развития регионов не формировались в департаментах региональных органов государственной власти, они могут быть реализованы только населением этих субъектов. В этой связи руководство субъектов РФ должно четко представлять себе складывающуюся в них демографическую ситуацию и реально обоснованные тенденции по ее изменению. В случаях планирования появления новых крупных промышленных предприятий и иных объектов на их территории, власти регионов обязаны продумать, какие группы населения (а также мигрантов) должны быть привлечены для этих целей. При этом положения и показатели демографической политики субъектов РФ должны быть взаимосвязаны с федеральными аналогами [22].

8. Стратегия социально-экономического развития любого региона, как правило, содержит в себе программы развития среднего и высшего профессионального образования, формирование которых должно базироваться на прогнозах демографического роста населения, развития промышленных предприятий и организаций, расположенных на территориях региона и др. Разработку этих программ целесообразно увязывать с потребностями промышленных предприятий и организаций региона в трудовых ресурсах, включая специалистов высшей квалификации по соответствующим техническим направлениям, а также по управлению, т. е. высокопрофессиональных топ-менеджеров [23, 45].

9. Стратегии развития субъектов РФ не могут быть успешно реализованы без такой важной составляющей, как здравоохранение. Не всегда этой составляющей в регионах страны уделяется должное внимание. А именно учреждения здравоохранения и медицины обязаны обеспечивать процессы развития промышленных производств в регионе, разнообразные инфраструктурные проекты, сельскохозяйственное производство и др. Особое

внимание при формировании подобной стратегии следует уделять направлениям профилактики различных заболеваний, эпидемиологических мероприятий и т. п. Для промышленно развитых регионов одна из ключевых задач заключена в обеспечении экологической защиты природы и жителей соответствующих населенных мест. Финансирование здравоохранения региона не должно полностью ложиться на плечи органов государственной власти. Совершенно необходимо, чтобы частный бизнес, различные коммерческие структуры также участвовали в этом процессе. Уже в период разработки стратегии развития региона необходимо видеть совокупность конкретных шагов и иных мер в этом направлении.

Отметим, что социально-экологическая ответственность бизнеса является неотъемлемой частью этических норм в дополнение к системе норм и требований в области природоохранных законов [49].

Социально-экологическая ответственность бизнеса должна представлять собой добровольное и мотивированное его участие в различных мероприятиях, направленных на минимизацию отрицательных воздействий промышленности на экологическую ситуацию в регионе, его городах и населенных пунктах, а именно — на уменьшение загрязнения окружающей среды. Этот процесс должен способствовать также рациональному использованию природных ресурсов, экономии сырьевых и энергетических запасов в хозяйственной деятельности, вторичному использованию отходов в производственном цикле, предупреждению аварийных и чрезвычайных ситуаций, сохранению особо охраняемых природных территорий, исчезающих биологических видов и т. д.

10. Одно из важнейших мест при формировании стратегий развития субъектов РФ должно отводиться разнообразным социальным программам и социальной защите населения в целом. Этот аспект чрезвычайно важен как для повышения доверия населения к органам государственной власти, так и для промышленных предприятий региона. Повышение социальной ответственности бизнеса, его участие в крупных социальных проектах, программах адресной поддержки населения создают предпосылки и реально способствуют укреплению народного единства, формированию благоприятного имиджа властных структур в регионе [21].

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Исследования концептуальных основ подходов и методов стратегического управления, осуществленные в нашей стране и за рубежом, а также результаты их практического внедрения позволяют

утверждать, что процессы управления социально-экономическим развитием регионов, как и многие годы назад, далеки от совершенства. Это относится как к крупнейшим западным державам, так и к России в частности. В современных условиях жизнедеятельности регионов, характеризующихся политической, экономической и социальной нестабильностью, а также возрастающими сложностями в ведении бизнеса по комплексу разнообразных причин (холодные и гибридные войны, санкции, угрозы революций и смен политических режимов, расшатывание государственных устоев во многих странах, кризисы различного вида ресурсов, нестабильность международных рынков и др.) значение стратегического управления социально-экономическим развитием существенно выросло. Развитие государств, экономических районов и отдельных территорий, осуществляемое без планов или по плохим планам, может привести к деградации, распаду и полной потере их самостоятельности. Причем не только экономической, но и политической.

Обсуждение затронутых в статье проблем должно помочь представителям органов государственного управления России и ее регионов более комплексно осмыслить сложившееся положение, практику выработки государственных региональных стратегий, а также усовершенствовать процессы определения собственных стратегических приоритетов и создания программ развития. Предложенные в данной статье идеи и аргументы по повышению эффективности социально-экономического развития регионов как раз и предназначены для решения этой важной народно-хозяйственной задачи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Акофф Р.Л.* Планирование будущего корпорации. — М.: Сирин, 2002. — 255 с.
2. *Василенко И.А.* Административно-государственное управление в странах Запада: США, Великобритания, Франция, Германия. — М.: Логос, 2000. — 200 с.
3. *Ведута Е.Н.* Стратегия и экономическая политика государства. — М.: Академический Проект, 2004. — 456 с.
4. *Гайдар Е.Т.* Гибель империи. Уроки для современной России. — М.: Российская политическая энциклопедия, 2006. — 440 с.
5. *Гайдар Е.Т.* Долгое время. Россия в мире: очерки экономической истории. — М.: Дело, 2005. — 656 с.
6. *Гапоненко А.Л.* Стратегия социально-экономического развития: страна, регион, город. — М.: Омега, 2012. — 327 с.
7. *Головки И.С.* Комплексные программы социально-экономического развития муниципальных образований: опыт, проблемы, рекомендации. — Новосибирск, 2012. — 544 с.
8. *Гончаров П.К.* Социальное государство: сущность, мировой опыт, российская модель // Социально-гуманитарные знания. — 2013. — № 2. — С. 18—37.
9. *Глазьев С.Ю.* Геноцид. — М.: ТЕРРА, 1998. — 320 с.
10. *Глазьев С.Ю.* Развитие российской экономики в условиях глобальных технологических сдвигов: научный доклад. — М.: НИР, 2007. — 134 с.
11. *Гранберг А.Г., Суслицын В.А.* Введение в системное моделирование народного хозяйства. — Новосибирск: Наука, 1988. — 304 с.
12. *Гневко В.А.* Государственное и муниципальное управление. — СПб.: ИУЭ, 2001. — 350 с.
13. *Государственное управление: основы теории и организации* / под ред. В.А. Козбаненко, С.П. Коломийцева, Н.С. Слепцова — М.: Статут, 2000. — 912 с.
14. *Зеркин, Д.П., Игнатов В.Г.* Основы теории государственного управления. — Ростов-на-Дону: «МарТ», 2000. — 448 с.
15. *Забелин П.В., Моисеева Н.К.* Основы стратегического управления. — М.: Высшая школа, 2006. — 125 с.
16. *Караганов С.А.* Стратегия для России: повестка дня для президента — 2000. — М.: Вагриус, 2000. — 352 с.
17. *Кондратов Н.Д., Яковец Ю.В., Абалкин Л.И.* Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения: избранные труды. — М.: Экономика, 2002. — 767 с.
18. *Корицкий Э.Б., Нициева Г.В., Шетов В.Х.* Научный менеджмент: российская история. — СПб.: Питер, 1999. — 384 с.
19. *Логиновский О.В., Болодурина И.П.* Государственное управление промышленностью в регионах РФ: науч. изд. — М.: Машиностроение, 2003. — 368 с.
20. *Логиновский О.В., Рязанов Н.М.* Региональные органы государственной власти России в условиях преобразования системы управления: монография. — Екатеринбург: УрО РАН, 2003. — 519 с.
21. *Логиновский О.В., Рязанов Н.М.* Управление развитием региона: науч. изд. — М.: Машиностроение, 2006. — Т. 3. — 560 с.
22. *Логиновский О.В., Елагин В.В.* Управление социально-экономическим развитием государства: науч. изд. — М.: Машиностроение, 2006. — Т. 4. — 544 с.
23. *Логиновский О.В., Любицын В.Н., Нестеров М.И.* Управление современным ВУЗом на базе развитой информационной системы: монография / под ред. А.Л. Шестакова. — Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2013. — 539 с.
24. *Львов Д.С.* Развитие экономики России и задачи экономической науки. — М.: Экономика, 1999. — 79 с.
25. *Львов Д.С.* Экономика развития. — М.: Экзамен, 2002. — 512 с.
26. *Напреенко В.Г., Нариньяни А.С., Смирнов Е.П.* Моделирование региональной экономики: новый уровень качества и безопасности // Финансы, экономика, безопасность. — 2005. — № 4 (9). — С. 34—38.
27. *Новиков Д.А.* Теория управления организационными системами. — М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2012. — 604 с.
28. *Прохоров А.П.* Русская модель управления. — М.: ЭКСМО, 2006. — 384 с.
29. *Путь в XXI век: стратегические проблемы и перспективы российской экономики* / рук. авт. колл. Д.С. Львов. — М.: Экономика, 1999. — 793 с.
30. *Россия и мир. Новая эпоха. 12 лет, которые могут все изменить* / отв. ред. и рук. авт. колл. С.А. Караганов. — М.: АСТ, Русь-Олимп. 2008. — 444 с.
31. *Россия — 2015: оптимистический сценарий* / под ред. Л.И. Абалкина. — М.: ММВБ, 1999. — 416 с.
32. *Стратегический ответ России на вызовы нового века* / под общ. ред. Л.И. Абалкина. — М.: Экзамен, 2004. — 608 с.
33. *Стратегия и проблемы устойчивого развития России в XXI веке* / под ред. А.Г. Гранберга и др. — М.: Экономика, 2002. — 414 с.
34. *Сценарий и перспективы развития России* / под ред. В.А. Садовниченко и др. — М.: Ленанд, 2011. — 320 с.
35. *Управление социально-экономическим развитием России: концепции, цели механизмы* / рук. авт. колл. Д.С. Львов, А.Г. Поршневу. — М.: Экономика, 2002. — 702 с.



36. Уткин Э.А., Денисов А.Ф. Государственное и региональное управление. — М.: ИКФ «ЭКМОС», 2002. — 320 с.
37. Федоренко Н.П. Россия: уроки прошлого и лики будущего. — М.: Экономика, 2000. — 489 с.
38. Хелд Д., Гольдблатт Д., Макгрей Э., Перратон Дж. Глобальные трансформации: Политика, экономика, культура: пер. с англ. В.В. Сапова и др. — М.: Праксис, 2004. — 576 с.
39. Эрхард Л. Благосостояние для всех. — М.: Начало-пресс, 1991. — 335 с.
40. Аакер Д. Стратегическое рыночное управление: пер. с англ. — СПб.: Питер, 2002. — 544 с.
41. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия. — СПб.: Питер Ком, 1999. — 416 с.
42. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами / под ред. Д.А. Новикова. — М.: Кн. дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — 264 с.
43. Бурков В.Н., Буркова И.В., Губко М.В. Механизмы управления: Управление организацией: планирование, организация, стимулирование, контроль: учеб. пособ. / под ред. Д.А. Новикова. — М.: Ленанд, 2013. — 216 с.
44. Гурней Б. Введение в науку управления: пер. с франц. — М.: 1989. — 350 с.
45. Коренная К.А., Логиновский О.В., Максимов А.А. Управление промышленными предприятиями в условиях глобальной нестабильности: монография / под ред. А.Л. Шестакова. — Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2013. — 403 с.
46. Логиновский О.В., Максимов А.А. Управление промышленным предприятием: науч. изд. — М.: Машиностроение, 2006. — Т. 1. — 603 с.
47. Логиновский О.В., Коренная К.А. Повышение эффективности работы предприятия на основе современных управленческих технологий и информационно-аналитических систем // Автоматизация и управление промышленными предприятиями: докл. науч.-техн. конф. всерос. форума «Информационное общество-2015: вызовы и задачи». — Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015. — С. 4—38.
48. Минцберг Г., Альстрэнд Б., Лэмел Дж. Школы стратегий. — СПб.: Питер, 2002. — 336 с.
49. Паитова Л.Г., Комельков М.В. Социальная ответственность бизнеса: мировые тенденции и отечественные особенности // Финансовая аналитика: проблемы и решения. — 2017. — № 8. — С. 895—911.
50. Томпсон А.А., Стрикленд А.Дж. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации для анализа: пер. с англ. — М.: Вильямс, 2007. — 928 с.
51. Гельруд Я.Д., Логиновский О.В. Управление проектами: монография / под ред. А.Л. Шестакова. — Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015. — 330 с.
52. Ханк Д.Э., Уичерн Д.У., Райтс А.Дж. Бизнес-прогнозирование: пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. — 656 с.
53. Шелдрейк Дж. Теория менеджмента: от тейлоризма до японизации: пер. с англ. / под ред. В.А. Спивака. — СПб.: Питер, 2001. — 352 с.
54. Burkov V., Goubko M., Korgin N., Novikov D. Introduction to theory of control in organizations. Boca Ra-ton. — London: CRC Press, 2015. — 346.
55. Burkov V.N., Novikov D.A., Shchepkin A.V. Control Mechanisms for Ecological-Economic Systems. — Berlin: Springer, 2015. — 174 p.
56. Korennaya K.A., Loginovskiy O.V., Maksimov A.A., Zimin A.V. Global Economic Instability and Management of Industrial Organisations / ed. A.L. Shestakov. — Kostanay: KSU, 2014 — 230 p.
57. Логиновский О.В., Максимов А.А. Корпоративное управление: науч. изд. — М.: Машиностроение, 2007. — Т. 2. — 624 с.
58. Абалкин Л.И. Экономическая стратегия для России: проблема выбора. — М.: ИЭ РАН, 1997.
59. Курс переходной экономики / под ред. Л.И. Абалкина. — М.: Финстатинформ, 1997. — 640 с.
60. Логиновский О.В., Козлов А.С. Информационные системы в государственном управлении: монография / под ред. А.Л. Шестакова. — Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2013. — 456 с.
61. Gollay A.V., Loginovskiy O.V. Managerial decision-making model taking into account technological development of the enterprise // Bulletin of SUSU. Ser.: Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics. — 2017. — N 4.
62. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. — URL: <http://static.government.ru/media/files/41d4b737638b91da2184.pdf> (дата обращения: 11.11.2017).
63. Указ Президента РФ от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». — URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения: 11.11.2017).
64. Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017—2030 годы». — URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/41919> (дата обращения: 11.11.2017).
65. Распоряжение Правительства РФ от 01.11.2013 № 2036-р «Об утверждении Стратегии развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014—2020 годы и на перспективу до 2025 года». — URL: <https://rg.ru/2013/11/08/technologii-site-dok.html> (дата обращения: 11.11.2017).
66. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р «Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации». — URL: <http://government.ru/docs/28653/> (дата обращения: 11.11.2017).

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Н. Бурковым.

Логиновский Олег Витальевич — д-р техн. наук, профессор, Южно-Уральский гос. ун-т, г. Челябинск, [loginovskiy@mail.ru](mailto:loginovskiy@mail.ru),

Максимов Александр Александрович — д-р техн. наук, депутат Государственной Думы Федерального Собрания РФ VII созыва, г. Москва.

*Новая книга*

Козлов А.Д., Лебедев В.Н., Мараканов И.Н. **Современные технологии обмена данными для распределенных корпоративных информационных систем.** — М.: ИГУ РАН, 2016. — ISBN 978-5-91450-192-8.

Рассмотрены вопросы применения современных информационных технологий для создания распределенных информационных систем, а также примеры программных компонентов, обеспечивающих практическую реализацию данных технологий. Основное внимание уделено методам и средствам обмена сообщениями в распределенных корпоративных информационных системах и практическим вопросам построения программного обеспечения таких систем.

Для научных работников, студентов, аспирантов и специалистов в области информационных систем и вычислительной техники.

# ОЦЕНКА УРОВНЯ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНЫХ ИННОВАЦИЙ

О.Г. Кантор, Ю.А. Кузнецова

Отмечено, что необходимый этап контроля со стороны органов государственной власти за результативностью деятельности Центров инноваций социальной сферы заключается в оценке уровня развития социальных инноваций. Рассмотрены методические подходы к разработке системы сопоставимых индикаторов, отвечающих целям мониторинга состояния сферы социальных инноваций как в масштабах страны, так и на уровне ее субъектов. В соответствии с представленными методиками осуществлена оценка показателей деятельности Центра инноваций Омской области.

**Ключевые слова:** социальная инновация, управление, оценка, результативность, индикативный подход, функция желательности Харрингтона, теория нечетких множеств, метрический анализ, Центр инноваций социальной сферы.

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время границы инновационной деятельности все более расширяются, охватывая как государственный, так и негосударственный секторы экономики, причем изменения затрагивают не только производственную, но и социальную сферы. Инновации в социальной сфере рассматриваются как альтернативный способ удовлетворения соответствующих потребностей, когда это затруднено или невозможно посредством существующих социальных механизмов [1]. Успешная реализация инновационного процесса в социальной сфере предопределена необходимостью формирования соответствующей системы управления, обладающей характеристиками комплексности, четкой структурированности, гибкости и адаптивности [2]. Поскольку во всем мире значительно возрастает интерес к измерению результатов реализации социальных инноваций (что проявляется в динамично растущем количестве публикаций на эту тему [3, 4]), совокупность характеристик системы управления следует дополнить рядом других: использование достоверной, объективной, полной информации об управляемых объектах и процессах, возможность измерения результатов их функционирования.

Подробный обзор публикаций, посвященных особенностям системы управления социальными инновациями, раскрытию сущности ее отдельных функций показал, что работы российских авто-

ров имеют, преимущественно, проблемно-постановочный, теоретический характер (к числу наиболее глубоко проработанных следует отнести работы [5–11]). Например, в работе [12] раскрывается традиционный спектр участников, а также этапы реализации социальных инноваций, для каждого из них определены результаты воздействия на общество. Прикладной аспект работ российских авторов выражен, преимущественно, в качественном описании особенностей инновационных процессов в образовательных и медицинских учреждениях. Что касается содержания подходов к оценке результативности социальных инноваций, то в большинстве исследований он заключается в применении метода экспертных оценок.

В работах зарубежных авторов ярко выражена прикладная ориентация, делается попытка дать ответы на вопросы: «Каким образом используются результаты теоретических исследований разнообразных аспектов управления социальными инновациями в реальной деятельности соответствующих организаций и органов государственной власти?», «С помощью каких методов возможна количественная оценка воздействия социальных инноваций?» [13], раскрываются конкретные методы и подходы.

Большой вклад в развитие методологии оценки инновационных процессов в социальной сфере сделан исследователями инновационного фонда Nesta [14]. Осуществлять контроль реализации инновационных процессов в социальной сфере предлагается в разрезе четырех ключевых агентов:



бизнес, некоммерческие организации, образовательные организации, технологические центры [15]. В продолжение своих исследований авторы обосновывают связь между социальной инновацией и видом реализующей ее организации, выделяя три типа управления, обуславливающих три типа контроля: социальный, межорганизационный, устойчивый [16]. В качестве индикатора контроля предлагается рассчитывать индекс управления социальными инновациями. D. Tommasi указывает на необходимость применения интегрированного, междисциплинарного подхода к разработке методологии управления социальными инновационными изменениями [17], поскольку современные социальные преобразования подвержены сильному воздействию процессов глобализации. Социальные инновации как эффективный инструмент социальной политики требуют оценки их полезности, чтобы ответить на вопрос, какие необходимы корректировки для создания экономической выгоды, на которые «готовы» социальные инновации [18].

Отсутствие единой методики оценки уровня развития социальных инноваций в субъектах Российской Федерации создает определенные трудности при проведении анализа деятельности организаций данной сферы. Вместе с тем бурное распространение социальных инноваций и их значимость с позиций влияния на качество жизни людей обусловило актуальность настоящего исследования.

## 1. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АНАЛИЗА СОЦИАЛЬНЫХ ИННОВАЦИЙ

Социальные инновации предлагают практические, бюджетные решения для достижения позитивных социальных изменений. Можно говорить о двух типах инноваций: инновации «сверху» (инициированные государством) и инновации «снизу» (инициированные населением, столкнувшимся с трудностью либо невозможностью удовлетворения социальных потребностей в рамках существующих социальных механизмов, а также некоммерческими организациями (НКО), осознавшими необходимость решения тех или иных социальных проблем).

В распоряжении государства имеется большой арсенал конкретных механизмов осуществления социальных инноваций в рамках каждой из функций, реализуемых в управлении социальным инновационным процессом:

— генерирование идеи социального инновационного проекта в ответ на возникновение социальной потребности, которая не может быть удовлет-

ворена с помощью традиционных социальных механизмов;

— формирование механизма практической реализации инновационных проектов в социальной сфере (финансирование, предоставление ресурсов, оказание технической поддержки, создание институциональных основ и др.);

— координация процессов внедрения и распространения социальных инноваций;

— мотивация участников инновационного процесса в социальной сфере;

— мониторинг результативности реализации социальных инноваций.

Несмотря на то, что государство является активным участником инновационного процесса в социальной сфере в силу тех инструментов и механизмов, которые имеются в наличии, «снизу» больше осознана специфика существующих и вновь возникающих проблем.

Осуществление социальных инноваций, характеризующихся комплексностью, неопределенностью последствий практического внедрения, сложностью оценки эффекта инновации, недостатком количественно измеримых показателей, сопровождается рядом проблем в определении конкретных параметров состояния их реализации. Бесспорно, что недостаток информации затрудняет выработку правильного решения, увеличивает степень риска, что требует применения современных экономико-математических методов для повышения обоснованности принимаемых мер, направленных на достижение целевых установок каждого уровня системы сбора информации о социальных инновационных процессах. Отметим, что сами по себе единичные индикаторы не несут информации о тех или иных аспектах реализации социальных инноваций, если они либо не представлены в динамике, либо с их помощью не производится никаких сравнений. Кроме того, такие индикаторы должны характеризовать четко сформулированную задачу еще до того, как получены их количественные значения. Значения целевых установок в части развития социальных инновационных процессов должны быть потенциально реализуемыми, что может выражаться, например, в согласованности конкретных программ работ и проектов с наличием финансовых и дефицитных трудовых ресурсов. При этом уровень достижения целевых установок служит главной информацией для оценки результативности деятельности губернаторов, подразделений администрации, глав администраций [19].

Несмотря на активно пропагандируемую значимость социальных инноваций, следует признать, что в России отсутствует централизованная практика сбора их количественно измеримых показате-

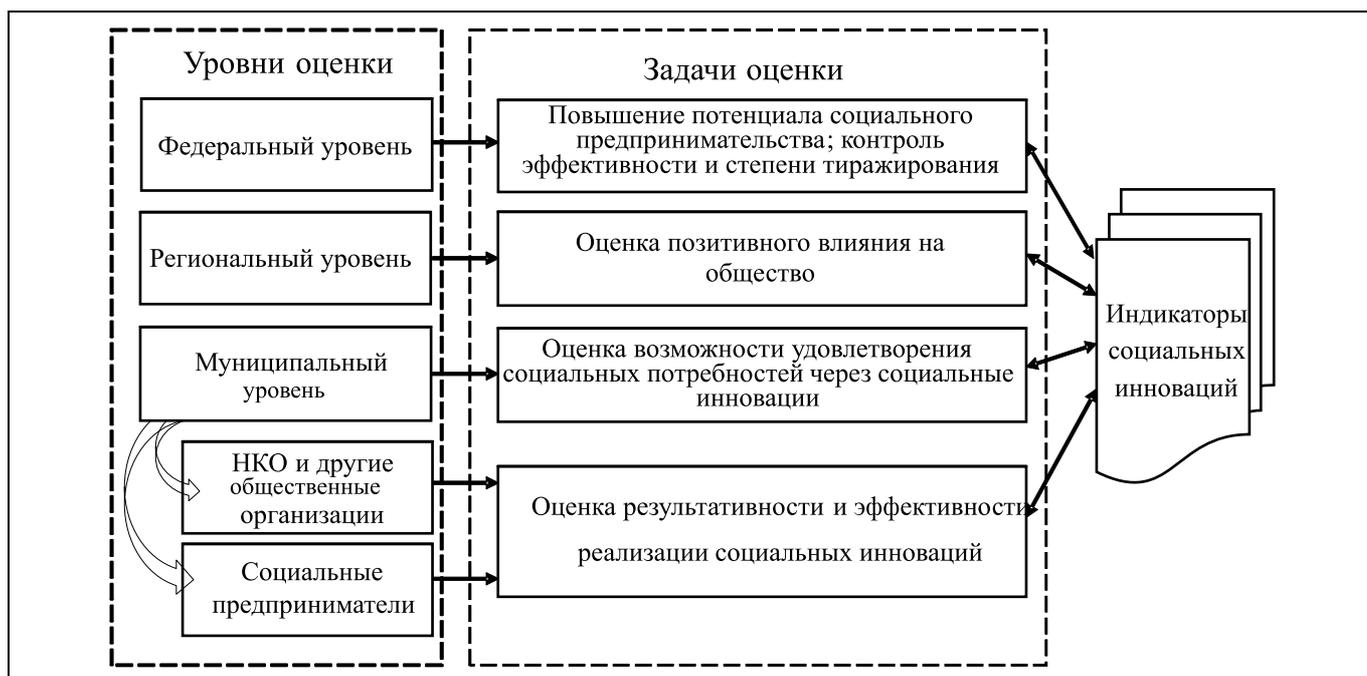


Рис. 1. Система сбора информации о социальных инновационных процессах

телей. Очевидно, что полное представление об инновационных процессах в социальной сфере может быть получено только путем организации его всестороннего мониторинга, что требует наличия отлаженной системы сбора и обработки требуемой информации (рис. 1).

В России ключевыми источниками информации можно считать:

- на федеральном уровне — Агентство стратегических инициатив (АСИ), Федеральную службу государственной статистики;
- на региональном уровне — Центры инноваций социальной сферы (ЦИСС);
- на муниципальном уровне — НКО, отдельных социальных предпринимателей.

Изучение доступной по перечисленным источникам информации о развитии социальных инноваций в нашей стране позволило сделать вывод о ее малом объеме (приведенная информация не позволяет в полной мере количественно охарактеризовать развитие социальных инноваций), слабой структурированности (существуют показатели, характеризующие реализацию тех или иных социальных инновационных проектов, однако они не идентичны для каждого из них), невозможности оценки в динамике (зачастую имеющиеся показатели представлены только за 1 год), высокой фрагментарности (оценке подлежат не все характеристики социальных инноваций), низкой прозрачности (часто данные можно получить только

по предварительному запросу; имеет место качественное описание показателей, количественное — отсутствует).

Исследование указанных выше источников на предмет доступных количественно измеримых показателей позволило сформировать систему показателей, представленную в табл. 1.

В основу данной системы положены показатели, представленные на официальных сайтах АСИ, региональных ЦИСС, отдельных социально ориентированных НКО (в частности, автономной некоммерческой организации (АНО) «Академия инновационного образования и развития», г. Москва [20]; АНО дополнительного профессионального образования «Институт развития семейного устройства», г. Москва [21]; АНО реализации инновационных проектов развития искусства и культуры «Ростискусства» [22], г. Санкт-Петербург и др.), а также проектов социальных предпринимателей, представленных в крупнейших социальных сетях. Показатели «муниципального уровня» не приводятся в таблице, поскольку они разнятся в зависимости от специфики деятельности НКО.

## 2. ОБЗОР МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ

### 2.1. Общие замечания

Согласно требованиям АСИ, показатели регионального уровня (см. табл. 1) обязательны для мониторинга. Поэтому вполне вероятно, что в крат-



косрочной перспективе следует ожидать проведения сравнительного анализа субъектов Российской Федерации по уровню развития социальных инноваций. Таким образом, приобретает актуальность разработка методических подходов к оценке уровня развития социальных инноваций, отвечающих целям такого анализа. Проблемы построения таких методик широко освещены в литературе как с общих позиций [23, 24], так и применительно к процессам, отражающим отдельные аспекты социально-экономической сферы [25, 26].

Вне зависимости от конкретного подхода, применяемого для разработки методики, должны обеспечиваться:

- мониторинг единичных показателей в отдельно взятом субъекте;
- комплексная оценка уровня развития социальных инноваций в каждом регионе;
- сравнительный анализ субъектов РФ.

Перечислим принципы, которые, на взгляд авторов, должны быть положены в основу разработки методических подходов к оценке уровня развития социальных инноваций [27]:

- *принцип оптимальности и экономичности*, суть которого заключается в том, чтобы при оценке применялись наиболее рациональные опера-

ции, с одной стороны, минимизирующие затраты на их осуществление, с другой — достаточные для достижения поставленной цели;

- *принцип динамичности и сопоставимости*, гарантирующий получение сопоставимых оценок вне привязки к конкретному региону и временным интервалам, в рамках которых исследуются показатели;

- *принцип практической доступности*, согласно которому инструменты, обеспечивающие оценку, должны быть доступны каждому субъекту мониторинга.

В полной мере все перечисленные аспекты и принципы обеспечивает применение методов, разработанных в рамках индикативного подхода.

Суть индикативного подхода состоит в следующем. Для всех показателей вводятся в рассмотрение безразмерные величины (*индикаторы*), характеризующие близость их фактических значений к соответствующим *целевым критериям*. Целевые критерии могут определяться нормативными или задаваемыми экспертами величинами. По значениям полученных индикаторов рассчитываются интегральные показатели, характеризующие в целом объект исследования. Именно интегральные показатели обеспечивают наглядную интерпрета-

Таблица 1

Показатели оценки уровня развития социальных инноваций

Уровень	Наименование показателей
Федеральный	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Число социально-ориентированных НКО, ед.</li> <li>• То же, но имеющих помещение в собственности, ед.</li> <li>• Поступило денежных средств и иное имущество, млрд. руб.</li> <li>• Средняя численность работников в организации, чел.</li> <li>• Средняя численность добровольцев в организации, чел.</li> <li>• Число новых рабочих мест в результате работы ЦИСС, ед.</li> <li>• Ежегодный прирост ВВП в результате работы ЦИСС, %</li> <li>• Число новых рынков, ед.</li> <li>• Объем средств, поступивших на развитие ЦИСС в рамках федеральных инструментов поддержки (в том числе внебюджетных), тыс. руб.</li> <li>• Число зарегистрированных социальных предпринимателей, чел.</li> <li>• Число успешных социальных практик, имеющих распространение за пределами территории их возникновения, ед.</li> </ul>
Региональный	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Число выпускников образовательных программ, чел.</li> <li>• Число созданных при поддержке ЦИСС социальных проектов, ед.</li> <li>• Число существующих (вновь созданных) рабочих мест, ед.</li> <li>• Число благополучателей социальных инновационных проектов, чел.</li> <li>• Стоимость проектов, тыс. руб.</li> <li>• Число заявок, поданных на участие в конкурсе на обучение по программе акселерации социальных проектов ЦИСС, ед.</li> <li>• Число предпринимателей, получивших консультацию в ЦИСС, ед.</li> <li>• Суммарная длительность консультаций, ч</li> <li>• Число менторов, чел.</li> <li>• Число публикаций и эфиров в СМИ о деятельности ЦИСС, ед.</li> </ul>

цию результатов сравнительного анализа регионов и позволяют эффективно решать задачи их ранжирования.

Таким образом, в соответствии с перечисленными принципами, основные этапы любого метода, реализующего индикативный подход:

- построение системы сопоставимых индикаторов;
- свертка индикаторов в интегральный показатель.

В качестве шкалы для сопоставимых индикаторов вне зависимости от применяемого инструментария будем пользоваться интервалом значений от 0 до 1. Данный выбор объясняется удобством трактовки результатов перехода от фактических значений показателей к системе индикаторов:

— вне привязки к показателю нули отождествляются с худшими значениями, а единицы — с лучшими;

— уровень каждого индикатора, по сути, будет характеризовать, насколько фактическое значение соответствующего показателя соотносится с его лучшим значением в долях единиц (или в процентах, если значение индикатора умножить на 100 %).

Так, например, если индикатор окажется равным 0,75, то это будет означать, что фактическое значение самого показателя составляет 75 % от того, которое могло быть в наилучшем случае.

Построение системы сопоставимых индикаторов предполагает, что для произвольного показателя  $\Pi$  должно быть определено правило, по которому каждому его значению ставится в соответствие значение индикатора  $p$ . Методика непосредственного расчета индикаторов и интегрального показателя во многом определяется возможностями применяемого математического аппарата. Приведем описание некоторых из них [28—30].

## 2.2. Обобщенная функция желательности Харрингтона

Функция желательности Харрингтона в терминах введенных обозначений определяется как

$$p = \frac{1}{e^{\Pi} \sqrt{e}}. \quad (1)$$

Она принимает значения в диапазоне от 0 до 1 (рис. 2). С помощью введения в рассмотрение че-

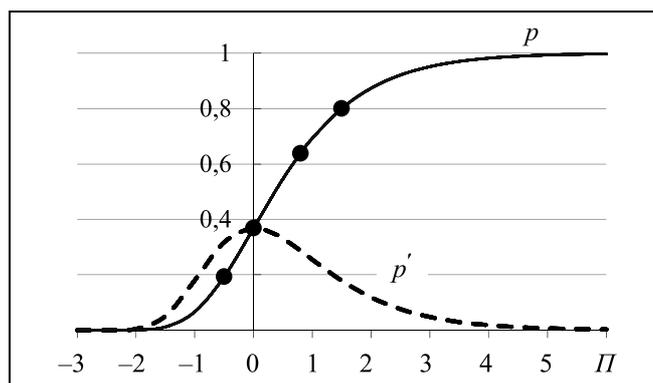


Рис. 2. График функции Харрингтона и ее производной

тырех узловых точек шкалы желательности делится на 5 диапазонов. Стандартное разбиение шкалы желательности приведено в табл. 2 (соответствующие узловые точки отмечены на графике функции  $p$ , см. рис. 2).

Допускается и отличное от стандартного подхода назначение узловых точек в соответствии с представлениями лица, принимающего решения (ЛПР). Общепринято рассмотрение в качестве узловых точек  $1/e = 0,37$  и  $1 - 1/e = 0,63$ . Стандартные отметки по шкале желательности позволяют отождествлять участок между точками с ординатами 0,2 и 0,63 с прямолинейным отрезком, соединяющим их, что может применяться для упрощения вычислений. Также при использовании стандартных отметок по шкале желательности скорость  $p'$  возрастания функции желательности (1) максимальна при  $\Pi = 0$  и совпадает со значением самой функции (см. рис. 2).

Последовательность действий при реализации индикативного подхода с помощью функции желательности может быть представлена следующими этапами.

1. Оценить диапазон вариации значений фактического показателя  $\tilde{\Pi} \in [\tilde{\Pi}^-, \tilde{\Pi}^+]$ .
2. Определить узловые точки  $\tilde{\Pi}_1, \tilde{\Pi}_2, \tilde{\Pi}_3, \tilde{\Pi}_4$  из отрезка  $[\tilde{\Pi}^-, \tilde{\Pi}^+]$ , разграничивающие желаемые оценки.
3. Провести масштабирование, по результатам которого интервалы значений фактического по-

Таблица 2

Стандартные отметки по шкале желательности

Желаемая оценка	Очень плохо	Плохо	Удовлетворительно	Хорошо	Очень хорошо
Отметки по шкале желательности	0,00—0,20	0,20—0,37	0,37—0,63	0,63—0,80	0,80—1,00
Интервалы значений $\Pi$	$(-\infty, -0,48]$	$(-0,48, 0]$	$(0, 0,77]$	$(0,77, 1,50]$	$(1,50, +\infty]$



казателя  $[\tilde{P}^-, \tilde{P}_1]$ ,  $(\tilde{P}_1, \tilde{P}_2]$ ,  $(\tilde{P}_2, \tilde{P}_3]$ ,  $(\tilde{P}_3, \tilde{P}_4]$ ,  $(\tilde{P}_4, \tilde{P}^+]$  будут приведены к интервалам значений аргумента функции желательности (см. табл. 2). Учитывая вид этой функции (см. рис. 2), границы диапазона вариации значений фактического показателя  $\tilde{P}^-$  и  $\tilde{P}^+$  целесообразно отождествлять со значениями  $\Pi = -3$  и  $\Pi = 6$  соответственно. Это позволяет формализовать правило для масштабирования в виде:

$$\Pi = \begin{cases} \frac{-0,48 + 3}{\tilde{P}_1 - \tilde{P}^-}(\tilde{P} - \tilde{P}^-) - 3, & \tilde{P} \in (\tilde{P}^-, \tilde{P}_1] \\ \frac{0,48}{\tilde{P}_2 - \tilde{P}_1}(\tilde{P} - \tilde{P}_1) - 0,48, & \tilde{P} \in (\tilde{P}_1, \tilde{P}_2] \\ \frac{0,77}{\tilde{P}_3 - \tilde{P}_2}(\tilde{P} - \tilde{P}_2), & \tilde{P} \in (\tilde{P}_2, \tilde{P}_3] \\ \frac{1,50 - 0,77}{\tilde{P}_4 - \tilde{P}_3}(\tilde{P} - \tilde{P}_3) + 0,77, & \tilde{P} \in (\tilde{P}_3, \tilde{P}_4] \\ \frac{6 - 1,50}{\tilde{P}^+ - \tilde{P}_4}(\tilde{P} - \tilde{P}_4) + 1,50, & \tilde{P} \in (\tilde{P}_4, \tilde{P}^+] \end{cases} \quad (2)$$

4. Рассчитать для рассматриваемого показателя по формуле (2) масштабированное значение  $\Pi$  на основе его фактического уровня  $\tilde{P}$ .

5. Рассчитать значение индикатора  $p$  для рассматриваемого показателя по формуле (1).

6. Повторить этапы 1–5 для каждого  $i$ -го показателя из рассматриваемой системы,  $i = \overline{1, n}$ . Получим систему индикаторов  $p_1, \dots, p_n$ .

7. Вычислить значение интегрального показателя по формуле:

$$I = \sqrt[n]{p_1 \cdot \dots \cdot p_n}. \quad (3)$$

Существенный недостаток применения функции желательности состоит в том, что в случае равенства нулю одного из индикаторов  $p_i$ , интегральный показатель  $I$  обращается в ноль вне зависимости от того, какими будут другие индикаторы. Более того, в данной методике предполагается, что с ростом фактических значений показателя желательность увеличивается. Тем самым исключается возможность учета ситуаций, при которых рост показателя до определенного уровня сначала рассматривается как имеющий положительную значимость, а после — отрицательную. Такое, например, может возникать при рассмотрении показателей, характеризующих денежные затраты: до определенного уровня рост затрат может демонстрировать высокую эффективность, а после — свиде-

тельствовать об излишних вложениях, способных обеспечить соразмерный результат.

### 2.3. Теория нечетких множеств

Нечеткое множество — это совокупность элементов произвольной природы, которые могут обладать некоторым свойством в различной степени его проявления. Так, например, если для некоторого показателя определено множество его значений  $\Pi \in [\Pi^-, \Pi^+]$  и внутри этого множества определено подмножество  $A$ , которое отождествляется с хорошими значениями показателя, то любому фактическому значению  $\Pi$  может быть поставлено в соответствие число, характеризующее, насколько значение  $\Pi$  может расцениваться как «хорошее». В рамках теории нечетких множеств степень принадлежности  $\Pi$  к этому подмножеству определяется функцией принадлежности:

$$\mu_A : [\Pi^-, \Pi^+] \rightarrow [0, 1]. \quad (4)$$

Функция принадлежности (4) приводит интервал значений показателя к безразмерной шкале от 0 до 1 и по своей сути служит численной характеристикой вербальной неопределенности, обусловленной неоднозначностью и расплывчатостью суждений ЛПР, его субъективными предпочтениями. Вид функции принадлежности определяется ЛПР на основании его представлений о соотношении темпов изменения значений показателя и приближения к подмножеству  $A$ . Характерные способы задания функций принадлежности показаны на рис. 3.

Построение интегрального индикатора на основе теории нечетких множеств предполагает выполнение следующей последовательности операций.

1. Оценить диапазон вариации значений фактического показателя  $\Pi \in [\Pi^-, \Pi^+]$ .

2. Построить функцию принадлежности (4).

3. Рассчитать значение функции принадлежности на основе фактического уровня  $\Pi$  и приравнять его к значению индикатора  $p$ , т. е.  $\mu_A(\Pi) = p$ .

4. Повторить этапы 1–3 для каждого  $i$ -го показателя из рассматриваемой системы,  $i = \overline{1, n}$ . Получим систему индикаторов  $p_1, \dots, p_n$ .

5. Вычислить значение интегрального показателя по формуле:

$$I = p_1 * \dots * p_n, \quad (5)$$

где  $*$  — некоторая бинарная операция, в большей мере соответствующая предпочтениям ЛПР. Выбор типа бинарной операции является самостоятельной задачей, для решения которой разработано немало подходов [31–33].

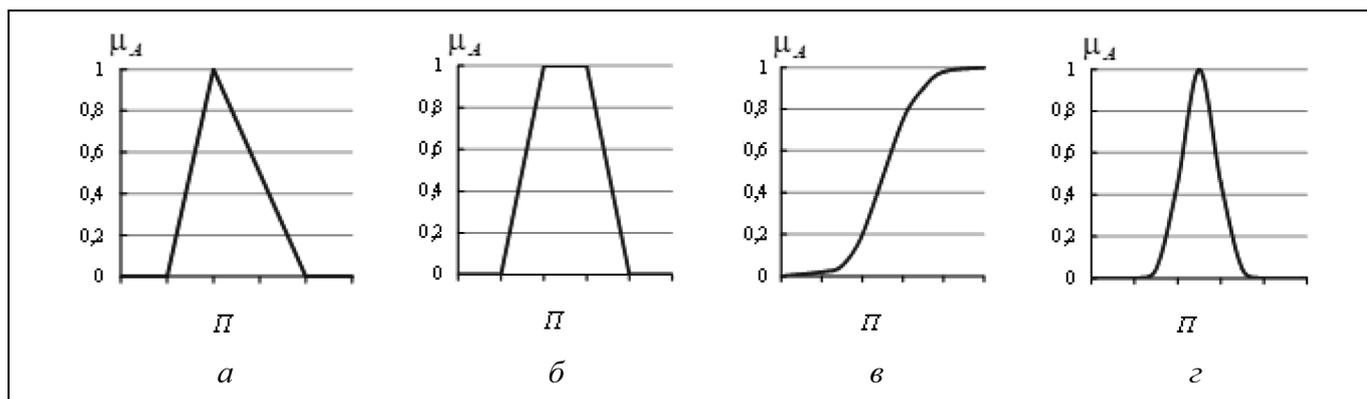


Рис. 3. Виды функций принадлежности: *a* — треугольная, *б* — трапецидальная, *в* — *S*-образная, *г* — гауссова

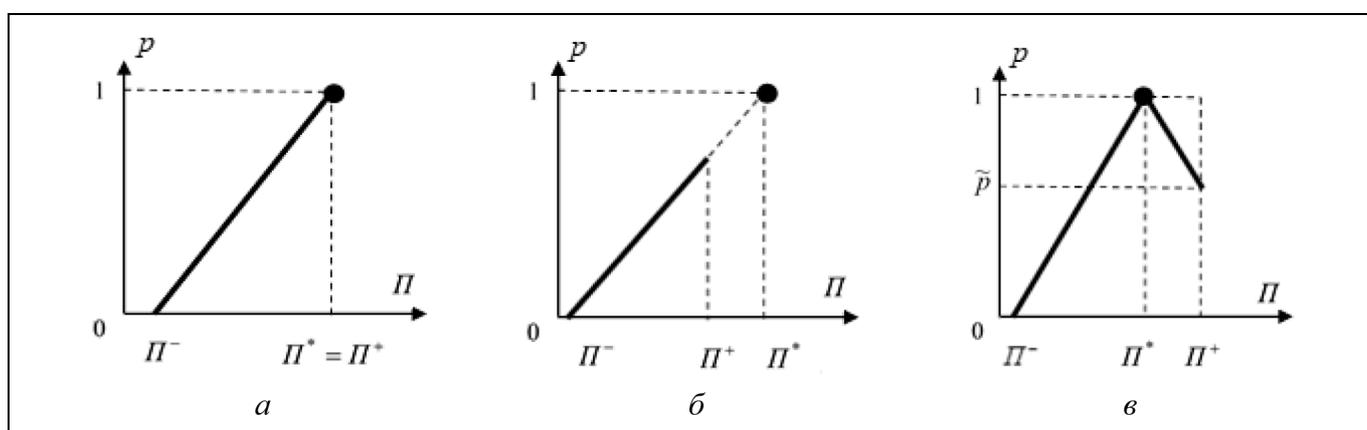


Рис. 4. Способы идентификации индикаторов в рамках метрического анализа: *a* — «идеальное» значение совпадает с граничным, *б* — «идеальное» значение не принадлежит диапазону вариации, *в* — «идеальное» значение внутри диапазона вариации

Преимущество данного подхода по сравнению с функцией желательности состоит в том, что индикаторы определяются на основании фактических значений показателей без предварительного масштабирования, а способы их идентификации не ограничиваются принципом «чем больше, тем лучше».

#### 2.4. Метрический анализ

В рамках метрического анализа индикаторы строятся на основе соотношений фактических значений показателя и его «идеального» уровня. При таком подходе «идеальному» значению показателя будет соответствовать лучшее значение индикатора, равное 1. Суть метрического анализа единичного показателя состоит в том, чтобы оценить расстояние (метрику) от соответствующего индикатора до его лучшего значения. При рассмотрении совокупности построенных индикаторов от-

личие состоит лишь в том, что аналогичные действия необходимо осуществлять в пространстве, размерность которого равна числу рассматриваемых показателей. При этом эталонной будет точка, все координаты которой равны 1.

Способы построения индикаторов определяются ЛПР и зависят от диапазона значений показателя  $[\Pi^-, \Pi^+]$  и его «идеального» уровня  $\Pi^*$ , который также устанавливает ЛПР. Возможные варианты идентификации индикаторов представлены на рис. 4 (точками отмечены лучшие значения индикаторов, соответствующие  $\Pi^*$ ).

Построение интегрального индикатора с помощью метрического анализа означает выполнение следующих действий.

1. Оценить диапазон вариации значений фактического показателя  $\Pi \in [\Pi^-, \Pi^+]$ .
2. Определить зависимость индикатора от фактических значений показателя.

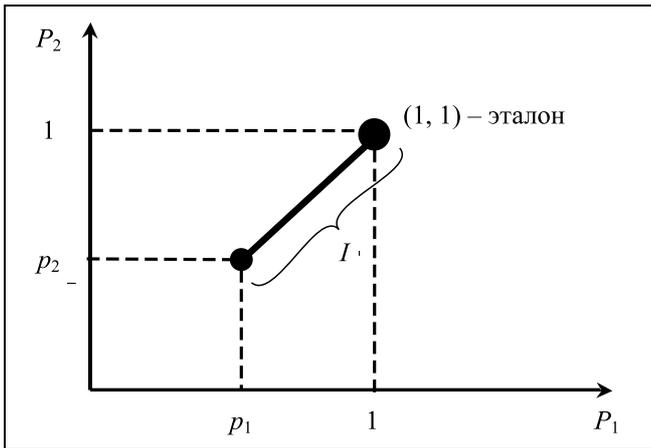


Рис. 5. Геометрическая интерпретация интегрального показателя (6)

3. Рассчитать значение индикатора. Для этого в случаях, представленных на рис. 4, а и б, следует воспользоваться формулой:

$$p = \frac{\Pi - \Pi^-}{\Pi^* - \Pi^-},$$

в случае, изображенном на рис. 4, в, — выражением:

$$p = \begin{cases} \frac{\Pi - \Pi^-}{\Pi^* - \Pi^-}, & \Pi^- \leq \Pi \leq \Pi^* \\ 1 - \frac{1 - \tilde{p}}{\Pi^+ - \Pi^*} (\Pi - \Pi^*), & \Pi^* < \Pi \leq \Pi^+ \end{cases}$$

По аналогичному принципу может рассчитываться индикатор, если способ его идентификации будет выбран отличным от представленных на рис. 4.

4. Повторить этапы 1—3 для каждого  $i$ -го показателя из рассматриваемой системы,  $i = \overline{1, n}$ . Получим систему индикаторов  $p_1, \dots, p_n$ .

5. Вычислить значение интегрального показателя по формуле:

$$I = \sqrt{(1 - p_1)^2 + \dots + (1 - p_n)^2}. \quad (6)$$

Суть формулы (6) демонстрирует рис. 5 ( $P_1$  и  $P_2$  — оси потенциальных значений индикаторов).

В рамках метрического анализа, как и в случае применения функций принадлежности, можно учитывать меняющиеся тенденции качественных оценок значений показателя. Важное преимущество метрического анализа состоит в прозрачности интерпретации интегрального показателя (6).

### 3. ОЦЕНКА УРОВНЯ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНЫХ ИННОВАЦИЙ В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Выбор Омской области в качестве объекта исследования обусловлен тем, что сегодня это практически единственный регион, где не только активно внедряются социальные инновации, но и собираются данные о результатах такой деятельности, начиная с 2014 г. Подобный вывод получен в результате проведения исследования о качестве информационной среды функционирования всех ЦИСС в Российской Федерации [34]. Оценка качества заключалась в измерении уровня доступности информации о деятельности ЦИСС на их официальных сайтах на основе восьми показателей, среди которых: наличие актуализированной информации об оказываемых услугах, проведенных мероприятиях, реализуемых проектах, в том числе социально значимых. Определено, что деятельность именно ЦИСС Омской области относится к группе Центров с высоким качеством информационной среды. В табл. 3 приведены показатели деятельности Омского Центра инноваций социальной сферы за 2013—2015 гг.

Все используемые в дальнейших расчетах оценки параметров, характеризующих границы диапазонов вариации и узловые точки, а также функции принадлежности и способы идентификации индикаторов назначались авторами. Были учтены ключевые показатели для ЦИСС, утвержденные АСИ: для 1-го показателя — не менее 40, для 2-го — не менее 30, для 3-го — не менее 3-х рабочих мест на один проект, для 4-го — не менее 20 по каждому проекту [36]. При построении функции желательности именно эти значения (и значения, рассчитанные на их основе) были выбраны в качестве границ диапазонов, оцениваемых «Плохо» и «Удовлетворительно» (табл. 4). С учетом имеющихся данных интегральные индикаторы рассчитывались для 2014 и 2015 гг.

Интегральные индикаторы, рассчитанные для 2014 и 2015 гг., составили соответственно  $I_{2014} = 0,784$  и  $I_{2015} = 0,728$ . Они несравнимые, поскольку отсутствуют данные о значениях 10-го показателя в 2014 г. и 6-го показателя в 2015 г. В целях обеспечения возможности сравнения интегральных индикаторов в данной ситуации следует применять формулу (3) к показателям с номерами 1—5, 7, 9. Таким образом было получено:  $\hat{I}_{2014} = 0,759$ ,  $\hat{I}_{2015} = 0,727$ .

Интегральный показатель (5) в рамках теории нечетких множеств рассчитывался с помощью среднего арифметического (табл. 5). Полученные значения сравнимых интегральных индикаторов

Таблица 3

**Показатели деятельности Омского Центра инноваций социальной сферы [35]**

№ п/п	Наименование показателя	Годы		
		2013	2014	2015
1	Число выпускников образовательных программ, чел.	75	171	146
2	Число созданных при поддержке ЦИСС социальных проектов, ед.	—	20	25
3	Число существующих (вновь созданных) рабочих мест, ед.	—	129	93
4	Число благополучателей социальных инновационных проектов, тыс. чел.	—	3,5	5,0
5	Стоимость проектов, тыс. руб.	—	6479,3	8970,0
6	Число заявок, поданных на участие в конкурсе на обучение по программе акселерации социальных проектов ЦИСС, ед.	—	199	—
7	Число предпринимателей, получивших консультацию в ЦИСС, ед.	—	586	752
8	Суммарная длительность консультаций, ч	—	—	—
9	Число менторов, чел.	—	28	28
10	Число публикаций и эфиров в СМИ о деятельности ЦИСС, ед.	—	—	38

Таблица 4

**Расчет интегральных показателей с помощью функции желательности**

№ п/п	Диапазон вариации [ $\tilde{P}^-$ , $\tilde{P}^+$ ]	Узловые точки				Индикатор $p$	
		$\tilde{P}_1$	$\tilde{P}_2$	$\tilde{P}_3$	$\tilde{P}_4$	2014 г.	2015 г.
1	[0, 250]	25	40	100	125	0,958	0,901
2	[0, 80]	10	30	40	50	0,280	0,324
3	[0,240]	30	90	120	150	0,689	0,396
4	[0, 7]	0,2	0,6	0,8	1	1,000	1,000
5	[0, 12000]	1000	2000	4000	6000	0,856	0,976
6	[0, 220]	20	50	90	150	0,990	—
7	[0, 1000]	50	100	200	400	0,946	0,984
8	[0, 150]	20	40	90	110	—	—
9	[0, 40]	5	10	15	20	0,964	0,964
10	[0, 60]	4	12	24	48	—	0,739

(по показателям с номерами 1–5, 7, 9) составили:

$$\hat{I}_{2014} = 0,773, \hat{I}_{2015} = 0,721.$$

Значения сравнимых интегральных индикаторов, рассчитанных, как и ранее, по показателям с номерами 1–5, 7, 9 с помощью метрического анализа, составили  $\hat{I}_{2014} = 1,175$ ,  $\hat{I}_{2015} = 1,081$  (табл. 6).

Отметим, что, независимо от методического подхода к построению интегрального индикатора, в каждом случае значения сравнимых интегральных индикаторов в 2015 г. оказались меньше, чем в 2014 г. (на 4,2 % на основе функции желательности, на 6,7 и 8,0 % в рамках применения теории нечетких множеств и метрического анализа соответственно). Это следует рассматривать как определенный сигнал о необходимости интенсифика-

ции работ по отдельным направлениям ЦИСС Омской области по внедрению социальных инноваций. Вместе с тем, большинство показателей свидетельствуют о высоком качестве системы управления социальными инновационными процессами в Омском ЦИСС.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Рассмотрены элементы существующей системы информационного обеспечения анализа инновационных процессов в социальной сфере. В качестве ключевых проблем определены отсутствие централизованной практики сбора количественно измеримых показателей, а также научно обоснованной методики их обработки. На основе до-

Таблица 5

**Расчет интегральных показателей  
с помощью функций принадлежности**

№ п/п	Функция принадлежности	Индикатор $p$	
		2014 г.	2015 г.
1		1	1
2		0	0
3		0,650	0,050
4		1	1
5		0,926	1
6		1	—
7		0,837	1
8	—	—	—
9		1	1
10		—	0,933

Таблица 6

**Расчет интегральных показателей  
с помощью метрического анализа**

№ п/п	Правило идентификации индикатора	Индикатор $p$	
		2014 г.	2015 г.
1		0,684	0,584
2		0,250	0,313
3		0,538	0,388
4		0,500	0,714
5		0,720	0,997
6		0,905	—
7		0,586	0,752
8	—	—	—
9		0,933	0,933
10		—	0,633

ступных источников сформирована система показателей в разрезе двух уровней: федерального и регионального. Показано, что целям комплексной оценки уровня развития социальных инноваций соответствует индикативный подход, для реализации которого представлены методики, основанные на применении функции желательности, теории нечетких множеств и метрического анализа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Tracey P. Social innovation: a window on alternative ways of organizing and innovating // *Innovation: Organization & Management*. — 2017. — Vol. 19, iss. 1. — P. 51–60.
2. Witkamp M.J., Raven R.P.J.M., Royakkers L.M.M. Strategic niche management of social innovations: the case of social entrepreneurship // *Technology Analysis and Strategic Management*. — 2011. — Vol. 1. — P. 667–681.
3. Phills Jr.A., Deiglmeier K., Miller D.T. Rediscovering Social Innovation // *Stanford Social Innovation Review* Fall. — 2008. — URL: [https://ssir.org/articles/entry/rediscovering\\_social\\_innovation](https://ssir.org/articles/entry/rediscovering_social_innovation) (дата обращения: 10.07.2017).
4. Krlev G., Bund E., Mildenerger G. Measuring What Matters — Indicators of Social Innovativeness on the National Level // *Information Systems Management*. — 2014. — Vol. 31, iss. 3. — P. 200–224.
5. Башкова Н.С. Сущность и некоторые особенности управления социальными инновациями // *Новая наука: Опыт, традиции, инновации*. — 2017. — № 1–3 (123). — С. 75–78.
6. Гуцаленко Л.А. Социальные инновации и квазиинновации в человеческом измерении // *Социологические исследования*. — 2011. — № 7. — С. 15–25.
7. Колбановский В.В. Социальные традиции и инновации: (исторический контекст, теоретические подходы и определение понятий) // *Вестник Института социологии*. — 2012. — № 4. — URL: [http://www.vestnik.isras.ru/files/File/Vestnik\\_2012\\_4/Kolbanovskii\\_25.05.pdf](http://www.vestnik.isras.ru/files/File/Vestnik_2012_4/Kolbanovskii_25.05.pdf) (дата обращения: 10.07.2017).
8. Кравчук П.Ф., Чемыхин В.А. Социальные инновации в стратегии модернизации российской экономики // *Личность. Культура. Общество*. — 2012. — Т. XIV, № 1 (69–70). — С. 241–246.
9. Родина Г.А. Социальные инновации: эффективность справедливости или справедливость эффективности? // *Философия хозяйства*. — 2009. — № 4 (64). — С. 87–94.
10. Смаглюкова Л.В. Креативная экономика и социальные инновации // *Креативная экономика и социальные инновации*. — 2013. — Т. 3, № 1 (4). — С. 59–65.
11. Федотова В.Г. Социальные инновации как основа процесса модернизации общества // *Вопросы философии*. — 2010. — № 10. — С. 3–16.
12. Кац И.С. Социальные инновации в общественном секторе // *Журнал экономической теории*. — 2015. — № 3. — С. 219–228.
13. Grimm R., Fox C., Baines S., Albertson K. Social innovation, an answer to contemporary societal challenges? Locating the concept in theory and practice // *Innovation: The European Journal of Social Science Research*. — 2013. — Vol. 26, iss. 4. — P. 436–455.
14. Nesta — the innovation foundation. — URL: <http://www.nesta.org.uk> (дата обращения: 10.07.2017).
15. Unceta A., Castro-Spila J., Fronti J.G. Social innovation indicators // *Ibid.* — 2015. — Vol. 29, iss. 2. — P. 192–204.
16. Unceta A., Castro-Spila J., Fronti J.G. The three governance in social innovation // *Ibid.* — 2017. — Vol. 1. — P. 1–15.
17. Tommasi D. Social Innovation in times of crisis // *Ibid.* — 2015. — Vol. 28, iss.4. — P. 423–424.
18. Grimm R., Fox C., Baines S., Albertson K. Social innovation, an answer to contemporary societal challenges? Locating the concept in theory and practice // *Ibid.* — 2013. — Vol. 26, iss. 4. — P. 436–455.
19. Ириков В.А., Новиков Д.А., Тренев В.Н. Целостная система государственно-частного управления инновационным развитием как средство удвоения темпов выхода России из кризиса и посткризисного роста. — М.: ИПУ РАН, 2009. — 228 с.
20. Академия инновационного образования. — URL: <http://acinedu.ru> (дата обращения: 10.07.2017).
21. Институт развития семейного устройства. — URL: <http://irsu.info/> (дата обращения: 10.07.2017).
22. Автономная некоммерческая организация «РОСТИСКУС-СТВА». — URL: <https://pro.fira.ru/search/companies/card/index.html?code=7548091#1198> (дата обращения: 10.07.2017).
23. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. — М.: Логос, 2002. — 392 с.
24. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. — М.: Наука, 1982. — 256 с.
25. Андронникова Н.Г., Баркалов С.А., Бурков В.Н., Котенко А.М. Модели и методы оптимизации региональных программ развития. — М.: ИПУ РАН, 2001. — 60 с.
26. Дорофеев Ю.А., Дорофеев А.А., Черныашкий А.Л. Анализ и оценка эффективности социально-экономических систем управления // *Информационные технологии и вычислительные системы*. — 2011. — № 1. — С. 14–23.
27. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений: Учеб. Изд. 3-е, перераб. и доп. — М.: Логос, 2006. — 392 с.
28. Гайнанов Д.А., Кантор О.Г., Казаков В.В. Оценка уровня социально-экономического развития территориальных систем на основе метрического анализа // *Вестник Томского гос. ун-та*. — 2009. — № 322. — С. 138–144.
29. Родионова Л.Н., Кантор О.Г. Сбалансированность показателей при оценке конкурентоспособности продукции // *Экономика региона*. — 2014. — № 3. — С. 257–265.
30. Родионова Л.Н., Кантор О.Г., Хакимова Ю.Р. Оценка конкурентоспособности продукции // *Маркетинг в России и за рубежом*. — 2000. — № 1. — С. 63–77.
31. Харитонов В.А., Белых А.А. Технологии современного менеджмента. — Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. — 190 с.
32. Алексеев А.О. Исследование альтернативных подходов к теоретико-множественным операциям над нечеткими множествами в процедуре нечеткого комплексного оценивания // *Прикладная математика и вопросы управления*. — 2015. — № 1. — С. 60–72.
33. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. — М.: Финансы и статистика, 2000. — 368 с.
34. Кузнецова Ю.А., Кириллова С.А. Качество информационной среды как фактор управления социальными инновациями региона // *Региональная экономика и управление: электронный научный журнал*. — 2016. — № 4 (48). — С. 655–664.
35. Омский Центр инноваций социальной сферы. — URL: <http://cissinfo.ru/> (дата обращения: 10.07.2017).
36. Агентство стратегических инициатив. — URL: <http://asi.ru/> (дата обращения: 10.07.2017).

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.В. Ключковым.

**Кантор Ольга Геннадиевна** — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник, ✉ [o\\_kantor@mail.ru](mailto:o_kantor@mail.ru),

**Кузнецова Юлия Александровна** — канд. экон. наук, ст. науч. сотрудник, ✉ [asanaria2005@yandex.ru](mailto:asanaria2005@yandex.ru),

Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра РАН.



# ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ КОНСОЛИДИРУЕМЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.А. Зацаринный, С.В. Козлов, А.П. Шабанов

Разработан метод управления деятельностью организационных систем и предложены технологические решения по обеспечению интероперабельности между их информационными системами. Отмечено, что практическая значимость заключается в обеспечении возможности создания единой информационно-управляющей среды для консолидируемых организационных систем, решающих общие задачи на постоянной основе и задачи, обусловленные оперативной обстановкой, в том числе, чрезвычайными обстоятельствами.

**Ключевые слова:** организационная система, управление деятельностью, информация, база знаний, единая информационно-управляющая среда, эффективность.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы руководством страны принят ряд конкретных шагов, направленных на перевод экономики с инерционного сценария на сценарий интенсивного развития. Достаточно упомянуть такие документы, как Федеральный закон № 172-ФЗ от 28 июня 2014 г. «О стратегическом планировании в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями), Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента РФ № 642 от 01.12.2016 г.), Постановление Правительства Российской Федерации № 1050 от 15.10.2016 «Об организации проектной деятельности в Правительстве Российской Федерации», «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017—2030 гг.» (утверждена Указом Президента РФ № 203 от 09.05.2017 г.) и др.

В этой связи особое значение в развитии экономики России в нынешних условиях приобретают высокотехнологичные отрасли хозяйства как важнейший источник замещения импортной продукции на внутреннем рынке. Одной из ключевых мер поддержки таких отраслей служит развитие консолидируемых организационных систем путем установления новых и укрепления существующих связей между министерствами, службами и агентствами, в транснациональных компаниях, между предприятиями оборонно-промышленного комплекса, в других организационных объединениях, образованных по отраслевому и/или территориальному признаку из промышленных и аграрных предприятий, банков, научных учреждений и образовательных организаций с координирующей ролью государственных или местных органов власти [1].

Комплексная *проблема* создания единой информационно-управляющей среды для консолидируемых организационных систем в соответствии со стратегией развития информационного общества в РФ [2] приобретает особую актуальность, прежде всего при создании системы распределенных ситуационных центров [3, 4]. В рамках решения данной проблемы в настоящей статье представлены метод управления деятельностью организационных систем и технологические решения по обеспечению взаимодействия между базами знаний и другими объектами разнородных информационных систем. Обоснованность данных решений подтверждается комплексом изобретений и полезных моделей в области критических информационных технологий — способом поддержки деятельности и системой управления деятельностью организационных систем, комплексом управления робототехническими объектами и другими, описание которых приведено в работах [5—7]. В работе [8] рассматриваются преимущества и риски, обусловленные применением несовместимых систем и нестандартных технологий. Важная роль отводится укреплению инновационного пространства для обеспечения устойчивого социально-экономического развития России и реализации государственной научно-технической и инновационной политики [9], учету влияния человеческого фактора на эффективность принятия решений [10]. В экономической деятельности на информацию смотрят как на ресурс — фактор производства, исследуются свойства информации, ее характеристики и другие факторы в смысле полезности информации для бизнеса, возникают и бурно развиваются рынки информации и различного рода базы знаний общего и коммерческого доступа, расширяется сеть систем связи, центров и комплексов

управления и обработки данных [11–15], а стандартизация в данной области воспринимается руководителями организаций как средство обеспечения совместимости информационных систем [16]. Создание единой информационно-управляющей среды для объектов, относящихся к разным системам управления или управляемых ими, позволит осуществить скоординированное управление базами знаний, информационными и телекоммуникационными системами и другими объектами, которые влияют на процессы и результаты деятельности консолидируемых ОС.

## 1. МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В основу развития консолидируемых организационных систем (ОС) с целеполаганием на создание единой информационно-управляющей среды положен метод управления деятельностью ОС, который разработан на базе инновационных решений, относящихся к критическим технологиям по основным направлениям научно-технического развития [5–7, 17], с учетом отраслевых и территориальных особенностей региональных кластеров [18–22].

Ключевым решением является способ поддержки деятельности ОС [6, с. 29], отличающийся от аналогов тем, что содержит этапы, на которых с помощью средств контроля, вычислительных комплексов, компьютерных сетей и средств управления автоматически выполняется оценка показателей эффективности деятельности и осуществляется автоматическое управление объектами с учетом полученной оценки. Возможность автоматизации управления достигается благодаря свойству данного способа обеспечивать динамичное формирование, модернизацию и накопление информации о знаниях — командах управления деятельностью ОС в различных условиях воздействия факторов внутренней и внешней среды [23]. Известны технические решения по реализации данного способа: на предприятиях с централизованным управлением [6, с. 181]; в транснациональных компаниях и ведомствах с разветвленной системой управления [6, с. 210]; в информационно-технологических и телекоммуникационных компаниях [6, с. 216–222]; в компаниях, стремящихся к достижению максимального уровня автоматизации своей деятельности [7, с. 218]. При этом интероперабельность в объединениях ОС может быть обеспечена с помощью известных технических решений в области обмена информацией [5] и технологической совместимости [20].

Разработанный метод управления деятельностью ОС, с учетом изложенного, предполагает следующие действия, реализуемые комплексом аппаратно-программных средств.

### 1. Формирование исходных данных о:

— нормированных показателях объектов управления, нормированных состояниях объектов управления с учетом их влияния на виды деятельности ОС, нормированных состояниях видов деятельности ОС, видов деятельности и деятельности объединения ОС в целом в заданных интервалах времени;

— приоритетах показателей объектов управления и приоритетах объектов управления, о приоритетах видов деятельности ОС и видов деятельности объединения ОС;

— критических и допустимых показателях эффективности видов деятельности ОС, видов деятельности и деятельности объединения ОС в целом;

— знаниях — *сценариях управляющих решений* (командах управления) для повышения эффективности деятельности, предотвращения угроз деятельности и ликвидации последствий реализованных угроз, в зависимости от имеющейся ретроспективной и прогнозируемой информации о деятельности ОС и объединения ОС в целом при различных условиях внутренней и внешней среды.

2. Приведение объектов управления в нормированные состояния с учетом их влияния на виды деятельности ОС, виды деятельности и деятельность объединения ОС в целом.

3. Мониторинг фактических показателей объектов управления в заданных интервалах времени.

4. Формирование данных о знаниях — фактических состояниях объектов управления с учетом их влияния на виды деятельности ОС, о фактических состояниях видов деятельности ОС, видов деятельности и деятельности объединения ОС в целом.

5. Анализ на основе знаний о состоянии деятельности в заданных интервалах времени эффективности видов деятельности ОС, видов деятельности и деятельности объединения ОС в целом.

6. Определение на основе результатов анализа из числа ранее сформированных знаний — сценариев управляющих решений или модернизация их, или разработка новых сценариев, которые наиболее предпочтительны по эффективности в сложившихся условиях с учетом сформированных приоритетов видов деятельности ОС, видов деятельности и деятельности объединения ОС в целом.

7. Осуществление управляющих воздействий на объекты управления, предусмотренных к выполнению требованиями сценариев, определенных на предыдущем этапе.

Важное свойство данного метода состоит в его универсальности для различных типов ОС, характеризующихся наличием процесса управления знаниями [24–28], отраслью применения [29, 30] и наличием системы показателей эффективности (качества) деятельности ОС [31, 32].



## 2. СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

При разработке системы показателей эффективности деятельности ОС были учтены обоснованные доводы о необходимости владения, пополнения и грамотном пользовании современной и достоверной информацией как одним из основных процессов, влияющих на степень эффективности [33—47]. При этом:

- под ОС понимаются центры управления, коммерческие предприятия, осуществляющие различные виды деятельности с целеполаганием на прибавочную стоимость, оборонно-промышленные предприятия, осуществляющие различные виды деятельности с целеполаганием на выполнение госзаказа, организации, учреждения, фонды, аналитические и статистические службы, подразделения органов власти и государственных ведомств, осуществляющие инвестиционный, аналитический, информационный, инженерный и другие виды деятельности с целеполаганием на поддержку видов деятельности предприятий и на развитие экономики региона, отрасли экономики, на обеспечение защиты интересов и безопасности государства в целом;

- под консолидируемыми ОС понимаются объединения ОС, консолидирующие свои усилия на постоянной основе или на интервале времени для решения общих задач;

- один и тот же объект управления может оказывать различное по своей значимости влияние на разные виды деятельности в одной и той же ОС;

- один и тот же объект управления может оказывать влияние на разные ОС.

Исходя из перечисленных особенностей, определена система показателей эффективности деятельности и ее компоненты:

- индексы и число видов деятельности в объединении ОС;

- индексы и число ОС в объединении;

- нормированный и фактический показатель состояния деятельности объединения в целом;

- нормированные и фактические показатели состояния видов деятельности объединения в целом;

- нормированные и фактические показатели состояния видов деятельности ОС;

- приоритеты видов деятельности объединения и видов деятельности ОС;

- фактические показатели эффективности деятельности объединения в целом, видов деятельности объединения в целом, видов деятельности ОС;

- критический показатель эффективности деятельности объединения в целом, снижение по сравнению с которым соответствующего факти-

ческого показателя означает состояние угрозы для деятельности объединения;

- допустимый показатель эффективности деятельности объединения в целом, снижение по сравнению с которым соответствующего фактического показателя означает появление угрозы для деятельности объединения;

- критические показатели эффективности видов деятельности объединения в целом, снижение по сравнению с которыми соответствующих фактических показателей означает состояние угрозы для этих видов деятельности объединения;

- допустимые показатели эффективности видов деятельности объединения в целом, снижение по сравнению с которыми соответствующих фактических показателей означает появление угрозы для этих видов деятельности объединения;

- критические показатели эффективности видов деятельности ОС, снижение по сравнению с которыми соответствующих фактических показателей означает состояние угрозы для этих видов деятельности ОС;

- допустимые показатели эффективности видов деятельности ОС, снижение по сравнению с которыми соответствующих фактических показателей означает появление угрозы для этих видов деятельности ОС;

- индексы объектов управления и показателей этих объектов;

- нормированные и фактические показатели объектов управления, например, показатели сервера — это показатели производительности и объема памяти;

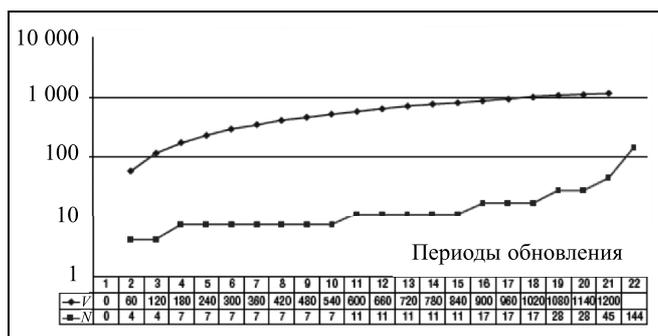
- нормированные и фактические показатели состояния объектов управления, например, показатели состояния сервера — это соответствующие обобщенные показатели, рассчитываемые как производные от показателей производительности и объема памяти;

- отклонения фактических показателей от нормированных показателей объектов управления с учетом их влияния на виды деятельности ОС;

- приоритеты показателей объектов управления и приоритеты объектов управления с учетом их влияния на виды деятельности ОС.

В качестве примера *влияния* процессов владения, пополнения и грамотного пользования своевременными и достоверными данными о знаниях на *производительность (мощность)* консолидируемых ОС на рис. 1 приведены диаграммы [47]. Они иллюстрируют *существенное повышение* мощности *N* диспетчерской службы центра обработки данных (ЦОД) *при увеличении* объема *V* освоенных технологических данных — знаний об объектах, влияющих на состояние ЦОД, по периодам их обновления (пополнения знаний).

При построении диаграмм применялся метод определения достаточности мощности ОС массового обслуживания, основанный на моделировании интервала ее занятости путем учета физичес-



**Рис. 1. Пример позитивности процессов владения и пользования знаниями:**  $V$  — объем освоенных технологических данных, байт;  $N$  — мощность диспетчерской службы

ких процессов, действующих при поступлении и обслуживании требований [48, с. 18]. В качестве критерия достаточности мощности принималось максимальное значение показателя мощности, которое удовлетворяет заданным критериям оценки времени ожидания обслуживания и вероятности его неперевышения. Показатель мощности измеряется в каждом периоде обновления технологических данных при максимально-допустимом времени ожидания обслуживания 120 мин, и минимально-допустимой вероятности его неперевышения 0,98. Примеры расчетных соотношений с использованием системы показателей эффективности метода управления деятельностью ОС приведены в работах [3, 23].

Практическая значимость применения метода управления деятельностью ОС в единой информационно-управляющей среде консолидируемых ОС наглядно видна на примере ситуационного центра как сложного организационно-технического комплекса, реализующего спектр информационных технологий по обработке, хранению, анализу, представлению и визуализации информации с позиций деятельности ОС — министерств, ведомств, государственных и коммерческих предприятий, с учетом различных факторов влияния [35].

### 3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В качестве примера инструмента обеспечения интероперабельности информационных систем в консолидируемых ОС, т. е. осуществления процесса автоматической передачи управляющей информации, рассмотрим способ передачи команд управления [20, с. 10]. Перечислим его основные свойства.

- Область применения способа — системы управления, между компонентами (объектами) которых осуществляется передача управляющей информации; к таким системам управления относятся:

- автоматизированные системы управления деятельностью ведомств и предприятий;
- центры и пункты управления в учреждениях и научных организациях;
- ситуационные, ситуационно-аналитические и аналитические центры в ведомствах, государственных, региональных и муниципальных органах власти и др.;
- системы управления консолидируемых ОС, в том числе, системы управления региональных кластеров;
- другие системы управления.

- Передача управляющей информации осуществляется между компонентами систем управления, причем один и тот же компонент может служить в разных циклах управления как источником команды управления (при этом система управления, к которой он относится, является управляющей (ведущей) системой), так и приемником команды управления (при этом его система управления является управляемой (ведомой) системой).

- Передача команды управления осуществляется от ведущей системы, например, из сервера управления через общую шину в соединенный с ней передатчик данных, далее через сеть передачи данных и приемник данных в соединенную с ним ведомую систему управления, например, через общую шину в сервер управления (рис. 2).

- Каждая команда управления может состоять из следующих сегментов:

- *адрес*, представляющий собой информацию об адресе ведомой системы управления, в которую должна быть передана эта команда, причем это может быть электронный адрес в сети передачи данных приемника данных, выход которого соединен через общую шину ведомой системы управления с ее сервером управления;

- *инструкция*, представляющая собой кодовую информацию о действии, которое должно быть произведено в ведомой системе управления, например, это может быть действие «записать сценарий принятия решения в систему хранения данных аудита о деятельности ОС»;

- *приложение к инструкции* — информационный объект, используемый при производстве действий в соответствии с *инструкцией*, например, это может быть «сценарий принятия решения».

При наличии прямого канала передачи данных между взаимодействующими системами управления сегмент *адреса* в команде управления может отсутствовать. При наличии во взаимодействующих системах управления баз знаний о командах управления, тождественных по выполняемым действиям и не требующих приложений [7, с. 225], сегмент *приложения к инструкции* в команде управления может отсутствовать. При том и другом условии команда управления может включать в себя только сегмент *инструкции*.

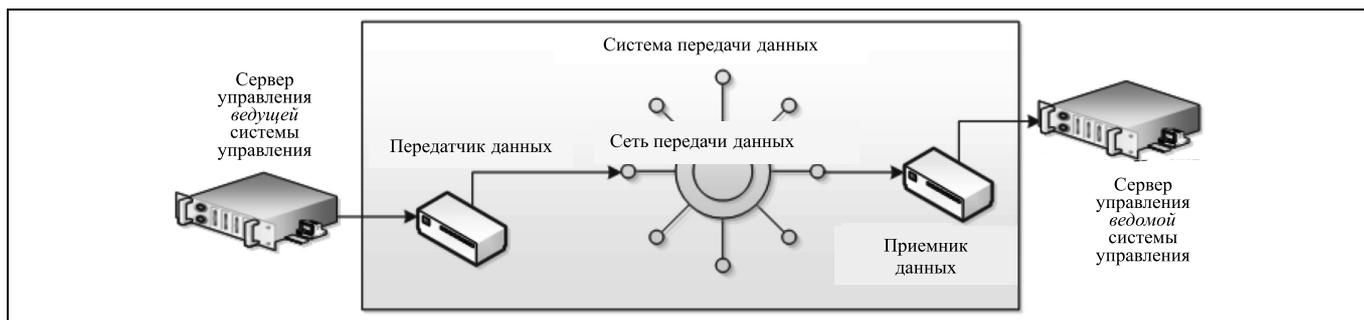


Рис. 2. Структурная схема системы передачи данных

• Системы управления консолидируемых ОС могут быть построены разными компаниями на технических и программных средствах от разных производителей и произведенных на разных предприятиях, поэтому тождественные по функциям команды управления в разных системах управления могут отличаться программными кодами.

Технический результат заключается в обеспечении возможности автоматического преобразования исходных данных о команде управления, сформированных в одной, ведущей, системе управления, в данные о функции этой команды, передачи их в соответствии с адресом, формирования выходных данных о команде управления с учетом данных о ее функции и передачи их в другую, ведомую, систему управления.

Способ передачи команд управления предусматривает выполнение нескольких этапов.

**Этап 1.** Формирование и запоминание в каждом передатчике данных о знаниях — блоков данных о командах управления, каждый из которых содержит:

— *данные об инструкции*, представленные программными кодами того компонента системы управления, с которым соединен передатчик;

— *данные о названии инструкции*, представляющие собой текстовую информацию о функции, которая должна быть выполнена в соответствии с инструкцией.

**Этап 2.** Формирование и запоминание в каждом приемнике данных о знаниях — блоков данных о функциях команд управления, каждый из которых содержит:

— *данные о названии инструкции*, представленные кодами, тождественными кодам данных о соответствующем названии инструкции, которые запомнены в передатчиках;

— *данные об инструкции*, соответствующей этому названию, представленные кодами той системы управления, с которой соединен приемник;

— *данные об адресе* компонента системы управления, с которой соединен приемник, и над которым необходимо произвести операции в соответствии с этой *инструкцией*.

**Этап 3.** В передатчике, соединенном с ведущей системой управления, осуществляются:

— *прием и запоминание* данных об исходной команде управления, включающих в себя данные об адресе ведомой системы управления, данные об инструкции, представленные в кодах ведущей системы управления и данные о приложении к инструкции, представленные в кодах, которые однозначно воспринимаются ведущей и ведомой системами управления;

— *выбор* из данных о командах управления, хранящихся в передатчике, данных о названии инструкции, которое соответствует инструкции, данные о которой приняты в составе данных об исходной команде управления;

— *преобразование* данных об исходной команде управления в данные об исходной функции команды управления, которые включают в себя данные об адресе ведомой системы управления, данные о названии инструкции и данные о приложении к инструкции;

— *передача* данных об исходной функции команды управления в сеть передачи данных.

**Этап 4.** Передача данных о названии инструкции и данных о приложении к инструкции, представляющих вместе данные о выходной функции команды управления, в соответствии с данными об адресе из состава данных об исходной функции команды управления, в приемник, соединенный с ведомой системой управления.

**Этап 5.** В приемнике, соединенном с ведомой системой управления осуществляются:

— *прием и запоминание* данных о выходной функции команды управления, поступивших из сети передачи данных;

— *выбор* из данных о функциях команд управления, хранящихся в приемнике, данных об инструкции, которая соответствует названию инструкции, данные о котором приняты в составе данных о выходной функции команды управления, и данных об адресе компонента, над которым необходимо произвести действия в соответствии с этой инструкцией;

— *преобразование* данных о выходной функции команды управления в данные о выходной команде управления, которые включают в себя данные об адресе компонента, данные об инструкции и данных о приложении к инструкции;

— *передача* выходных данных о команде управления в ведомую систему управления.

Способ передачи команд управления может быть реализован на базе системы передачи данных, структурная схема которой приведена на рис. 2 [7, с. 250].

Для реализации сети передачи данных можно воспользоваться техническими решениями по цифровым системам связи (см., например, работу [5, с. 37]).

Положительный эффект применения данного способа заключается в повышении эффективности деятельности консолидируемых ОС благодаря обеспечению автоматического воздействия на объекты управления, независимо от условия тождественности программных кодов команд во взаимодействующих ОС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования проблемы создания единой информационно-управляющей среды для консолидируемых организационных систем на основе баз знаний разработан метод управления их деятельностью, предусматривающий автоматический выполняемые действия по оценке показателей эффективности деятельности и управлению с учетом выполненной оценки. Разработаны предложения:

— по системе показателей, позволяющих динамически оценивать степень эффективности деятельности по уровням иерархии управления консолидируемых организационных систем;

— по обеспечению интероперабельности информационных систем на основе автоматического преобразования исходных данных о команде управления, сформированных в одной организационной системе, в данные о функции этой команды и возможности обратного преобразования в другой организационной системе.

Полученные результаты находятся в полном соответствии со стратегией развития информационного общества в РФ. Практическая значимость создания единой информационно-управляющей среды на основе баз знаний заключается в сокращении времени на принятие и исполнение решений по управлению деятельностью консолидируемых организационных систем, решающих общие задачи на постоянной основе и задачи, обусловленные оперативной обстановкой, в том числе, чрезвычайными обстоятельствами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Земцов С., Баранова В., Панкратов А., Куценко Е. Потенциальные высокотехнологические кластеры в российских регионах: от текущей политики к новым точкам роста // Форсайт. — 2016. — Т. 10, № 3. — С. 34–52. — URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26718339> (дата обращения: 28.03.2017).
2. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» / Официальный интернет-портал правовой информации. Оpubл. 10 мая 2017 года, № 0001201705100002.
3. Зацаринный А.А., Шабанов А.П. Технология информационной поддержки деятельности организационных систем на основе ситуационных центров — М.: ТОРЭС ПРЕСС, 2015. — 232 с. — URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=26346357> (дата обращения 24.05.2017).
4. Проскурина О.Н. Информационная совместимость — обязательное условие реализации концепции «сетевых войн» // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. — 2011. — № 70. — С. 45–51. — URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17060799> (дата обращения 24.05.2017).
5. Шабанов А.П. Инновации: от устройств обмена информацией до интегрированных систем управления. Ч. 1. Устройства обмена информацией // Системы управления, связи и безопасности. — 2016. — № 2. — С. 1–43.
6. Шабанов А.П. Инновации: от устройств обмена информацией до интегрированных систем управления. Ч. 2. Управление деятельностью организационных систем // Системы управления, связи и безопасности. — 2016. — № 3. — С. 179–226.
7. Шабанов А.П. Инновации: от устройств обмена информацией до интегрированных систем управления. Ч. 3. Интегрированные системы управления робототехническими объектами // Системы управления, связи и безопасности. — № 4. — С. 214–260.
8. Брауде-Золотарев М., Гребнев Г., Ермаков Р. и др. Интероперабельность информационных систем. — М.: INFOFOSS.RU, 2008. — 128 с. — URL: <http://www.ifar.ru/library/book358.pdf> (дата обращения 24.05.2017).
9. Васин В.А., Миндели Л.Э. Пространственные аспекты формирования и развития национальной инновационной системы // Инновации. — 2011. — № 11 (157). — С. 24–34. — URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18017310> (дата обращения 24.05.2017).
10. Зацаринный А.А., Шабанов А.П. Эффективность ситуационных центров и человеческий фактор // Вестник Московского ун-та им. С.Ю. Витте. Сер. 1. Экономика и управление. — 2013. — № 3 (5). — С. 43–53.
11. Зусев Г.Ю. Трансформация условий и инструментов формирования человеческого капитала в информационном обществе: дис. ... канд. экон. наук. — Курск: Юго-Западный гос. ун-т, 2012. — 197 с. — URL: <http://www.disscat.com/content/transformatsiya-uslovii-i-instrumentov-formirovaniya-chelovecheskogo-kapitala-v-informatsion> (дата обращения 24.05.2017).
12. Плотников В.А., Койда С.П. Информационная инфраструктура и ее роль в обеспечении инновационного развития бизнеса // Экономика и управление. — 2014. — № 1. — С. 30–35. — URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=21248160> (дата обращения 24.05.2017).
13. Шабанов А.П. Подход к выбору направления автоматизации деятельности // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. Тр. VI Всерос. науч.-практ. конф. — Новокузнецк, СибГИУ, 2007. — С. 81–85.
14. Шабанов А.П. Подход к оценке производительных ресурсов информационных систем // Бизнес-информатика. — 2009. — № 2 (8). — С. 58–63.
15. Шабанов А.П. Исследование условий стабильности информационных систем // Бизнес-информатика. — 2010. — № 2 (12). — С. 24–36.



16. Мамкин В. Открытые стандарты и совместимость ИС // LAN: Журнал сетевых решений. — 2006. — № 11. — URL: <http://www.osp.ru/lan/2006/11/3675867/> (дата обращения 28.03.2017).
17. Зацаринный А.А., Козлов С.В., Шабанов А.П. Об информационной поддержке деятельности в системах управления критическими технологиями на основе ситуационных центров // Системы управления, связи и безопасности. — 2015. — № 4. — С. 98—113.
18. Кузовлева И.Н., Прокопенкова В.В. Система управления инновационным потенциалом жилищно-строительного кластера // Промышленное и гражданское строительство. — 2015. — № 11. — С. 81—84.
19. Бильчинская С.Г., Сюзьжин И.Н., Чернявский Ю.А., Шабанов А.П. Анализ двухкомпонентной модели системы управления экономическими кластерами региона // Вестник Камчатского гос. техн. ун-та. — 2015. — № 34. — С. 102—107.
20. Шабанов А.П. Инновации в консолидируемых организационных системах: технологическая совместимость систем управления // Системы управления, связи и безопасности. — 2017. — № 1. — С. 132—159.
21. Костенко О.В. Кластер как объект управления и социально-экономическая система // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. — 2015. — № 6 (49). — С. 75—80.
22. Андреева Е.Ю. Структура и роль единой информационно-логистической базы мезологистического кластера на региональном рынке // Вестник Ростовского гос. эконом. ун-та. — 2016. — № 1 (53). — С. 11—17.
23. Пат. 2532723 РФ. Способ поддержки деятельности организационной системы / А.А. Зацаринный, А.П. Сучков, А.П. Шабанов // Бюл. — 2014. — № 31. — С. 1—84.
24. Фоменко Н.М. Информационные технологии в процессе управления знаниями // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Сер. Общественные науки. — 2015. — № 1. — С. 80—85.
25. Архипова О.И. Публичный аудит управления знаниями в процессе выработки, принятия и реализации управленческих решений // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки СКАГС. — 2015. — № 1. — С. 179—186.
26. Абрамов В.В. Управление знаниями в процессе принятия совместных политических решений // Политическая экспертиза: ПОЛИТЭК. — 2015. — Т. 11, № 4. — С. 27—37.
27. Шпара Т.А., Мисинева И.А. Управление созданием новых знаний и их обменом в процессах региональных органов статистики // Управление человеческими ресурсами — основа развития инновационной экономики. — 2014. — № 5. — С. 495—499.
28. Башлыков А.А. Автоматизация процессов управления магистральными нефтепроводами на основе методов функционально-группового управления и динамических баз знаний // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. — 2012. — № 9. — С. 18—27.
29. Фоломеев Ю.Н., Пинчук А.В., Капустин С.И., Илюшина И.Л. Особенности военных организационных систем как объектов управления // Современные тенденции развития науки и технологий. — 2016. — № 1—7. — С. 142—144.
30. Шевалдина Ю.С., Шевалдина Е.И. Организационная система управления качеством медицинской помощи в ГО г. Уфа // Вестник научных конференций. — 2016. — № 1—2 (5). — С. 112—116.
31. Хрипунов Н.В., Раченко Т.А., Альшанская Т.В. Реляционная многоуровневая модель информационного взаимодействия организационных систем в разработке методов и алгоритмов прогнозирования оценок качества // Вестник Поволжского гос. ун-та сервиса. Сер. Экономика. — 2016. — № 3 (45). — С. 137—141.
32. Бринза В.В., Костюхин Ю.Ю., Фадеева И.В. Потенциал методов моделирования организационных систем с матричной структурой и возможности расширения их информационной базы // Экономика в промышленности. — 2016. — № 3. — С. 209—222.
33. Макаров В., Айвазян С., Афанасьев М. и др. Моделирование развития экономики региона и эффективность пространства инноваций // Форсайт. — 2016. — Т. 10, № 3. — С. 76—90.
34. Кэлоф Д., Ричардс Г., Смит Д. Форсайт, конкурентная разведка и бизнес аналитика — инструменты повышения эффективности отраслевых программ // Форсайт. — 2015. — Т. 9, № 1. — С. 68—81.
35. Зацаринный А.А., Шабанов А.П. Системные аспекты эффективности ситуационных центров // Вестник Московского ун-та им. С.Ю. Витте. Сер. 1. Экономика и управление. — 2013. — № 2 (4). С. 110—123.
36. Александров А.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Единая методология анализа риска чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. — 2015. — № 1. — С. 113—131.
37. Кравченко Т.К., Дружаев А.А., Гоменюк К.С. Инновационный характер стратегических решений // Менеджмент и бизнес-администрирование. — 2015. — № 1. — С. 45—58.
38. Меньших В.В., Корчагин А.В. Структурные модели взаимодействия подразделений силовых ведомств при возникновении чрезвычайных ситуаций техногенного характера // Тр. Академии управления МВД России. — 2015. — № 2 (34). — С. 54—58.
39. Рейнгольд Л.А., Волков А.И., Конайгородский А.Н., Пустозеров Е.Ю. Семантическая интероперабельность в решении финансовых задач и способы ее измерения // Прикладная математика. — 2016. — Т. 11, № 4 (64). — С. 115.
40. Здольникова С.В. Организационно-экономический механизм управления инновационным потенциалом интегрированных промышленных структур // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Экономические науки. — 2016. — № 4 (246). — С. 109—122.
41. Волкова М.С. Социальное предпринимательство как институт коллаборации в модели сетевого взаимодействия субъектов хозяйственной деятельности // Актуальные вопросы экономики и управления. — 2016. — Т. 11, № 7. — С. 5—12.
42. Петросян А.Ш. Современное использование сетевой инфраструктуры в системе обработки задач коллаборации ATLAS // Компьютерные исследования и моделирование. — 2015. — Т. 7, № 6. — С. 343—1349.
43. Шабанов А.П. Модель оценки влияния процесса накопления информации на эффективность управления производством // Системы управления и информационные технологии. — 2006. — Т. 25, № 3. — С. 57—61.
44. Шабанов А.П. Метод оценки достаточности мощности однородной организационной структуры // Системы управления и информационные технологии. — 2005. — Т. 20, № 3. — С. 103—106.
45. Шабанов А.П. Метод оценки достаточности мощности для организационной структуры конвейерного типа // Системы управления и информационные технологии. — 2006. — Т. 26, № 4. — С. 97—102.
46. Шабанов А.П. Ось адаптивного управления: «информационная система — организационные структуры массового обслуживания» // Бизнес-информатика. — 2010. — № 3 (13). — С. 19—26.
47. Аракелян М.А., Шабанов А.П. Технологические данные в ИТ-поддержке бизнеса // Директор информационной службы. — 2007. — № 1. — URL: <https://www.osp.ru/cio/2007/01/3923807/> (дата обращения 18.06.2017).
48. Шабанов А.П., Беляков А.Г. Организационные структуры массового обслуживания. — М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2007. — 100 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.В. Кутьбой.

**Зацаринный Александр Алексеевич** — д-р техн. наук, зам. директора, ✉ [azatsarinny@ipiran.ru](mailto:azatsarinny@ipiran.ru),

**Козлов Сергей Витальевич** — канд. техн. наук, зав. отделом, ✉ [sv\\_kozlov@mail.ru](mailto:sv_kozlov@mail.ru),

**Шабанов Александр Петрович** — д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник, ✉ [APShabanov@mail.ru](mailto:APShabanov@mail.ru),

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва.

## КОНКУРЕНТНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

С.В. Гарбук, Р.Н. Бакеев

Рассмотрены проблемы и подходы к оценке качества технологий обработки данных. Дан обзор существующих отечественных и зарубежных конкурентных процедур в области технологий анализа данных и машинного обучения (конкурсов, турниров и т. п.). Предложена методология оценки качества технологий интеллектуальной обработки данных путем сопоставления с качеством работы человека-оператора.

**Ключевые слова:** машинное обучение, технологии анализа данных, интеллектуальные технологии, конкурентная оценка качества.

### ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития информационно-телекоммуникационной инфраструктуры сопровождается резким возрастанием объема информации, поступающей от систем аэрокосмического мониторинга, технических средств обеспечения безопасности (стационарные камеры видеонаблюдения, автомобильные видеорегистраторы и др.), формируемой контрольно-измерительной аппаратурой, медицинским и другим диагностическим оборудованием, накапливаемой в базах данных операторов связи и финансовых организаций, циркулирующей в социальных сетях и др.

По некоторым оценкам [1] объем знаний человечества, накопленный к 2015 г., составлял 4,4 зеттабайт ( $4,4 \times 10^{21}$  байт), причем интенсивность информационного потока, ежемесячно формируемого различного рода сенсорами, в 2017 г., по прогнозам, составит около 11 эксабайт ( $11 \times 10^{18}$  байт) при сохранении экспоненциального роста в обозримом будущем.

Совокупность этих данных, называемая в научно-популярной литературе «большие данные» (Big Data), открывает беспрецедентные возможности по повышению качества решения задач в различных отраслях экономики, управления, а также в сфере обороны и безопасности. Однако в полной мере эти возможности могут быть реализованы лишь при наличии соответствующих технологий обработки данных (ТОД), обеспечивающих реше-

ние конкретных прикладных задач с определенным гарантированным качеством. В случае отсутствия таких гарантий последствия от использования «больших данных» могут иметь скорее негативные, чем позитивные последствия. Примерами могут служить:

- усложнение поиска нужной (релевантной) информации в больших массивах слабоструктурированных и малоинформативных данных;
- избыточное (не оправданное в смысле прикладного эффекта) повышение требований к инфраструктуре передачи и хранения данных;
- завышенные ожидания, связанные с подменой функциональных требований к системе сбора и обработки данных требованиями к ее сенсорной инфраструктуре.

Характерным примером служит внедрение на крупном объекте охраны системы видеонаблюдения, включающей в себя сотни или тысячи видеокамер, информация от которых обрабатывается операторами технических средств охраны. В этом случае удорожание системы безопасности, вызванное увеличением числа видеокамер, не приводит к адекватному возрастанию показателей эффективности функционирования этой системы, хотя это, как правило, подразумевается заказчиком.

На V международном форуме «Умный город будущего» (29—30 ноября 2016 г., г. Москва) было отмечено, что система городского видеонаблюдения Москвы насчитывает 130 тыс. видеокамер (подъездное и дворовое видеонаблюдение, видеонаблюдение в общественных местах, социальных и



прочих объектах, включая торговые, строительные и др.). При этом объем просмотра видеoinформации операторами не превышает 0,25 % (3 млн из 1,2 млрд ч/год). В Лондоне на каждые шесть жителей в 2016 г. приходилось по одной камере видеонаблюдения [1], т. е. всего около 1,5 млн видеокамер. Можно предположить, что при отсутствии соответствующих (обладающих требуемым качеством) средств обработки получаемой информации эффективность функционирования лондонской системы видеонаблюдения также будет невысока.

В качестве еще одного примера, когда отсутствие объективных оценок качества ТОД сдерживает их практическое применение, можно привести ситуацию с автоматизированной обработкой медицинских данных. Сегодня в лечебных и научно-исследовательских медицинских учреждениях накоплены огромные информационные массивы<sup>1</sup>, активно развиваются технологии автоматизированной диагностики различных заболеваний (см., например, [2]). Однако отсутствие понимания, какой квалификацией должен обладать специалист, способный эффективно оценить и использовать решение, предлагаемое технической системой, существенно снижает ценность такой «подсказки» для врача, вплоть до ее полной бесполезности.

## 1. ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В данной работе под качеством технологии обработки данных в соответствии с общепринятым определением [3] будем понимать степень соответствия выделенного набора характеристик объекта (в данном случае ТОД) предъявляемым требованиям.

### 1.1. Конкурентные процедуры в области технологий обработки данных

Оценка соответствия может осуществляться различными способами. К настоящему времени наибольший практический опыт накоплен в рамках проведения различных конкурентных процедур в области технологий анализа данных и машинного обучения (конкурсов, турниров и т. п.), участникам которых предлагается решать формализованные квалификационные задачи, так или иначе связанные с соответствующими прикладными задачами. Организаторами подобных конкурентных процедур, помимо собственно оценки качества технологий, преследуются цели по поиску

научных коллективов, способных проводить исследования инновационного характера в области разработки ТОД, повышению интереса научного сообщества к решению различных задач обработки «больших данных» и т. п.

Одним из первых конкурсов стал KDD-Cup, организованный в 1997 г. сообществом специалистов в области машинного обучения и анализа данных ACM SIGKDD (Special Interest Group on Knowledge Discovery and Data Mining) в рамках конференции «The Third International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining» (г. Ньюпорт-Бич, США, шт. Калифорния). Конкурсной задачей стало предсказание факта пожертвования на благотворительность в целях содействия организации «Paralyzed Veterans of America». В качестве практического применения результатов решения подобной задачи указывалась оптимизация адресной рассылки.

Проведение подобного конкурса стало отправной точкой к широкому распространению соревнований в области технологий анализа данных и машинного обучения. Начатая в 1997 г. серия конкурсов KDD-Cup продолжается, краткая характеристика конкурсных квалификационных задач представлена в табл. 1.

Начиная с 2000-х гг., тематика проведения конкурентных процедур в области ТОД начала активно развиваться. В Национальном институте стандартов и технологий США (National Institute of Standards and Technology, NIST) на системной основе было начато тестирование различных технологий в области анализа данных и машинного обучения. Наибольшую известность в профессиональном сообществе получили проводимые регулярно тесты технологий биометрической идентификации по изображению лица (Face Recognition Vendor Test, FRVT) и отпечаткам пальцев (Fingerprint Vendor Technology Evaluation, FpVTE).

Высокую популярность приобрели конкурентные процедуры, приуроченные к профильным конференциям или организованные отдельными лабораториями и институтами. Зачастую это были разовые события без призовых фондов, проводимые преимущественно из научного интереса (табл. 2). Так, например, серия конкурсов в рамках VCI Competition проводилась вплоть до 2008 г. и была посвящена решению задач, связанных с обработкой данных, получаемых при реализации интерфейса мозг-компьютер.

В рамках ежегодной конференции «European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases», начиная с 2002 г. проводились конкурсы под названием Discovery Challenge. В 2016 г., например, перед участниками этого конкурса ставилась задача

<sup>1</sup> По существующим оценкам объем медицинских данных достигнет к 2020 г. 35 зеттабайт ( $35 \times 10^{21}$  байт) с 44-кратным увеличением с 2009 г.

**Описание квалификационных задач конкурса KDD-Cup**

Год	Краткое описание
2016	Ранжирование научных публикаций по значимости и измерение влияния исследовательских институтов
2014	Отбор заявок на предоставления грантов, заслуживающих высшей оценки
2013 (Track 2)	Определение соответствия анонимных авторов заданной персоне
2013 (Track 1)	Определение принадлежности текста определенному автору
2012 (Track 2)	Прогнозирование скорости маркетингового отклика на рекламные объявления с учетом информации о пользователе
2012 (Track 1)	Прогнозирование предпочтений пользователей китайского микроблога Tencent Weibo (объектами «лайков» могли быть другие пользователи или источники информации)
2011	Прогнозирование музыкальной подборки и оценки музыкальных записей пользователями
2010	Прогнозирование производительности студентов при решении задач
2009	Прогнозирование склонности клиентов к изменению поставщиков, покупке новых продуктов или услуг, покупке дополнительных услуг
2008	Выявления рака груди на основе рентгенографических снимков
2007	Прогнозирование оценки пользователем рейтинга фильма
2006	Обнаружение легочных эмболий на основе рентгенографических снимков
2005	Категоризация поисковых пользователей в сети Интернет
2004	Моделирование гомологии белка
2003	Анализ журналов использования сети
2002	Разработка алгоритмов автоматического извлечения информации из научных статей
2001	Моделирование молекулярной активности. Прогнозирование локализации белка
2000	Анализ переходов по веб-сайтам онлайн-магазинов
1999	Обнаружение вторжений в компьютерную сеть
1998	Разработка маркетинговых моделей для оптимизации прибыли
1997	Прогнозирование пожертвований на благотворительность

**Примеры отдельных конкурсных мероприятий, проводимых с начала 2000-х по 2010 г. и направленных преимущественно на решение некоммерческих задач**

Название	Краткое описание
Feature selection (NIPS 2003)	Задачи конкурса включали в себя: диагностику заболеваний по данным масс-спектрометрии, распознавание рукописных цифр, категорирование текста и поиск новых лекарств
Performance prediction (WCCI 2006)	Участники конкурса соревновались в решении пяти задач классификации: маркетинг, поиск новых лекарств, текстовая классификация, распознавание рукописных цифр и экология
Agnostic learning vs. prior knowledge (NIPS 2006 and IJCNN 2007)	В рамках конкурса предлагались два набора обучающих выборок: обработанные данные, подходящие для готовых пакетов машинного обучения, и необработанные — «чистые» данные, но содержащие информацию о природе и источнике данных. Перед участниками ставились задачи улучшения исходных данных, а также обучения методом «черного ящика»
Learning causal dependencies (WCCI 2008 and NIPS 2008)	Участникам соревнований было необходимо на основе анализа модельных и экспериментальных данных ответить на вопросы: «Что влияет на ваше здоровье?», «Что влияет на экономику?», «Что влияет на климатические изменения?», а также спрогнозировать последствия воздействий
Active Learning Challenge (AISTATS 2010 and WCCI 2010)	Разметка большого объема данных является дорогостоящим мероприятием, но при этом большие объемы неразмеченных данных доступны по низкой цене. Перед участниками конкурса ставилась задача обучения на неразмеченных данных или так называемое активное обучение



предсказания поведения пользователей на основе анализа использования ими банковских карт.

В 2001 г. была создана интернет-площадка INNOCentive, ставшая первым агрегатором конкурсов из разных областей знаний — физики, химии, машинного обучения, анализа данных и др.

Важным этапом в развитии соревнований в области технологий обработки данных стал конкурс Netflix Cup, инициированный в 2009 г. компанией Netflix — американским поставщиком фильмов и сериалов. В целях улучшения своего интернет-сервиса компания организовала конкурс, в рамках которого участникам предлагалось улучшить алгоритм Cinematch. Этот алгоритм прогнозировал оценку, которую поставит пользователь тому или иному фильму по пятибалльной шкале. Участникам предстояло улучшить данный показатель на 10 %. Особенность заключалась в том, что победителю предлагался необычно крупный по тем временам денежный приз в размере \$1 млн. Стало очевидно, что решение задач анализа данных востребовано не только в научной, но и в коммерческой сфере.

В том же 2009 г. была создана первая соревновательная платформа по методам анализа данных — TunedIT. Данная платформа обеспечивала четкую регламентацию правил, онлайн рейтингование участников, поддержку форума для обсуждений проводимых конкурсов. Создание подобной платформы способствовало дальнейшей популяризации конкурсов ТОД, направленных на решение различных прикладных задач.

Однако по-настоящему широкий размах подобные конкурсы получили в 2010 г. с появлением платформы Kaggle, полностью ориентированной на коммерческий сектор. В основу платформы Kaggle был заложен такой принцип работы: потребитель результатов конкурса формулирует прикладную задачу, решение которой подразумевает анализ данных, определяет приз для победителя и сроки, а затем отдельные исследователи или команды исследователей приступают к решению задачи и предлагают свои идеи и разработки (табл. 3).

Первое конкурсное мероприятие, поддержанное платформой, было посвящено разработке алгоритма, прогнозирующего ход голосования на Евровидении.

Большую известность приобрел организованный на платформе Kaggle конкурс с призом в размере \$3 млн. Медицинская компания Heritage Provider Network поставила задачу создания алгоритма, который позволил бы на основе анализа имеющихся медицинских записей найти пациентов, находящихся в группе риска, чтобы компания могла заблаговременно предложить им профилактическое лечение.

Другим успешным приложением платформы стал поиск сотрудников по результатам проведенных конкурсов. Так, например, сеть Facebook несколько раз воспользовалась платформой Kaggle для вступительных испытаний будущих штатных аналитиков компании. В одном из последних соревнований была предложена следующая задача: по заголовку и формулировке вопроса определить теги или ключевые слова для каждого «тикета» в базе данных сервиса Stack Exchange.

В настоящее время Kaggle является лидирующей платформой по проведению конкурсов в области технологий анализа данных. В 2016 г. число зарегистрированных пользователей превысило 536 тыс. из почти 200 стран мира.

Успех Kaggle стимулировал запуск многочисленных проектов по созданию различных платформ проведения конкурсов в области анализа данных и машинного обучения. Большая часть из них в основном повторяет функциональные возможности Kaggle, но ориентированы, например, на национальный сектор.

Таким образом, к настоящему времени сформировался устойчивый спрос на услуги по оценке качества ТОД, предоставляемые в форме проведения конкурсов, направленных на решение различных прикладных задач.

## **1.2. Недостатки существующих подходов к оценке качества технологий обработки данных**

При проведении любой конкурентной процедуры принципиальным моментом является способ определения показателей и критериев качества технологий, предоставляемых участниками. В настоящей статье в качестве примера рассмотрены наиболее популярные конкурсы технологий биометрической идентификации людей по изображению лица: The MegaFace Benchmark, Labeled Faces in the Wild, Face Recognition Vendor Test.

В тестировании The MegaFace Benchmark, проводимом Вашингтонским университетом, используются показатели качества: rank-1 и rank-10 (точности попадания цифрового изображения лица в первые 1 и 10 кандидатов соответственно) в зависимости от числа дистракторов в выборке, в качестве дистракторов могут выступать изображения лиц, которые не содержатся в базе данных, с которой сравниваются фотографии [4]; точность идентификации в смысле критерия rank-N в зависимости от числа дистракторов в выборке; ROC-кривая (кривая ошибок), отображающая соотношение между долей изображений, классифицированных верно (true positive rate, TPR, чувствительность алгоритма классификации) и долей изображений, классифицированных ошибочно (false positive rate, FPR, специфичность алгоритма клас-

сификации), при варьировании порога решающего правила. В свою очередь, в конкурсе Labeled Faces in the Wild (LFW), проводимом Массачусетским технологическим институтом используются два показателя качества: ROC-кривая и показатель средней точности классификации (отношение числа правильных идентификаций к общему числу идентификаций) с учетом стандартной ошиб-

ки среднего [5]. В свою очередь, NIST в конкурсе Face Recognition Vendor Test (FRVT) использует метрики FNIR (false negative identification rate) и FPIR (false positive identification rate) отображающие показатели ложноотрицательной и ложноположительной идентификации при заданном пороге решающего правила, а также различные производные от этих характеристик [6].

Таблица 3

**Примеры интернет-платформ для проведения коммерческих конкурсов ТОД**

Название	Краткое описание
Зарубежные конкурсы и платформы	
Netflix Prize	Netflix — американская компания, поставщик фильмов и сериалов на основе потокового мультимедиа организовал в 2007 г. конкурс с невероятным для того времени бюджетом в \$1 млн
Kaggle	Одна из самых известных платформ по проведению соревнований в области интеллектуального анализа данных. С момента создания было проведено более 100 конкурсов, часть из которых закрытые, часть конкурсов не имеют призового фонда, в некоторых случаях он символический
INNOCentive	Конкурсная площадка, агрегирующая соревнования из самых разных областей, а не только интеллектуального анализа данных. Представлены задачи из области физики, химии и биологии
Challenge.gov	Платформа по проведению конкурсов в области интеллектуального анализа данных, организованная в интересах государственных организаций США. На платформе публикуются задачи от Министерства здравоохранения и социальных служб США (Department of HHS), агентства IARPA и др.
NIST	Национальный институт стандартов и технологий США проводит тестирование среди разработчиков в области интеллектуального анализа данных, например, в области биометрической идентификации
Challenges in Machine Learning	Платформа по проведению соревнований в области интеллектуального анализа данных, среди партнеров выступают такие организации, как Microsoft, Google, NEC и Kaggle
The MegaFace Benchmark	Платформа по проведению соревнований в биометрической идентификации по изображению лиц, организованная Вашингтонским университетом (University of Washington)
TunedIT	Во много схожая с предыдущей платформа, ориентированная на академическую среду. Последние конкурсы были опубликованы в 2015 г.
Labeled Faces in the Wild	Платформа по проведению соревнований в биометрической идентификации по изображению лица, организованная Массачусетским технологическим институтом (Massachusetts Institute of Technology)
Отечественные конкурсы и платформы	
Олимпиада Wikimart	Один из первых конкурсов, организованных в России в 2013 г. Конкурс предполагает исследование пользовательского поведения, связанного с непосредственной деятельностью сайта — научиться предсказывать наличие определенного действия пользователя в сессии
Sberbank Data Science	В 2016 году ПАО «Сбербанк» провел один из самых масштабных конкурсов в области анализа данных: более 700 чел. отправили свои решения, более 3000 зарегистрированных участников работали с данными, а также сгенерировали более 30 Гб данных. Конкурс предполагал выявление бизнес-задачи банка на основе анализа данных, представленных организаторами
DataRing.ru	Относительно молодая российская платформа по проведению конкурсов интеллектуальных технологий, проводящая конкурсы, в основном, для решения задач Avito
Фонд перспективных исследований	С 2014 г. проводится серия конкурсов в области интеллектуального анализа и обработки данных, одна из отличительных особенностей — заключение договора на выполнение работы по заказу Фонда вместо денежного приза
Технологические конкурсы АСИ, РВК и Сколково в рамках Национальной технологической инициативы	Конкурс по созданию технологий беспилотного управления автомобилем в сложных условиях «Зимняя трасса»



Несмотря на общую методологическую схожесть оценки качества технологий идентификации, в основе каждого из проводимых конкурсов лежат разные контрольные выборки изображений, которые в силу своей природы делают несопоставимыми результаты сравнения алгоритмов.

Так, например, в конкурсе Labeled Faces in the Wild (LFW) используются полученные в условиях так называемой «кооперационной» съемки изображения лиц актеров и знаменитостей, что дает дополнительные возможности для обучения алгоритмов. В конкурсе Face Recognition Vendor Test (FRVT) дополнительно используются изображения, полученные с помощью веб-камер, что существенно отличает их по сложности от изображений конкурса LFW. Контрольная выборка конкурса The MegaFace Benchmark представляет собой фотографии людей, снятых в «естественных» условиях, т. е. в случайной позе, со свободным выражением лица, освещением и экспозицией, более того, выборка содержит различные мешающие факторы, затрудняющие процесс распознавания [4].

Подобная разница в природе тестовых данных не позволяет сопоставить результаты работы алгоритмов, полученных на разных тестовых площадках. Несопоставимыми оказываются не только абсолютные значения вероятностей ошибок распознавания (ошибки первого и второго рода и другие производные характеристики), но и порядок ранжирования технологий, который для разных выборок оказывается различным.

Таким образом, выполненный анализ показывает, что известные на сегодня конкурентные процедуры, направленные на оценку технологий анализа данных и машинного обучения, проводятся на специально подготовленных выборках исходных данных, отражающих специфику решаемых прикладных или научных задач. В некоторых случаях устанавливается критериальный порог для функциональных характеристик ТОД, преодоление которого дает право участникам претендовать на победу в конкурсе. В других случаях такой порог не устанавливается, и победителем считается технология, продемонстрировавшая наилучшие функциональные характеристики.

Так или иначе, недостаток проводимых в настоящее время конкурентных процедур заключается в том, что результаты разных конкурсов, посвященных решению одной и той же задачи обработки данных, несопоставимы между собой. Кроме того, оценки качества ТОД, полученные в разных конкурсах, не могут быть отображены на некую абсолютную шкалу значений, позволяющих делать обоснованные выводы о возможности применения технологий-победителей для решения конкретных прикладных задач.

Преодоление этого недостатка достигается стандартизацией требований к контрольным выборкам на основе всестороннего анализа условий прикладных задач, на решение которых направлено проведение конкурсов (или иных процедур оценки качества ТОД). Данный подход был отработан в ходе проведения Фондом перспективных исследований (г. Москва) серии конкурсов в области технологий распознавания спонтанной русской речи (2014 г.), лиц людей на фотографиях, полученных в сложных условиях (2015 г.), и дешифрирования аэрокосмических снимков в целях выявления определенных сооружений и техники (2016—2017 гг.). В ходе проведения этих конкурсов были подготовлены контрольные выборки исходных данных, эквивалентные по своей сложности практически значимым задачам обработки данных. Подобные наборы исходных данных могут быть использованы в качестве стандартных тестовых выборок. Тем не менее, нерешенным до настоящего времени остается вопрос интерпретируемости результатов оценки качества ТОД, т. е. их отображения на абсолютную шкалу значений, указывающих на возможность практического использования технологии.

## 2. ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА РЕШЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Необходимо учитывать, что в подавляющем большинстве случаев обработка данных важна не сама по себе, а как элемент системы управления на основе принятия решений в задачах:

- автоматического управления транспортным средством — управления направлением и скоростью движения;
- медицинской диагностики — постановки диагноза и выбора способа лечения;
- безопасности — реагирования на выявленные угрозы безопасности и др.

На рис. 1 представлена обобщенная схема системы управления, содержащей различного рода сенсоры, средства предварительной обработки информации, тематической обработки данных, принятия решения об управлении и собственно средства управления объектом. Отметим, что предварительная обработка информации осуществляется в целях устранения фактора субъективности, сопутствующего конкретным процедурам сбора первичной информации, и преобразования этой информации в данные, представленные в формальном виде, пригодном для передачи, интерпретации или обработки людьми или компьютерами [4]. Темати-

ческая обработка данных осуществляется с учетом особенностей решаемых задач управления.

Требования к качеству ТОД должны, строго говоря, учитывать особенности подсистемы реагирования, объекта управления, состояние окружающей среды и другие факторы. Многообразие этих факторов делает практически невозможным стандартизацию требований к качеству ТОД. Естественный выход из сложившейся ситуации состоит в попытке декомпозиции модели системы управления с разделением требований, предъявляемых к подсистемам обработки информации, принятия решений и собственно управления.

Среди задач обработки данных выделим класс так называемых «интеллектуальных» задач, характеризующихся следующими особенностями:

- интеллектуальные задачи направлены на обработку информации антропоморфной модальности, т. е. информации, модальность которой характерна для органов чувств человека (зрительная, акустическая, тактильная и др.);

- интеллектуальные задачи с высоким качеством могут быть решены человеком благодаря наличию у него эволюционно сформировавшихся интеллектуальных способностей, позволяющих, например, отличать существенные признаки наблюдаемых объектов от несущественных; задействовать интуицию при решении задач, отличающихся высокой вариабельностью; учитывать окружающий контекст при анализе объектов; воспринимать индивидуальное как типичное, т. е. осуществлять категоризацию объектов; оперировать с неоднозначностями и др. [7];

- способности разных людей при решении различных интеллектуальных задач, как правило, неодинаковы, но при этом, исходя из рациональных соображений, могут быть выделены определенные (квалифицированные) люди, способности которых при решении конкретных задач оказываются практически приемлемыми (референтными);

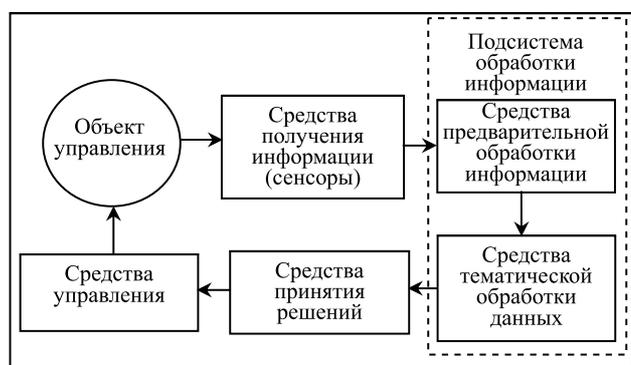


Рис. 1. Подсистема обработки информации в составе типовой системы управления



Рис. 2. Подсистема обработки информации, поступающей от антропоморфных и искусственных сенсоров

- интеллектуальные задачи имеют прикладное значение в различных отраслях экономики, в области обороны и безопасности, но не охватывают творческие способности человека (умение писать стихи и сочинять музыку, например), его морально-этические устои и некоторые другие способности, также тесно связанные с понятием человеческого интеллекта.

Схема системы управления, в которой используются как антропоморфные, так и искусственные (не совпадающие по модальности с органами чувств человека) сенсоры, представлена на рис. 2.

### 2.1. Критерий качества технологий интеллектуальной обработки данных

Технологии обработки данных, направленные на решение интеллектуальных задач, могут быть названы технологиями интеллектуальной обработки данных (ТИОД). Тогда для ТИОД критерий качества может быть сформулирован следующим образом: существенные функциональные возможности технологии при решении определенной интеллектуальной задачи на представительной выборке исходных данных не должны уступать соответствующим возможностям квалифицированного человека-оператора. Показателем качества ТИОД служит величина, характеризующая отклонение функциональных возможностей ТИОД от соответствующих возможностей квалифицированного оператора.

Существование такого квалифицированного оператора следует из приведенного выше опреде-



ления интеллектуальной задачи, а способ его выбора определяется спецификой задачи. Так, например, в задачах автоматического управления наземным транспортным средством в качестве квалифицированного оператора может быть выбран профессиональный водитель с определенными стажем работы и уровнем аварийности; т. е. выбор квалифицированного оператора осуществляется с помощью валидационных критериев [3, 8].

Отметим, что в некоторых случаях достижение оператором квалифицированного уровня сопровождается также соответствующими морфологическими изменениями головного мозга. Так, например, было показано [9], что гиппокам у профессиональных таксистов расширяется по мере того, как они учатся ориентироваться на улицах и в достопримечательностях города. Исследование нейроморфологических критериев отбора квалифицированных операторов выходит за рамки настоящей статьи.

Удовлетворяющие приведенному выше критерию качества ТИОД обеспечат решение проблемы создания «искусственных интеллектуальных операторов», способных заменить человека при решении интеллектуальных, но рутинных прикладных задач. О масштабах этой проблемы позволяют судить такие аналитические оценки: по данным исследования консалтинговой компании McKinsey [10], к функциям, которые можно автоматизировать, имеют отношение 1,1 млрд рабочих мест с полной занятостью в мире, из них более 100 млн — в США и Европе.

Некоторые практически значимые интеллектуальные задачи приведены в табл. 4.

## 2.2. Оценка качества технологий интеллектуальной обработки данных

Сформулированный критерий качества ТИОД позволяет реализовать сценарий создания интеллектуальных технологий, основанный на конкурентном отборе исполнителей (рис. 3).

По оси ординат на диаграмме отложены значения обобщенного показателя, характеризующего функциональные возможности средства решения интеллектуальной задачи — ТИОД или человека-оператора. Значение  $F_1$  соответствует текущим возможностям ТИОД, а возможности человека показаны диапазоном значений, соответствующих заштрихованной области, в котором выделено некоторое референтное значение  $F_3$ , демонстрируемое квалифицированным оператором. В этом случае условиями конкурса задается определенный порог  $F_2$ , выбираемый таким образом, чтобы преодоление этого порога в рамках конкурса с достаточной степенью уверенности гарантировало дости-

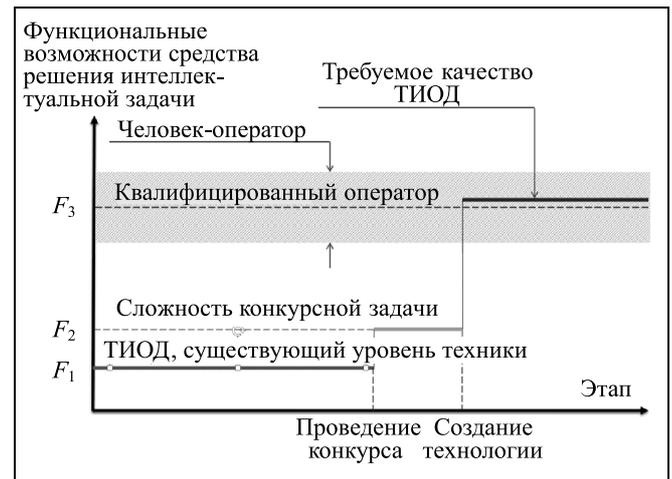


Рис. 3. Последовательность решения задач по созданию интеллектуальных технологий с качеством, не уступающим качеству работы человека-оператора

жение коллективом-победителем значения  $F_3$  при условии последующего финансирования соответствующего проекта. Если участников конкурса, преодолевших порог  $F_2$ , оказывается несколько, то победителем считается коллектив с максимальным значением функциональных возможностей представленной технологии. Если ни одного — конкурс считается несостоявшимся.

Порог  $F_2$  соответствует конкурсной (квалификационной) задаче, которая должна соответствовать двум противоречивым критериям:

- быть достаточно простой и универсальной, чтобы привлечь к конкурсу максимальное число коллективов; это требование предполагает, что от участников не требуется обладание каким-либо специализированным оборудованием, трудоемкость различных вспомогательных операций минимальна, а научно-технический задел, полученный участником в ходе подготовки к конкурсу, может быть использован даже в том случае, если участник не вошел в число призеров; выполнение этого условия позволяет рассчитывать на достаточно представительный круг участников, способных изыскать собственные ресурсы на подготовку к конкурсу;

- быть достаточно конкретной, чтобы решение квалификационной задачи с высокой уверенностью свидетельствовало о способности коллектива-победителя решить в дальнейшем прикладную задачу с учетом установленных потребителем временных и ресурсных ограничений; на нетривиальность этого критерия для интеллектуальных задач метафорично указано в классической работе [11]: «...залезание на дерево не эквивалентно началу полета на Луну».

## Интеллектуальные задачи обработки данных

Прикладная область	Интеллектуальные задачи
Промышленность	Автоматический контроль ручных операций сборочного производства. Преобразование конструкторско-технологической документации на создаваемые изделия, представленной в различных форматах в унифицированный цифровой формат. Моделирование поведения персонала, участвующего в эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте создаваемых изделий. Обработка изображений от аппаратуры неразрушающего контроля в целях выявления дефектов и отклонений во внутренней структуре изделий
Транспорт	Беспилотное управление автомобилем в условиях реальной городской транспортной инфраструктуры с гарантированным уровнем аварийности, не превышающим уровень аварийности, соответствующий человеку-водителю заданной квалификации. Выявление автомобилей, управляемых водителями с «агрессивным стилем вождения». Заблаговременное обнаружение пешеходов, намеренных нарушить правила дорожного движения, для информирования водителя об опасности. Оценка психоэмоционального состояния водителей для предотвращения аварий, связанных с управлением автомобилем водителем, находящимся в состоянии аффекта, алкогольного или наркотического опьянения и пр. Выявление автомобилей, нарушающих правила парковки
ЖКХ, социальная сфера	Сравнение кадастровой карты со снимками местности, полученными с беспилотного летательного аппарата или космического аппарата дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в целях выявления несоответствий в разметке зданий, сооружений, объектов транспортной инфраструктуры. Выявление по снимкам ДЗЗ районов проведения несанкционированных земельных работ, вырубки деревьев, стихийных свалок отходов и др. Контроль за правильностью использования наружной рекламы и вывесок с помощью видеoinформации, получаемой с установленных на автомобилях видеорегистраторов. Поддержание осмысленного диалога с абонентами центров обработки вызовов (call-центров). Определение психоэмоционального состояния и выявление абонентов call-центров, сообщающих заведомо ложные сведения
Медицина	Обнаружение патологических изменений в теле человека на основе автоматизированного дешифрирования снимков, полученных с помощью рентгенологического, радиоизотопного, оптического, ультразвукового и иного диагностического оборудования, с учетом доступных дополнительных сведений о пациенте, с гарантированным качеством, не уступающим специалисту-диагносту заданной квалификации. Преобразование медицинских документов, представленных в различных форматах, в унифицированный цифровой формат
Право	Анализ нормативных документов на непротиворечивость, полноту и безызыбочность
Банки	Выявление людей с преступными намерениями (на примере недобросовестных заемщиков в кредитных организациях) по видеоизображениям и акустическим сигналам
Культура, образование	Распознавание рукописных текстов, таблиц, вербальное описание рисунков в исторических документах
Оборона	Распознавание сложной (спонтанной, сбивчивой) речи в условиях действия помех. Перевод текстов с иностранного языка на русский с возможностью автоматического обучения систем перевода на новые языки. Автоматическое обнаружение, классификация и распознавание инженерных сооружений, вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) на снимках ДЗЗ. Распознавание голосовых команд управления ВВСТ. Автоматическое (беспилотное) управление движением наземной военной техники в сложных условиях. Информационная поддержка технического обслуживания и ремонта ВВСТ на основе технологий дополненной реальности
Безопасность	Распознавание лиц людей в сложных условиях с помощью одиночных снимков с неопределенным ракурсом; по объемному изображению головы, пропорциям тела и особенностям осанки; по походке и характерным жестам с помощью видеоизображений. Выявление с помощью видеоизображений людей с противоправными намерениями и поступками (физическое насилие; погром и порча имущества; хищение и др.). Выявление опасных предметов (вложений) с помощью теневых изображений, формируемых досмотровой аппаратурой. Аннотирование изображений, полученных от различных источников, для последующего поиска изображений, содержащих заданные объекты и их сочетания. Автоматическое распознавание речевых сигналов с выделением текста, просодических характеристик и фоновых звуков без потери информативности и с сохранением юридической значимости результатов распознавания. Интеллектуальные системы биометрической идентификации, учитывающие мимику лица, особенности голоса, поведенческие реакции и когнитивную модель человека



Принципиальный момент заключается в том, что тестирование существующих ТИОД (определение значения  $F_1$ ), оценка возможностей человека-оператора ( $F_3$ ) и сравнение характеристик представляемых на конкурс технологий с порогом  $F_2$  должны осуществляться на одной и той же тестовой выборке исходных данных. Эта выборка должна иметь достаточный объем, чтобы охватывать представительную совокупность комбинаций исходных данных, встречающихся с учетом специфики решаемой прикладной задачи.

Таким образом, подготовка к проведению конкурса интеллектуальных технологий предполагает формализацию квалификационной (конкурсной) задачи, а именно: формирование представительной тестовой выборки исходных данных и определение критериальных порогов  $F_2$  и  $F_3$ .

Подобный подход обладает рядом преимуществ. В п. 1.2 настоящей статьи были рассмотрены различные способы оценки качества решения задачи идентификации личности по изображению лица, применяемые в популярных зарубежных конкурсах. Существенный недостаток этих способов состоит в том, что они дают лишь относительную оценку качества работы алгоритмов участников конкурсов. Например, при таком сравнении может оказаться, что лучшее решение, победившее в конкурсе, настолько сильно уступает возможностям человека-оператора, что реализация подобной функциональной возможности автоматическими алгоритмами становится нецелесообразной. В то же время, в случае, когда задано референтное значение  $F_3$ , критериальный порог  $F_2$ , а сравнение характеристик представляемых на конкурс технологий с порогом  $F_2$  осуществляется на одной и той же тестовой выборке исходных данных, пропуск подобной ситуации исключен.

В соответствии с приведенным выше определением, показателем качества ТИОД может быть выбрана величина  $Q_T$ , характеризующая отклонение функциональных возможностей технологии от возможностей квалифицированного оператора:

$$Q_T = F_T - F_3, \quad (1)$$

где  $F_T$  — значение, соответствующее функциональным возможностям оцениваемой технологии.

Тогда критерием решения интеллектуальной задачи является выполнение неравенства  $Q_T \geq 0$ , а критерием возможности победы ТИОД в конкурсе —  $Q_T \geq F_2 - F_3$ .

Конкретное содержание показателя функциональных возможностей  $F$  определяется типом решаемой интеллектуальной задачи. В частности,

для задач распознавания функциональные возможности характеризуются частотой ошибок первого (ложное срабатывание, False Positive) и второго рода (пропуск события, False Negative). Если число ошибок первого и второго рода на контрольной выборке обозначить как  $FP$  и  $FN$  соответственно, то для характеристики функциональных возможностей средства решения интеллектуальной задачи могут применяться показатели точности  $P$  (precision), полноты  $R$  (recall) и избирательности  $S$  (specificity) распознавания:

$$P = \frac{TP}{TP + FP}, \quad R = \frac{TP}{TP + FN}, \quad S = \frac{TN}{TN + FP}, \quad (2)$$

где  $TP$  — число правильно распознанных объектов (True Positive),  $TN$  — число правильных решений о несоответствии объекта целевому классу (True Negative).

Точность распознавания характеризует долю объектов, правильно отнесенных к целевому классу распознавания, среди общего числа объектов, отнесенных к этому классу. Полнота — долю объектов, правильно отнесенных к классу распознавания, среди общего числа объектов, принадлежащих этому классу. Избирательность — долю правильных решений о несоответствии объекта целевому классу среди общего числа объектов, не принадлежащих этому классу. Оценки вероятностей ошибок первого ( $P_1$ ) и второго ( $P_2$ ) рода связаны с полнотой и точностью распознавания выражениями:

$$P_1 = 1 - P \text{ и } P_2 = 1 - R.$$

Отметим, что показатели  $P$  и  $P_1$  вступают в противоречие с показателями  $R$  и  $P_2$ . Это означает, что для определенного метода распознавания на заданной выборке исходных данных показатели точности (ложных срабатываний) не могут быть улучшены одновременно с показателями полноты (пропусков события). Таким образом, задача сопоставления функциональных возможностей ТИОД является в общем случае многокритериальной с противоречивыми критериями. Для снижения размерности задачи оценивания пользуются интегральными показателями функциональных возможностей, представляющих собой свертку частных показателей.

Подобный интегральный показатель может быть рассчитан, например, для ТИОД, в которых каждая операция распознавания сопровождается вычислением некоторого неотрицательного показателя ранжирования  $r$ , характеризующего меру уверенности системы распознавания в принятом решении. В этом случае все результаты, получен-

ные при распознавании  $N$  элементов контрольной выборки, могут быть отсортированы по мере убывания показателя  $r$ . Для первых  $k$ ,  $k \in [1, N]$ , значений упорядоченного множества решений могут быть построены значения точности  $P(k)$  и полноты  $R(k)$ , отображаемые в виде так называемой кривой точности-полноты. В качестве показателя функциональных возможностей  $F$  в этом случае может быть выбрана площадь под кривой точности-полноты (Mean Average Precision, MAP).

На рис. 4 показана кривая точности-полноты, полученная для одного из участников конкурса в области технологий дешифрирования аэрокосмических изображений, проведенного Фондом перспективных исследований в 2016—2017 гг. Участникам конкурса предлагалось на предоставленных снимках отыскать максимальное число объектов определенного класса (самолет, корабль, автомобиль, скрытое сооружение). При такой постановке задачи алгоритм принимает решения только о принадлежности объекта к классу (эти решения могут быть как истинными, так и ложными), а  $TN = 0$  по определению.

Каждая точка на представленной кривой соответствует значению точности для заданного уровня полноты. Например, значение точности 0,8 на уровне полноты 0,2 означает, что при правильном отнесении к целевому классу 20 % от общего числа объектов, принадлежащих этому классу, алгоритм допускает 20 % ложных срабатываний. В приведенном примере значение интегрального показателя функциональных возможностей  $F = 0,58309$ .

Другим примером интеллектуальной задачи, в которой принят интегральный показатель функциональных возможностей ТИОД, служит задача биометрической идентификации по изображению

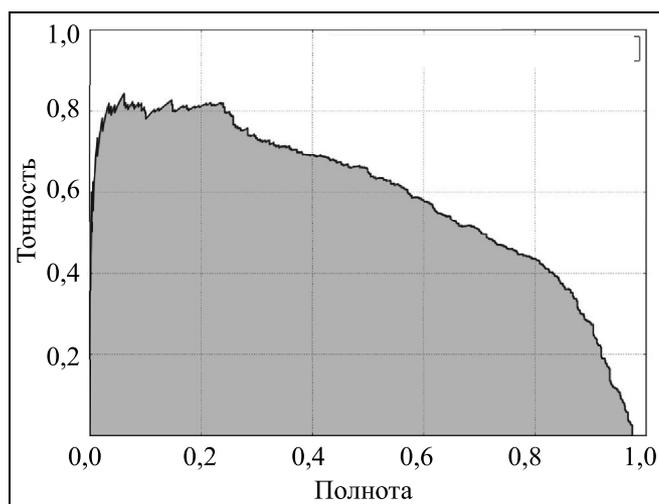


Рис. 4. Типичный вид кривой точности-полноты: — — площадь под кривой (MAP): 0,58309

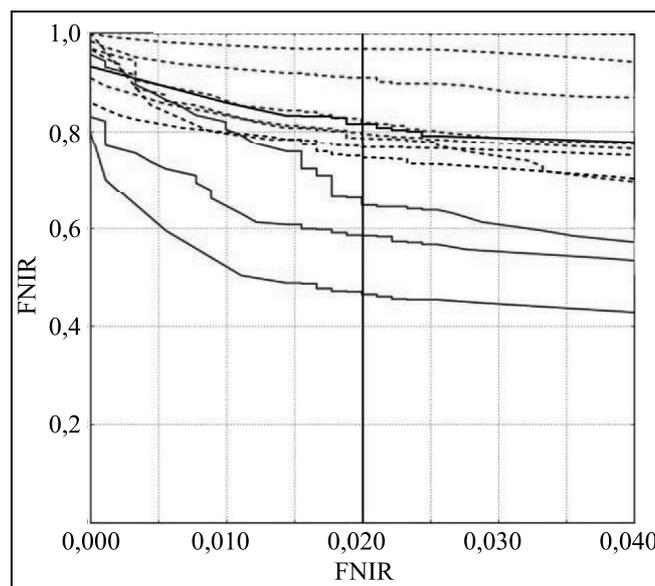


Рис. 5. Зависимость вероятности ошибок первого рода от вероятности ошибок второго рода в задаче идентификации лиц

лица. При этом наиболее практически значимую область охватывает сценарий сравнения «одного со многими». Алгоритмы подобного типа могут быть применены в большом числе практических приложений, начиная от поиска похожих изображений в базе данных и контроля пропускного режима и заканчивая автоматической маркировкой фотографий в социальных сетях.

При работе алгоритма идентификации каждое сравнение сопровождается вычислением неотрицательного показателя уверенности  $r$ , причем решение о совпадении изображений принимается в том случае, если этот показатель превышает заданный порог  $r > r_0$ . Изменяя значение порога  $r_0$ , можно построить зависимость вероятности ошибки второго рода  $P_2$  (для биометрических алгоритмов именуемой также FNIR, False Negative Identification Rate) от вероятности ошибки первого рода  $P_1$  (FPIR, False Positive Identification Rate).

На рис. 5 показано семейство зависимостей вероятности пропуска события ( $P_2$ ) от вероятности ложного срабатывания ( $P_1$ ), полученных для различных технологий идентификации лиц, участвовавших в конкурсе Фонда перспективных исследований в 2015—2016 гг. В конкурсе в качестве интегрального показателя функциональных возможностей алгоритмов  $F$  выбиралось значение вероятности ошибки второго рода ( $P_2$ , FNIR) при вероятности ошибок первого рода ( $P_1$ , FPIR), равной 0,02. Видно, что значение интегрального показателя  $F$  для лучшего решения составляет примерно 0,46.



Отметим, что как в первом, так и во втором из приведенных примеров для определения интегрального показателя функциональных возможностей  $F$  применялся коэффициент ранжирования (уверенности)  $r$ , представляющий собой неотрицательное вещественное число. Вычисление этого коэффициента в большинстве случаев не представляет сложности для технических средств решения интеллектуальных задач, а для человека-оператора может оказаться проблематичным. Данное обстоятельство затрудняет вычисление порогового значения  $F_3$  (см. рис. 3) и соответственно применение показателя  $Q_T$  (1) для оценки качества ТИОД.

### 2.3. Сравнение качества работы технологий интеллектуальной обработки данных с качеством работы человека-оператора

Без потери общности рассмотрим возможность определения коэффициента ранжирования  $r$  для квалифицированного человека-оператора на примере задачи двухклассовой классификации. Пусть  $X$  — множество описаний объектов,  $Y$  — конечное множество номеров (меток) классов (в рассматриваемом случае мощность множества  $|X| = m$ , а  $|Y| = 2$ ). Пусть задана размеченная контрольная выборка  $X^m = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)\}$ , для которой заведомо известны принадлежность каждого из объектов к классу. Пусть задан алгоритм  $\alpha: X \rightarrow Y$ , реализуемый технической системой обработки данных, а также отобраны  $k$  операторов, осуществляющих классификацию ( $X \rightarrow Y$ ). Необходимо сравнить качество работы операторов и технической системы обработки данных при решении задачи классификации объектов  $x \in X^m$ , при этом считается, что принадлежности  $x \in X^m$  к классам  $Y$  известны только организаторам тестирования.

При решении задачи классификации операторами для каждого из элементов  $x \in X^m$  будет получена серия из  $k$  ответов, для которой могут быть рассчитаны показатели точности  $P$ , полноты  $R$  и избирательности  $S$  с учетом апостериорно определяемых значений  $FP$ ,  $FN$ ,  $TP$  и  $TN$  (2). Отметим, что  $FP + FN + TP + TN = k$ .

Будем считать, что при принятии решения каждым оператором по каждому элементу выборки  $x \in X^m$  указывается натуральное число  $\tau_i$ ,  $i = 1, \dots, k$ , характеризующее значение меры уверенности оператора в принимаемом решении. Пусть для определенности верной является нулевая гипотеза. Тогда значения сумм мер уверенности для операторов, принявших верные и неверные решения, примут соответственно значения:

$\theta_0 = \sum_i^{TP} \tau_i$  — для всех операторов, принявших нулевую гипотезу;

$\theta_1 = \sum_i^{FN} \tau_i$  — для всех операторов, принявших альтернативную гипотезу.

В этом случае под мерой уверенности квалифицированного человека-оператора в принятии решения для элемента контрольной выборки  $x \in X^m$  будем понимать величину:

$$r^j = \left| \frac{\theta_0 - \theta_1}{\theta_0 + \theta_1} \right|, \quad j = 1, \dots, m. \quad (3)$$

Полученная таким образом мера уверенности может быть использована для ранжирования ответов экспертов и вычисления значения интегрального показателя функциональных возможностей  $F_3$  для квалифицированного человека-оператора.

В случае участия в решении задачи нескольких операторов расхождения в их ответах неизбежны. Так, например, о неидеальности человека-оператора при решении подобного рода задач свидетельствует следующий факт: в США ежегодно происходит до 75 тыс. полицейских опознаний, и в 20—25 % случаев свидетели указывают на людей, о невиновности которых полиции известно [12]. При этом ключевую роль играет величина расхождения в ответах. Ответ группы операторов может считаться достаточно надежным только при условии согласованности ответов отдельных операторов. В условиях независимости операторов друг от друга решающее значение в получении согласованной оценки имеет число операторов  $k$ .

Для получения критерия достаточности числа операторов  $k$  воспользуемся коэффициентом конкордации Кендалла [13]. Согласно принятой ранее постановке задачи, каждому элементу выборки  $x \in X^m$  оператором ставится в соответствие метка класса  $y \in Y$ , тогда ответ  $i$ -го квалифицированного человека-оператора для  $j$ -го объекта контрольной выборки обозначим  $y_{ij}$ ,  $i = 1, \dots, k$ ,  $j = 1, \dots, m$ . Сумма ответов по каждому объекту

$$Y_j = \sum_{i=1}^k y_{ij}$$

В этом случае среднее значение ответов

$$\bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Y_j$$

а сумма квадратичных отклонений

$$S = \sum_{j=1}^m (Y_j - \bar{Y})^2.$$

Тогда коэффициент конкордации может быть вычислен по формуле:

$$W = \frac{12S}{k^2(m^3 - m)}. \quad (4)$$

Для определения достаточного числа операторов  $k$  воспользуемся критерием согласия Пирсона. Так как статистика  $k(m-1)W$  (для  $m > 7$ ) имеет приближенно  $\chi^2$ -распределение с  $m-1$  степенями свободы, то в случае  $k(m-1)W > \chi_{\alpha, m-1}^2$  можно сделать вывод о том, что ответы операторов согласованы при заданном уровне значимости  $\alpha$  [14].

Необходимо отметить, что формула (4) верна только в случае отсутствия идентичных ответов, что очень редко встречается на практике, так для больших  $m$  наличие повторений в ответах операторов неизбежно. В подобной ситуации применяется так называемый поправочный коэффициент, который для  $j$ -го объекта

$$T_j = \sum_{\gamma=1}^l (t_{\gamma}^3 - t_{\gamma}), \quad (5)$$

где  $l$  — число «случаев» неразличимости ответов, а  $t_{\gamma}$  — число неразличимых ответов одного «случая». Необходимо отметить, что поправочный коэффициент  $T_j$  характеризует дифференцирующие способности тестовой выборки, т. е. способность выборки оценивать степень согласованности экспертов. При отсутствии идентичных ответов коэффициент  $T_j$  становится равен нулю.

С учетом поправки (5) коэффициент конкордации вычисляется по формуле [15]:

$$W = \frac{12S}{k^2(m^3 - m) - m \sum_{j=1}^m T_j}.$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен анализ и выявлены недостатки проводимых в настоящее время конкурсов в области обработки данных. Показана возможность оценки качества технологий интеллектуальной обработки данных на основе сопоставления функциональных возможностей технологии и квалифицированного человека-оператора при решении прикладной задачи, формализованной на конкретной тестовой выборке. Предложены подходы к обоснованию численности экспертного сообщества, необходимого для оценки функциональных возможностей квалифицированного оператора, а также к преобразованию результатов экспертных оценок к мет-

рическому представлению, принятому для методов обработки данных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Emerging Science and Technology Trends: 2016—2045 A Synthesis of Leading Forecasts April 2016* / Office of the Deputy Assistant Secretary of the Army (Research & Technology). — URL: [http://www.defenseinnovationmarketplace.mil/resources/2016\\_SciTechReport\\_16June2016.pdf](http://www.defenseinnovationmarketplace.mil/resources/2016_SciTechReport_16June2016.pdf) (дата обращения: 28.06.2017).
2. *IEEE Transactions on Medical Imaging*. — 2015. — Vol. 34, iss. 5. — P. 1005—1177.
3. *ГОСТ Р ИСО 9001—2015. Системы менеджмента качества. Требования*. — М.: Стандартинформ, 2015. — 32 с.
4. *The MegaFace Benchmark: 1 Million Faces for Recognition at Scale* / I. Kemelmacher-Shlizerman, et al. / University of Washington. — URL: <http://megafaceresearch.cs.washington.edu/KemelmacherMegaFaceCVPR16.pdf> (дата обращения: 10.08.2017).
5. *Labeled Faces in the Wild: A Survey* / E. Learned-Miller, et al. — URL: [https://people.cs.umass.edu/~elm/papers/LFW\\_survey.pdf](https://people.cs.umass.edu/~elm/papers/LFW_survey.pdf) (дата обращения: 10.08.2017).
6. *Face Recognition Vendor Test (FRVT) Performance of Face Identification Algorithms* / P. Grother, M. Ngan / National Institute of Standards and Technology. — URL: [http://www.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=915761](http://www.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=915761) (дата обращения: 10.08.2017).
7. *Гарбук С.В.* Интеллектуальные автоматизированные средства тематической обработки информации в системах безопасности // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2017. — № 1. — С. 95—104.
8. *ГОСТ 33707—2016 (ISO/IEC 2382:2015). Информационные технологии. Словарь*. — М.: Стандартинформ, 2016 — 206 с.
9. *Spiers H.J., Maguire E.A.* Thoughts, behaviour, and brain dynamics during navigation in the real world // *NeuroImage*. — 2006. — Vol. 31. — P. 1826—1840.
10. *A future that works: automation, employment, and productivity January 2017* / J. Manyika, et al. / McKinsey Global Institute. — URL: [http://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Global%20Themes/Digital%20Disruption/Harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/MGI-A-future-that-works\\_Full-report.ashx](http://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Global%20Themes/Digital%20Disruption/Harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/MGI-A-future-that-works_Full-report.ashx) (дата обращения: 10.07.2017).
11. *Дрейфус Х.* Чего не могут вычислительные машины: Критика искусственного разума: пер. с англ. / Общ. ред. Б.В. Бирюков. — М.: Кн. дом «Либроком», 2010. — 336 с.
12. *Млодинов Л.* (Нео)сознание. Как бессознательный ум управляет нашим поведением. — Livebook / Гаятри, 2014. — 360 с.
13. *Kendall M.G.; Babington S.B.* The Problem of  $m$  Rankings // *The Annals of Mathematical Statistics*. — 1939. — Vol. 10, N 3. — P. 275—287.
14. *Кремер Н.Ш.* Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. — 573 с.
15. *Siegel S., Castellan N., John Jr.* Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences: 2nd ed. — N.-Y.: McGraw-Hill, 1988. — 266 p.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Н.Н. Бахтмадзе.

**Гарбук Сергей Владимирович** — канд. техн. наук, зам. ген. директора, ✉ [garbuk@list.ru](mailto:garbuk@list.ru),

**Бакеев Руслан Надирович** — руководитель проекта, ✉ [bakeev.ruslan@yandex.ru](mailto:bakeev.ruslan@yandex.ru),

Фонд перспективных исследований, г. Москва.



# МЕДИАЦИЯ В НАУКОВЕДЕНИИ: ЭКСПЕРТНО-НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД

С.А. Салтыков, Е.Ю. Русяева

Предложен медиационный подход в науковедении, объединяющий достоинства экспертного и наукометрического подходов, указаны концептуальные основания этого подхода. Описан алгоритм экспертно-наукометрического оценивания.

**Ключевые слова:** медиационный, экспертно-наукометрический подход, факторы оценивания, стра- ты ученых.

## ВВЕДЕНИЕ

В современном науковедении существуют, как минимум, два основных подхода к оценке научной деятельности. Один из них, давно известный и широко применяемый — экспертный, когда некие авторитеты в науке оценивают качество научной работы своих коллег. Другой, возникший позже, но активно применяемый в последнее время — формальный, наукометрический. Оба эти подхода обладают своими достоинствами и недостатками, которые заключаются в следующем.

В экспертном подходе в идеале высокое качество оценок обусловлено, по-видимому, тем обстоятельством, что нейросеть эксперта принимает на вход и обрабатывает очень большое число факторов, что является свойством человеческого когнитивного аппарата. Но при этом, в итоге, та же человеческая экзистенция (конкретное бытие, существование) приводит к когнитивным искажениям, поэтому итоговые экспертные оценки все же слишком легко манипулируемы. Эксперты, как многие люди, по своей природе могут быть «алчны и лживы» [1], а поскольку логику их рассуждений эксплицировать (выявлять, делать явной, открытой) никто не заставляет, поэтому есть великое искушение исказить свою экспертную оценку себе во благо.

В наукометрическом, формализованном подходе логика использования факторов эксплицирована, дана в явном виде, в этом его преимущество. Но, главным образом, из-за того, что здесь обычно используется гораздо меньше факторов, чем в экспертном подходе, возникает проблема качества,

адекватности оценивания. Дело в том, что существующие на данный момент перечни формальных показателей не могут в полной мере отразить ни нетривиальности, ни новизны, ни всей многогранности научного исследования. Более того, подчас стремление к более высоким наукометрическим показателям идет вразрез с истинным научным поиском, на который требуется время и серьезные интеллектуальные усилия. «Правила игры», задаваемые современной наукометрией для ученых таковы, что сейчас им выгоднее многократно дублировать свои тексты, чем каждый раз публиковать лишь оригинальные разработки. Именно это и приводит в итоге к манипулированию формальными показателями, что неоднократно критиковалось научной общественностью.

Итак, раз у каждого — экспертного и наукометрического — подходов как у полюсов бинарных оппозиций есть свои плюсы и минусы, возникает вопрос: как использовать достоинства этих подходов и при этом избежать указанных недостатков? Ответ, на наш взгляд, кроется в разработке медиационного<sup>1</sup> подхода, в котором экспертное качество не противоречит формализованному количеству, а, напротив, дополняет достоинства, диалектически возникает из него (по закону перехода количества в качество).

Поясним, каким образом авторы пришли к такому решению. Дело в том, что современные возросшие информационно-технологические возмож-

<sup>1</sup> Медиация — от лат. *mediare* — посредничать. Здесь в значении предложить средний путь, нейтральный и беспристрастный.

ности, в том числе в плане ранжирования данных в вебе [2], дают интересные подсказки и для наукометрии. Так, к примеру, самые известные серверы-поисковики, такие как Яндекс и Гугл, давно пользуются некоторыми приемами, позволяющими им все более адекватно оценивать и ранжировать контент веб-сайтов. В Яндексе успешно применяется формула поискового ранжирования сайтов<sup>2</sup> [3].

У нас возникла гипотеза: предположим, что аналогичные наработки (типа формулы Яндекса) можно применить для ранжирования научных работ. В этом случае у нас нет необходимости вступать в очередную дискуссию и пытаться доказать, какой именно из указанных выше подходов лучше и важнее. Стоит подойти диалектически: соединить плюсы наукометрического подхода, где имеет место формальная обработка на малом объеме данных, и преимущества экспертного подхода, где много данных, но нет их формальной (т. е. эксплицированной) обработки. Сейчас технические возможности вполне позволяют осуществить подобного рода медиационный подход. Таким образом, современная медиация в науковедении может представлять собой результат диалектического снятия: большой объем данных и их формальная обработка.

Итак, основная цель данного исследования заключается в том, что мы выявляем концептуальные основания нового, медиационного подхода, создаваемого на базе ныне существующих экспертного и наукометрического подходов. Также покажем на примере разработанного алгоритма экспертно-наукометрического оценивания, как можно по-новому, комплексно и многоаспектно ранжировать исследователей, определять их научный рейтинг.

## 1. МЕДИАЦИОННЫЙ ПОДХОД В НАУКОВЕДЕНИИ: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Метод диалектического снятия, на наш взгляд, вполне применим для поиска нового, нетривиального решения при оценке всех научных построений в каждой из групп наук, как естественных, так и номенклатурных, гуманитарных и математических.

Говоря кратко, медиационность предлагаемого нами подхода заключается в том, что для формирования рейтинга исследователей в расчет принимается много факторов, проводится машинное

<sup>2</sup> Формула ранжирования Яндекса — это алгоритм, определяющий порядок страниц веб-сайтов в поисковой выдаче.

обучение<sup>3</sup> на больших экспертно размеченных выборках<sup>4</sup>, в результате которого определяется формула для расчета рейтинга, например, аналогичная формуле Яндекса для поискового ранжирования сайтов [3].

В медиационном подходе, предлагаемом нами для наукометрии, предлагается использовать весь арсенал факторов, задействовать все показатели. В этом случае не стоит бояться переизбытка информации, напротив, стоит воспользоваться всеми известными подходами при анализе имеющегося текстового научного контента для оценки наиболее содержательного из них. В итоге, чем больше будет предоставлено материала для анализа, тем точнее будут определяться показатели для оценки. Тем самым постепенно можно будет и в автоматическом режиме отсеивать, «отбраковывать» не ценный в системе науковедения, не научный материал.

Итак, резюмируем: снятие антиномий в медиационном подходе в наукометрии происходит благодаря использованию в одном машинном обучении как всех формальных показателей, так и обучающей выборки, полученной путем экспертного ранжирования.

Теперь опишем алгоритм экспертно-наукометрического оценивания, применяемого в медиационном подходе, и укажем некоторые способы сбора материала для его работы.

## 2. АЛГОРИТМ ЭКСПЕРТНО-НАУКОМЕТРИЧЕСКОГО ОЦЕНИВАНИЯ

Рассмотрим алгоритм, позволяющий определять научный рейтинг (см. рисунок). Его работа

<sup>3</sup> Машинное обучение — это методы построения алгоритмов, способных обучаться. Обучение бывает двух типов: 1) обучение по прецедентам, или индуктивное обучение, основанное на выявлении общих закономерностей по частным эмпирическим данным; 2) дедуктивное обучение предполагает формализацию знаний экспертов и их перенос в компьютер в виде базы знаний. Дедуктивное обучение принято относить к области экспертных систем, поэтому термины *машинное обучение* и *обучение по прецедентам* можно считать синонимами.

<sup>4</sup> Обучающая выборка — это набор размеченных данных, т. е. тех данных, которым эксперт приписал некие признаки. Эти признаки зависят от решаемой задачи. Если решается задача ранжирования или регрессии, то данным приписываются количественные или балльные значения. Если решается задача классификации или мультиклассификации (разбиение на множества, которые могут пересекаться), то данные относятся экспертом к какому-либо классам или мультиклассам. Кроме того, эксперт может указать, что некоторый признак является категориальным, т. е. не может быть в большей или меньшей степени (время года, например, или др.). С точки зрения теории измерений [4] категориальные признаки — это признаки в шкале наименований, а все остальные признаки (некатегориальные) в шкале, не слабее шкалы порядка.



осуществляется в несколько циклов, что позволяет определять итоговые оценки и приоритеты с наибольшей точностью. В перспективе, вероятно, можно будет определять и приоритетность финансирования исследовательских групп, базирываясь на данных медиационного подхода в науковедении.

Опишем последовательность работы алгоритма. На первом этапе в блок 1 поступает исходный набор факторов. Отметим, что мы собираем их из всех ныне имеющихся. Достаточное условие для включения в этот перечень заключается в том, что какой-либо эксперт высказал соображение, что этот фактор может быть полезен для оценки рейтинга ученого. Сюда же включаем, к примеру, весь перечень факторов из РИНЦ и других источников.

Далее, на следующем шаге (в блоке 2), собираем экспертные оценки для обучающей выборки, другими словами, это будет разметкой обучающей выборки. Сюда же возвращается цикл, если нужно добавить оценки новых экспертов. Этот цикл не завершится до тех пор, пока у нас не будет стабильного топ-10 ученых — только данный топ будет показателем необходимости выхода из первого цикла.

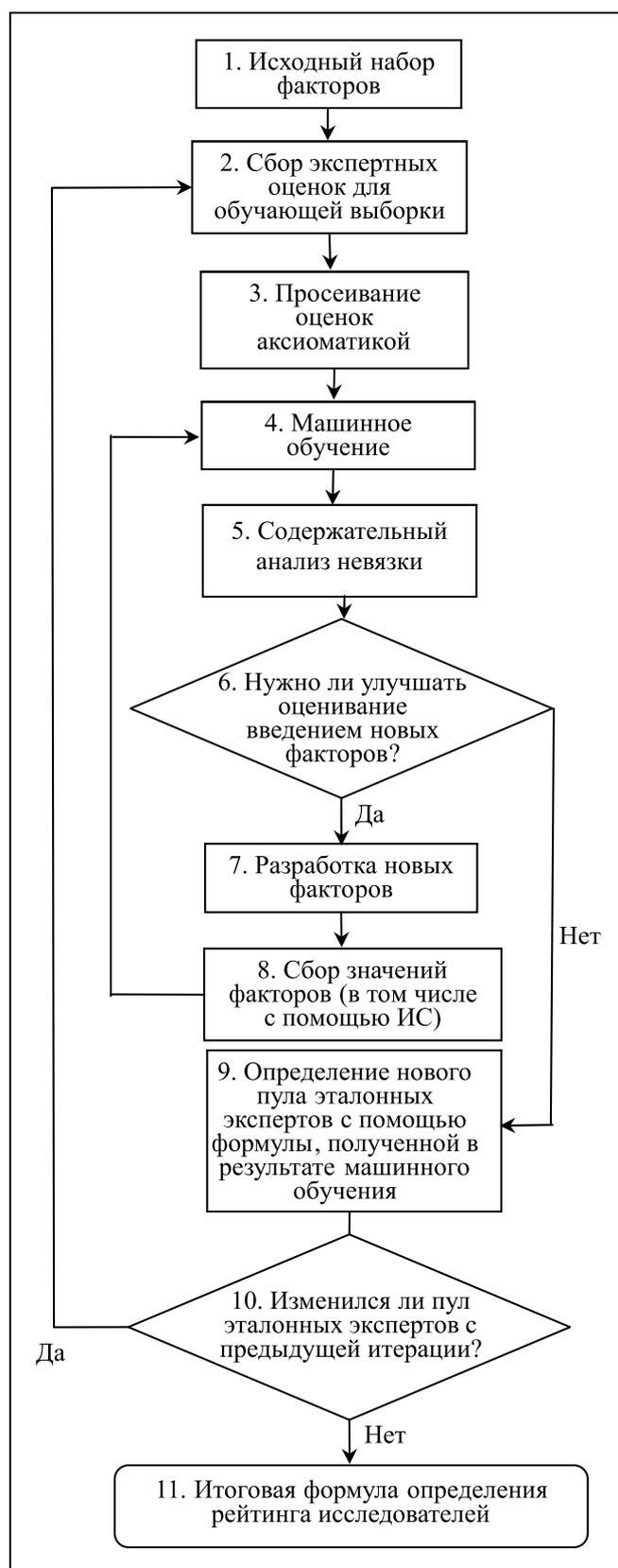
Затем (блок 3) просеиваем имеющиеся оценки аксиоматикой. Этот процесс сводится к тому, что отсеиваются или отбраковываются оценки, которые не соответствуют какому-либо консенсусному суждению относительно соотношения страты исследователей из различных наук. Поясним далее, в § 3, какое именно допущение нами будет принято в этом аспекте.

В блоке 4 осуществляется машинное обучение: автоматическая настройка параметров формулы ранжирования, содержащей вектор уже имеющихся факторов. Сюда же, на этот этап, возвращается цикл, если у нас обновляется набор значений факторов, собранных, в том числе и с помощью информационной системы (ИС).

На следующем шаге (блок 5) нам необходимо провести содержательный анализ невязки. Здесь мы анализируем наибольшие отклонения, которые имеются между экспертными оценками и результатом, который дает машинно обученная формула.

Далее мы попадаем в блок 6, в котором задаем вопрос: «Нужно или можно ли улучшить оценивание введением новых факторов?» Если ответ «Да», то мы переходим на следующий этап, блок 7, когда необходимо разрабатывать новые факторы. После этого, в блоке 8 нам нужно собрать значения новых факторов, возможно, и с привлечением ИС, и после этого выходим на новый цикл машинного обучения (блок 4) и проходим вновь по всем этапам, что следуют по ходу этого цикла.

Если же ответ на вопрос блока 6 «Нет», то мы переходим к этапу определения нового пула эта-



Структурная схема алгоритма экспертно-наукOMETрического формирования рейтинга исследователей

лонных экспертов с помощью формулы, полученной в результате машинного обучения — блок 9. По завершении этого этапа мы вновь попадаем в еще одну развилку с вопросом (блок 10): «Изменился ли пул эталонных экспертов с предыдущей итерации?» Если ответ «Да», то мы проводим очередную итерацию, возвращаясь в блок 2, где заново собираем экспертные оценки вновь выявленных экспертов и, теперь уже новых экспертов, просим дать оценки для обучающей выборки, проводя весь цикл заново. Напомним, что только стабильный топ-10 ученых служит показателем необходимости выхода из цикла. Если ответ на вопрос блока 10 «Нет», то мы получили итоговую формулу (блок 11) определения рейтинга исследователей.

В целом же экспертно-наукометрический подход, скорее всего, потребует создания целого каскада алгоритмов для того, чтобы ввести, учесть и согласовать значения всех вновь выявляемых факторов. Эту работу необходимо провести для того, чтобы сделать итоговую формулу определения рейтинга ученых наиболее адекватной.

### 3. О СПОСОБАХ СБОРА МАТЕРИАЛА ДЛЯ МЕДИАЦИОННОГО ПОДХОДА В НАУКОВЕДЕНИИ

В данном параграфе мы лишь кратко затронем некоторые способы сбора материала для разрабатываемого нами медиационного подхода. Тема эта сама по себе обширна и нестандартна, требует отдельного детального исследования.

Отбор факторов машинного обучения может осуществляться с двумя целями. Одна из них — вычислительная: отбор факторов предназначен для повышения точности и снижения трудоемкости расчетов. Другая цель — содержательная интерпретация факторов машинного обучения. Эти цели во многом антагонистичны. Так, для вычислительных целей имеет смысл использовать только один фактор из набора скоррелированных факторов и, следовательно, одному из этих факторов стоит присвоить существенно меньший ранг. А для их содержательной интерпретации напротив, нужно, чтобы все скоррелированные факторы имели одинаковые или близкие ранги.

Мы выдвигаем следующую гипотезу: существуют достаточно много методов решения вычислительной задачи и совсем немного способов, позволяющих решать задачи содержательной интерпретации. Поэтому методы содержательной интерпретации факторов машинного обучения еще нужно дорабатывать.

Поясним, с учетом работы описанного в § 2 алгоритма, каким именно образом предполагается

наполнять перечень факторов, на которых обучается формула.

Согласно общенаучной традиции [5], науки делаются на науки сильной и слабой версий, что, согласно нашей нотации, будет соответствовать ранжированию ученых по двум основным стратам:

- специалистов в области естественных и математических наук отнесем к первой страте;
- исследователей в области гуманитарных и номенклатурных наук — ко второй.

На практике мы предлагаем определять принадлежность ученых к одной из страт по формальным показателям, в частности, по номеру его специальности согласно номенклатуре специальностей научных работников ВАК.

Постулируем условие: ученый первой страты не может быть оценен ниже ученого второй страты, т. е. оценка выбраковывается, если представитель гуманитарных наук, например, историк, поставлен выше представителя естественных наук, к примеру, ученого-химика. Конечно, отдельно взятый гуманитарий может быть «сильнее» некоторого естествоведов. Более того, такое даже регулярно встречается (взять хотя бы Канта или Гегеля), но в среднем все же представитель наук сильной версии оценивается выше, чем представитель наук слабой версии (это не говорит, что кто-то хуже или лучше, это показатель кумулятивности дискурса). Для целей нашего исследования мы отбрасываем противоположные оценки, чтобы и без того «шумную» обучающую выборку сделать менее «шумной». Это один из показателей отбраковки суждений экспертов-ученых.

Для экспертного ранжирования ученых необходимо составить анкету, отвечая на вопросы которой ученые могут оценивать своих коллег. Данные анкет, значения которых не соответствуют указанному условию, отбраковываются.

Таким образом мы сформируем перечень целевых значений параметров для каждого ученого. После этого остальные параметры ученого загружаются из соответствующих наукометрических баз, например, из РИНЦ. Затем на сформированной выборке проводится машинное обучение.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, благодаря разработке медиационного экспертно-наукометрического подхода в науковедении можно будет, на наш взгляд, проводить более качественное оценивание ученых, тем самым составлять адекватный рейтинг самих ученых, что сейчас делается очень неточно. Более того, с помощью описанного алгоритма и дальнейших разработок в русле заявленного нами подхода можно



определять и приоритетность финансирования исследовательских групп, которая будет базироваться на этом адекватно составленном рейтинге ученых.

В предлагаемом нами медиационном подходе для науковедения в целом снятие имеющихся противоречий или, говоря другими словами, исправление недостатков экспертного и наукометрического подходов, взятых в отдельности, происходит благодаря учету в одном машинном обучении как всех формальных показателей, так и обучающей выборки, полученной путем экспертного ранжирования [6].

Понятно, что в рамках одного исследования мы не сможем сразу ответить на массу возникающих вопросов и проработать все детали. Поэтому в дальнейшем планируем продолжить проработку всех возможных способов сбора и классификации материала для функционирования алгоритмов идентификации. Также продолжим анализ и ранжирование научных построений ученых с учетом разных стадий жизненного цикла исследований. Только весь этот комплекс разработок, проведенных в рамках медиационного подхода, может служить в дальнейшем оптимальным инструментом определения приоритетности научных работ и рейтинга ученых.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. — М.: Наука, 1977. — 255 с.
2. Салтыков С.А., Русяева Е.Ю. Author's Typology of SEO-Strategies as a Tool of Conceptual Creativity // Proc. of First Conf. «Creativity in Intelligent Technologies and Data Science» CIT&DS 2015, Volgograd. — Volgograd: Springer International Publishing AG, 2015. — P. 58–80.
3. Borisov A., Serdyukov P., de Rijke M. Using Metafeatures to Increase the Effectiveness of Latent Semantic Models in Web Search // Proc. of the 25th Intern. Conf. on World Wide Web. — Montréal, Québec, Canada, April 11–15, 2016. — P. 1081–1091. — URL: <https://staff.fnwi.uva.nl/m.derijke/wp-content/papercite-data/pdf/borisov-using-2016.pdf> (дата обращения: 25.10.2017).
4. Пфанцагль И. Теория измерений / при участии В. Баумана и Г. Хубераи; пер. с англ. В.Б. Кузьмина. — М.: Мир, 1976. — 244 с.
5. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. — М.: URSS, 2014. — 627 с.
6. Салтыков С.А., Русяева Е.Ю. Рафинирование научных построений в теориях принятия решений. — М.: ИПУ РАН, 2016. — 208 с.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Е. Лепским.*

**Салтыков Сергей Анатольевич** — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ✉ [sergey.saltykov@gmail.com](mailto:sergey.saltykov@gmail.com),

**Русяева Елена Юрьевна** — канд. филос. наук, ст. науч. сотрудник, ✉ [rusyaeva@ipu.ru](mailto:rusyaeva@ipu.ru),

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва.

## Новая книга

**Бреер В.В., Новиков Д.А., Рогаткин А.Д. Управление толпой: математические модели порогового коллективного поведения.** — М.: Ленанд, 2016. — 168 с.

Книга посвящена математическим моделям управления толпой, поведение которой описывается как пороговое (конформное) коллективное принятие решений ее элементами.

На основании результатов анализа взаимосвязи между микро- и макромоделами активных сетевых структур рассматриваются статические (детерминированные, стохастические и теоретико-игровые) и динамические (в дискретном и непрерывном времени) модели управления толпой. Значительное внимание уделяется моделям информационного противоборства. Многие результаты применимы не только для задач управления толпой, но и для управления в социальных группах, онлайн-новых социальных сетях и др.

Для научных и практических работников, а также студентов, аспирантов и докторантов, специализирующихся в области моделирования коллективного поведения.

Скачать PDF: <http://www.mtas.ru/biblio/MMUT.pdf>

Интервью Д.А. Новикова, посвященное выходу в свет новой книги, читайте на <http://www.ipu.ru/press-center/42978>

## Уважаемые читатели!

Если Вы не успели подписаться на журнал «Проблемы управления», то через нашего издателя можно оформить льготную подписку в любое время и с любого номера (дешевле, чем через каталоги агентств) или приобрести номера журнала за прошлые годы.

Можно также заказать электронные версии как необходимого Вам номера журнала, так и отдельных статей.

Позвоните издателю по тел. (495) 330-42-66 или пришлите заказ по электронной почте [datsys@mail.ru](mailto:datsys@mail.ru) — и подписка будет оформлена за один день. Расходы по пересылке журнала издатель берет на себя. Не забудьте указать свой полный почтовый адрес!

## ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЦЕЛЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ОПЕРАТИВНОМ РЕЖИМЕ

В.Г. Слугин, А.А. Зубарев, О.Ю. Шевцов, А.Я. Мехтиев, В.А. Ковешников

Отмечено, что эффективность функционирования комплекса противоздушной обороны определяется техническими возможностями и качеством управления участников операции. Разработан метод, позволяющий за доли секунды сформировать эффективное решение задачи целераспределения для произвольного числа целей и боевых машин с учетом полной либо частичной загрузки боекомплекта каждой из них и обеспечивающий их равномерную загрузку.

**Ключевые слова:** целераспределение, эффективность, моделирование, оптимизация, декомпозиция, исследование операций.

### ВВЕДЕНИЕ

В задаче целераспределения сложность принятия решений достаточно высока, так как вариантов целераспределения чрезвычайно много. Разумеется, нас интересует одно либо несколько решений, наиболее подходящих для достижения поставленной цели. Строго говоря, реальная эффективность определяется конечным результатом, и проследить (оценить) вклад целераспределения на итог операции сложно, так как наряду с целераспределением существует множество организационных и технических факторов, каждый из которых влияет на эффективность военных действий.

Наибольший интерес представляет критериальный подход, основанный на динамике изменения пространственно-временных характеристик в системе «цель — боевая машина (БМ)» и который непосредственно влияет на эффективность целераспределения. Очевидно, как бы мы не привязывали цели к БМ, может оказаться, что все они будут либо ликвидированы, либо продолжают свое существование, причина такой неопределенности — наличие множества других важных факторов. Неоспоримо лишь, что для эффективного ведения боевых действий все подсистемы БМ должны быть надежными и гибкими в управлении.

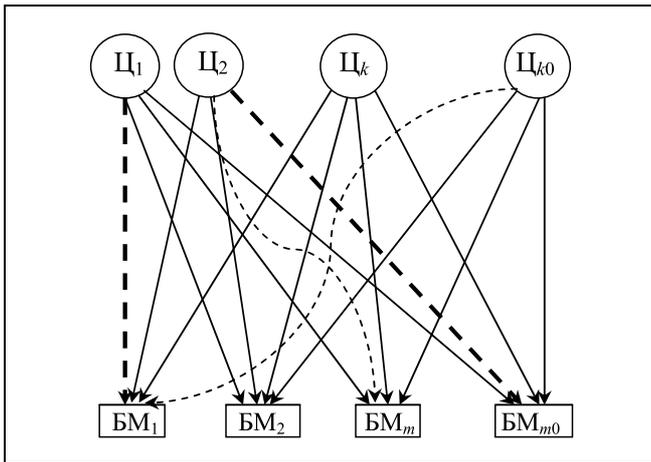
### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. ОПТИМАЛЬНОСТЬ ЦЕЛЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

В самом общем случае задача целераспределения формулируется следующим образом: необхо-

димо передать на сопровождение и обеспечить ракетный обстрел нескольких предварительно зафиксированных целей, при этом число БМ не превышает  $m_0$  единиц, а число целей —  $k_0$  единиц. Особенность задачи заключается в том, что в каждый момент времени состояние системы меняется и, в принципе, всякое решение будет отставать относительно текущей ситуации независимо от скорости принятия решения и его реализации.

Решение задачи целераспределения затрагивает анализ состояния двух подсистем: БМ собственной группировки и набор целей противника (рисунков). Наиболее ценная информация в контексте рассматриваемой задачи — местоположение цели и скорость ее перемещения. Среди нескольких дополнительных факторов отметим количественные (число ракет) и качественные (типы ракет) характеристики систем вооружения БМ, а также индикаторы связи целей с каждой БМ, фиксирующие отказ работы БМ с целью как результат работы любой подсистемы этой БМ. Логика указывает на перспективу поиска для каждой цели ( $C_j$ ) близко расположенной боевой машины (БМ<sub>*j*</sub>), так как в этом случае вероятность своевременного поражения цели наиболее высока, а значит и защищенность отдельной БМ и батареи в целом возрастает, т. е. в качестве критерия взаимодействия между ними ( $f_{ij}$ ) выступает расстояние  $r_{ij}$ , следовательно,  $f_{ij} = r_{ij}$ .

Однако если типы целей разные, то и скорости перемещения могут существенно различаться. В этом случае в качестве критерия значимости це-



**Типы взаимосвязей набора целей со структурным подразделением боевых машин:** — нормальная взаимосвязь; - - - недопустимая взаимосвязь; ···· недопустимая взаимосвязь по вооружению

ли целесообразно рассматривать подлетное время до БМ, т. е.  $f_{ij} = r_{ij}/v_{ij} = t_{ij}$ . Именно такая гипотеза положена в основу решения рассматриваемой задачи.

С формальной точки зрения задача сводится к поиску варианта распределения набора целей между БМ батареи, при котором значение критерия суммарного подлетного времени будет минимальным с учетом ограничений по наличию ракет на каждой БМ и их типам (недопустимая взаимосвязь по вооружению), а также требований (ограничений) других подсистем БМ по реализации конкретного распределения (недопустимая взаимосвязь).

Расстояние в системе «цель — БМ» служит основной критерия данной задачи и определяется согласно зависимости

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2},$$

где  $x_i, y_i, z_i, i = \overline{1, m}$  — координаты расположения  $m$  БМ в момент принятия решений,  $x_j, y_j, z_j, j = \overline{1, k}$  — координаты расположения  $k$  целей в тот же момент времени.

Необходимо определить набор значений целочисленных (булевых) переменных  $\Psi_{ij}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, k}$ , при которых целевая функция (суммарное подлетное время всех ракет) достигает минимального значения

$$f = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k f_{ij} \Psi_{ij}(t_0) \rightarrow \min_{i,j} \quad (1)$$

при ограничениях

$$\psi_i(t_0) = \sum_{j=1}^k \Psi_{ij}(t_0) \leq \psi_{i0}(t_0), \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \Psi_{ij}(t_0) = 1, \quad j = \overline{1, k}, \quad (3)$$

$$\Psi_{i_1 j_1}(t_0) = 0, \Psi_{i_2 j_2}(t_0) = 0, \dots, \Psi_{i_a j_a}(t_0) = 0, \dots, \Psi_{i_n j_n}(t_0) = 0, \quad (4)$$

$$i_\alpha = \overline{1, m}, \quad j_\alpha = \overline{1, k}, \quad n \leq m,$$

$$\psi(t_0) = (\Psi_{i_1 j_1}(t_0) = 1) \wedge (\Psi_{i_2 j_2}(t_0) = 1) \wedge \dots \wedge (\Psi_{i_k j_k}(t_0) = 1), \quad (5)$$

где  $k$  — число целей,  $m$  — число БМ,  $\Psi_{i0}(t_0)$  — число ракет на  $i$  БМ в момент принятия решения  $t_0$ ,  $\psi_i(t_0)$  — число ракет, планируемых к пуску в этот момент времени на  $i$  БМ с учетом всех целей,  $\Psi_{ij}(t_0)$  — индикатор взаимосвязи  $i$  БМ с  $j$ -й целью и равный единице, если  $j$ -я цель может использоваться для сопровождения  $i$  БМ в момент времени  $t_0$  (внешняя функция, отображающая возможность применения БМ, ее работоспособность).

Ограничения (4) определяют недопустимые связи БМ с целью, их может не быть вообще, т. е. любая цель может обрабатываться любой БМ (тогда  $\Psi_{ij}(t_0) = 1, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, k}$ ). Либо некоторые БМ нельзя применить для обстрела определенных целей (тогда  $\Psi_{i_1 j_1}(t_0) = 0, \dots, \Psi_{i_n j_n}(t_0) = 0$ ), такая взаимосвязь возникает случайно в результате сбоя в работе любой из подсистем БМ. Ограничение (5) фиксирует факт распределения именно всех целей по БМ (если целей больше, то, как упоминалось ранее, распределению подлежат только наиболее важные из них в количестве, равном суммарному числу ракет по всем БМ). Ограничения (3) свидетельствуют о том, что для каждой цели предназначается одна ракета. Ограничения (2) указывают на ограниченность ресурсов, на каждой БМ в момент времени  $t_0$  число ракет составляет  $\Psi_{i0}(t_0)$  единиц, и все они могут быть использованы, но не более того.

Таким образом, в стандартной постановке (аналогично для транспортной задачи, задачи о назначениях и др.) проблема сводится к поиску набора связей «цель — БМ» (индексов  $i, j$ ), при которых значение критерия (1) минимально, а все ограничения типа (2)—(5) выполнены.

Если число целей превышает объем вооружения, то ситуация меняется принципиально как в боевом отношении, так и в плане управления ею. Задача усложняется также с формальной точки зрения, переходит в разряд нестандартных нели-

нейных дискретных задач с нарушенным балансом ресурсов [1, 3], при этом многовариантность может достигать значений, сравнимых с  $10^{78}$  (при шести БМ и 100 целях). В этом случае решение не гарантировано ни одним из известных оптимизационных методов. Поэтому необходимо декомпозировать задачу, т. е. преобразовать ее, учитывая специфику, упростить так, чтобы решение было близким к оптимальному как для случая правильного, так и неправильного баланса. При этом время решения должно быть минимальным, сравнимым с долями секунды, так как управление ведется в реальном режиме времени в боевых условиях, и громоздкие вычислительные процедуры неуместны.

## 2. ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЗАДАЧИ ЦЕЛЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Оценим сложность, трудоемкость решения задачи целераспределения с позиций многовариантности ( $N$ ). Если число БМ составляет  $m$  ед., а число целей —  $k$  ед., то число альтернативных вариантов  $N = m^k$ , один из которых искомым. Для оценки возможности решить эту задачу методом перебора на компьютере подсчитаем число вариантов взаимодействия, например, для случая шести БМ и 100 целей. Будем считать, что каждая цель может быть обстреляна любой из шести машин, тогда вариантность  $N = 6^{100} \approx 10^{78}$ . Реализация такого числа вариантов невозможна, поэтому требуется некоторое упрощение, декомпозиция задачи, позволяющая разрешить эту ситуацию, уменьшить объем вычислений, значительно сократив время расчета.

Любая декомпозиция приводит к погрешности, а значит, необходима проверка точности приближенного метода [3]. В этой связи точное решение целесообразно определить именно методом перебора, так как ни одно из гипотетических решений здесь не остается вне поля зрения. Полный перебор, по существу, должен послужить основой для оценки качества декомпозиционного подхода, его привлекательности и надежности выносимого решения. Тогда для десяти целей и шести БМ неопределенность целераспределения составит  $6^{10} = 60\,466\,176$  вариантов, что потребует всего лишь нескольких секунд при реализации на компьютере и обеспечивает условия проверки.

Рассмотрим процедуру ранжирования по критерию — подлетное время ракеты до цели. Тогда перспективные решения будут располагаться в ограниченной области, исследовав которую проще найти эффективное решение, близкое к оптимальному. После выполнения такой процедуры ранжирования оптимизация будет более эффективной, на этой же основе может быть построен и субоптимизационный метод.

Запишем связь 1-й цели с шестью машинами батареи по критерию  $f$  в виде:

$$\Pi_r^1: f_{11}, f_{21}, f_{31}, f_{41}, f_{51}, f_{61}; \quad (6)$$

для 2-й цели:

$$\Pi_r^2: f_{12}, f_{22}, f_{32}, f_{42}, f_{52}, f_{62}; \quad (7)$$

для  $k$ -й цели:

$$\Pi_r^k: f_{1k}, f_{2k}, f_{3k}, f_{4k}, f_{5k}, f_{6k}. \quad (8)$$

Как было отмечено ранее, символ  $f_{ij}$  предполагает либо расстояние между  $i$ -й БМ и  $j$ -й целью, либо подлетное время.

Если в соответствии с записями (6)—(8) поставить номера БМ, то все они будут представлять собой последовательность целых чисел, расположенных по возрастанию, т. е. (1, 2, 3, 4, 5, 6). Числа, по существу, играют роль меток для различия БМ.

Выполним ранжирование по возрастанию расстояния (времени) для каждой цели — строки, тогда исходная соответствующая последовательность номеров БМ (1, 2, 3, 4, 5, 6) поменяет свой порядок, например, (5, 2, 6, 1, 3, 4). Это будет означать, что данную цель лучше всего передать БМ под номером 5, несколько уступает ей БМ под номером 2, затем БМ под номерами 6, 1, 3, вплоть до менее востребованной БМ под номером 4. В общем случае результат ранжирования (первого уровня) отобразим следующим набором записей, поменяв символ  $f$  на  $p$ :

$$\Pi_p^1: p_{11}, p_{21}, p_{31}, p_{41}, p_{51}, p_{61},$$

$$\Pi_p^2: p_{12}, p_{22}, p_{32}, p_{42}, p_{52}, p_{62},$$

... ..

$$\Pi_p^k: p_{1k}, p_{2k}, p_{3k}, p_{4k}, p_{5k}, p_{6k},$$

где для каждой цели (строки) значения  $p$  выстроены в порядке возрастания значений критерия. Соответствующие последовательности номеров БМ в общем случае запишем в виде

$$\Pi_n^i: n_{1i}, n_{2i}, n_{3i}, n_{4i}, n_{5i}, n_{6i}, \quad i = \overline{1, k}. \quad (9)$$

Запись (9) указывает, что цель под номером  $i$  лучше всего отдать на сопровождение БМ под номером  $n_{1i}$ , а наихудший вариант соответствует БМ под номером  $n_{6i}$ .

После ранжирования становится ясно, какую БМ следует применить для каждой из имеющихся целей. Казалось бы, результат достигнут, но проблема остается, так как одна и та же БМ может применяться для сопровождения разных целей, и возможно состояние «перегрузки» либо по определенным причинам некоторые связи «цель — БМ» в момент принятия решений о целераспределении



оказываются недопустимыми. Очередное ранжирование значительно проясняет ситуацию.

Факт ранжирования второго уровня — по строкам, в порядке возрастания первого элемента строки, отобразим символом  $\mu$  и набором записей:

$$\begin{aligned} \Pi_{\mu}^1: & \mu_{11}, \mu_{21}, \mu_{31}, \mu_{41}, \mu_{51}, \mu_{61}, \\ \Pi_{\mu}^2: & \mu_{12}, \mu_{22}, \mu_{32}, \mu_{42}, \mu_{52}, \mu_{62}, \\ & \dots \dots \dots \dots \dots \\ \Pi_{\mu}^k: & \mu_{1k}, \mu_{2k}, \mu_{3k}, \mu_{4k}, \mu_{5k}, \mu_{6k}. \end{aligned}$$

Соответствующие последовательности номеров БМ запишем в виде

$$\Pi_{\mu}^i: m_{1i}, m_{2i}, m_{3i}, m_{4i}, m_{5i}, m_{6i}, \quad i = \overline{1, k}. \quad (10)$$

При этом самая опасная цель зафиксирована в последовательности  $\Pi_{\mu}^1$ , номер выделенной для нее БМ — число  $m_{11}$ , следующая по ответственности цель зафиксирована в последовательности  $\Pi_{\mu}^2$ , номер ее БМ — число  $m_{12}$ , и так далее вплоть до  $m_{1k}$ . Может оказаться, что набор чисел — номеров БМ  $m_{11}, m_{12}, \dots, m_{1k}$  — представляет собой искомое оптимальное решение, но это может произойти только в частном случае, когда целей немного и расположены они в пространстве равномерно относительно БМ. В общем случае, если таким образом выбирать БМ, можно перейти в состояние «перегрузки» одной или нескольких из них, т. е. оказаться в тупиковой ситуации, не получив требуемое решение. Поэтому важнейшим дополнением к логике получения эффективного решения служат дальнейшие рассуждения.

Имея последовательность номеров БМ для каждой цели (10), следует распределять ресурсы — БМ (с учетом количества имеющихся в наличии ракет в текущий момент) согласно логике: передать самой опасной цели наиболее эффективный ресурс — первую в порядке следования БМ, если там имеется вооружение; если ракеты отсутствуют, то перейти к следующей БМ из этого ранжированного списка и рассуждать аналогично. Действовать так далее вплоть до последней БМ в рейтинговом списке данной цели. Если на очередном шаге распределение состоялось, то это означает, что очередная рассматриваемая цель «привязана» к БМ, причем лучшим образом.

Далее переходим к реализации аналогичной процедуры для следующей в порядке значимости цели с учетом занятости всех БМ на текущий момент и действуем так вплоть до последней цели. Завершающей процедурой служит обратное ранжирование, позволяющее зафиксировать номера БМ в исходной первоначальной нумерации и обеспе-

чить необходимое соответствие между БМ и выделенными для них целями, записать по существу искомое решение.

Если некоторую цель распределить не удастся, то это происходит либо по причине занятости всех БМ, либо в связи с запретом применения БМ ее определенными подсистемами. В реальной ситуации на основе такой логики может оказаться, что все цели успешно распределены либо распределена только часть целей. При этом решение может быть как оптимальным, так и приближенным. Если оно мало отличается от оптимального и время реализации приемлемо, можно утверждать об эффективности субоптимизационного подхода, о создании нового субоптимизационного метода.

Единственный способ получения точного, оптимального решения в данной нелинейной дискретной NP-задаче — это метод перебора, который с учетом быстродействия компьютера дает решение (заведомо оптимальное) лишь в задачах средней размерности, около 10—12 целей и шести БМ. Это обстоятельство целесообразно учитывать для обоснования правомерности рассматриваемого субоптимального метода.

### 3. ПРИМЕР СУБОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ СЛУЧАЯ ШЕСТИ БОЕВЫХ МАШИН И ДЕСЯТИ ЦЕЛЕЙ

Рассмотрим возможности изложенного подхода, оценим точность, достоверность и качество получаемых решений, выполнив соответствующие расчеты на конкретных примерах. Допустим, имеется шесть БМ и десять целей. В другом случае рассмотрим 100 целей и шесть БМ. Несложно подсчитать число просматриваемых вариантов, получаем соответственно  $N = 6^{10} = 60\,466\,176$  и  $N = 6^{100} \approx 10^{78}$ . Отметим, что для 1000 целей  $N = 6^{1000} \approx 10^{780}$ .

Допустим, БМ расположены по линии: 1)  $X_1 = 0$ ,  $Y_1 = 1000$ ; 2)  $X_2 = 1000$ ,  $Y_2 = 1000$ ; 3)  $X_3 = 2000$ ,  $Y_3 = 1000$ ; 4)  $X_4 = 3000$ ,  $Y_4 = 1000$ ; 5)  $X_5 = 4000$ ,  $Y_5 = 1000$ ; 6)  $X_6 = 5000$ ,  $Y_6 = 1000$ . При этом число ракет для БМ1, БМ2, ..., БМ6 составляет соответственно 2, 2, 2, 2, 4, 3 ед.

Далее положим, что в момент принятия решения для первой и второй БМ недопустима работа с 10-й целью, т. е. связи типа 1—10 и 2—10 в решении о целераспределении должны отсутствовать. Текущие координаты целей 1—10 пусть будут такими:

- 1)  $x_{ц1} = 9000$ ,  $y_{ц1} = 3000$ ,  $z_{ц1} = 1000$ ;
- 2)  $x_{ц2} = 8000$ ,  $y_{ц2} = 3000$ ,  $z_{ц1} = 1000$ ;
- 3)  $x_{ц3} = 7000$ ,  $y_{ц3} = 3000$ ,  $z_{ц1} = 1000$ ;
- 4)  $x_{ц4} = 6000$ ,  $y_{ц4} = 3000$ ,  $z_{ц1} = 1000$ ;



- 5)  $x_{ц5} = 5000$ ,  $y_{ц5} = 6000$ ,  $z_{ц1} = 1000$ ;  
 6)  $x_{ц6} = 4000$ ,  $y_{ц6} = 16\ 000$ ,  $z_{ц1} = 1000$ ;  
 7)  $x_{ц7} = 3000$ ,  $y_{ц7} = 6000$ ,  $z_{ц1} = 1000$ ;  
 8)  $x_{ц8} = 2000$ ,  $y_{ц8} = 6000$ ,  $z_{ц1} = 1000$ ;  
 9)  $x_{ц9} = 1000$ ,  $y_{ц9} = 26\ 000$ ,  $z_{ц1} = 1000$ ;  
 10)  $x_{ц10} = 0$ ,  $y_{ц10} = 6000$ ,  $z_{ц1} = 1000$ .

В результате обработки представленных данных на первом этапе ранжирования получена информация, представленная в табл. 1. В первом столбце указан номер цели в порядке следования, это, по существу, ее идентификатор. В строках представлены номера БМ, а в скобках возрастающие расстояния (в метрах) между БМ и целью, определяемой номером строки. Отсюда видно, что первую цель лучше всего обрабатывать на шестой БМ, вторую, третью, четвертую, пятую цели также целесообразно обрабатывать на шестой БМ, для шестой цели лучшей является пятая БМ и т. д. Очевидно противоречие, шестая БМ перегружена, там в текущий момент имеется только 3 ракеты!

В табл. 2 представлена информация, соответствующая второму этапу ранжирования. Здесь строки следуют в порядке возрастания значений второго столбца так, что самая сильная связь находится в левом верхнем углу таблицы с показателем критерия (расстояния между четвертой целью и шестой БМ) равным 2240 м; т. е. связь «четвертая цель — шестая БМ» наиболее значимая, поэтому для четвертой цели следует выделить лучшие ресурсы, а именно БМ под номером 6. Далее распределение выполняется для следующей по важности цели под номером 3. Ей также отдается лучший ресурс, БМ под номером 6. Аналогичные действия выполняются для последующих целей с учетом оставшихся ресурсов. Отметим, что в скобках первого столбца указана исходная нумерация целей.

В результате применения *субоптимизационного метода* получаем следующую последовательность целей и связанных с ней БМ:

номер цели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
номер БМ	5	6	6	6	5	5	4	3	2	3

значение критерия: 74 539 м,  
 время решения: 0,0000001 с.

Таблица 1

## Результаты первого этапа ранжирования

Номер цели	Номера БМ и расстояние о БМ до цели					
	6 (4470)	5 (5390)	4 (6320)	3 (7280)	2 (8250)	1 (9220)
1	6 (4470)	5 (5390)	4 (6320)	3 (7280)	2 (8250)	1 (9220)
2	6 (3610)	5 (4470)	4 (5390)	3 (6320)	2 (7280)	1 (8250)
3	6 (2830)	5 (3610)	4 (4470)	3 (5390)	2 (6320)	1 (7280)
4	6 (2240)	5 (2830)	4 (3610)	3 (4470)	2 (5390)	1 (6320)
5	6 (5000)	5 (5100)	4 (5390)	3 (5830)	2 (6400)	1 (7070)
6	5 (15 000)	4 (15 000)	6 (15 000)	3 (15 100)	2 (15 300)	1 (15 500)
7	4 (5000)	3 (5100)	5 (5100)	2 (5390)	6 (5390)	1 (5830)
8	3 (5000)	2 (5100)	4 (5100)	1 (5390)	5 (5390)	6 (5830)
9	2 (25 000)	1 (25 000)	3 (25 000)	4 (25 100)	5 (25 200)	6 (25 300)
10	1 (5000)	2 (5100)	3 (5390)	4 (5830)	5 (6400)	6 (7070)

Таблица 2

## Результаты второго этапа ранжирования

Номер цели	Номера БМ и расстояние о БМ до цели					
	6 (2240)	5 (2830)	4 (3610)	3 (4470)	2 (5390)	1 (6320)
1 (4)	6 (2240)	5 (2830)	4 (3610)	3 (4470)	2 (5390)	1 (6320)
2 (3)	6 (2830)	5 (3610)	4 (4470)	3 (6390)	2 (6320)	1 (7280)
3 (2)	6 (3610)	5 (4470)	4 (5390)	3 (6320)	2 (7280)	1 (8250)
4 (1)	6 (4470)	5 (5390)	4 (6320)	3 (7280)	2 (8250)	1 (9220)
5 (5)	6 (5000)	5 (5100)	4 (5390)	3 (5830)	2 (6400)	1 (7070)
6 (7)	4 (5000)	3 (5100)	5 (5100)	2 (5390)	6 (5390)	1 (5830)
7 (8)	3 (5000)	2 (5100)	4 (5100)	1 (5390)	5 (5390)	6 (5830)
8 (10)	1 (5000)	2 (5100)	3 (5390)	4 (5830)	5 (6400)	7 (7070)
9 (6)	5 (15 000)	4 (15 000)	6 (15 000)	3 (15 100)	2 (15 300)	1 (15 500)
10 (9)	2 (25 000)	1 (25 000)	3 (25 000)	4 (25 000)	5 (25 200)	6 (25 300)



Если решить ту же задачу, *отбросив ограничения* для БМ 1 и 2 относительно цели 10, получим следующий результат:

номер цели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
номер БМ	5	6	6	6	5	5	4	3	2	1

значение критерия: 74 154 м,  
время решения: 0,0000001 с.

При этом значение критерия улучшилось (с 74 539 до 74 154 м), для цели 10 вместо БМ 3 используется БМ 1. Это естественно, так как возможностей стало больше. Незначительное отличие критерия объясняется расположением БМ и целей, в других случаях расхождение может быть значительным.

*Методом полного перебора* получается следующее решение:

номер цели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
номер БМ	6	6	6	5	5	5	4	3	2	3

значение критерия: 74 219 м,  
время решения: 6,48 с.

Разумеется, значение критерия 74 219 м лучше, чем полученное декомпозиционным методом — 74 539 м.

Определенный интерес представляет *противоположное решение*, фиксирующее наихудший результат, это позволяет на фоне оптимального ре-

шения более четко понять сущность целераспределения, переходя от количественных оценок к качественному восприятию проблемы. В связи с этим имеем

номер цели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
номер БМ	1	1	2	2	3	3	6	6	5	6

значение критерия: 93 606 м,  
время решения: 6,47 с.

Заметное различие значений критерия в 74 219 и 93 606 м и принципиально разный список номеров БМ свидетельствуют, что оптимизация для данной задачи дает заметный эффект.

#### 4. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЦЕЛЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СЛУЧАЕ МАССИРОВАННОЙ АТАКИ

Данный пример затрагивает гипотетический случай, более напоминающий стратегическое управление противовоздушной обороной в случае массированной атаки противника, здесь боекомплект группировки насчитывает 800 ракет на фоне 990 активных целей. Тогда, естественно, 190 целей не могут быть распределены между имеющимися БМ. При этом число возможных целераспределений составляет  $7^{990}$ , что сопоставимо с числом  $10^{780}$ .

Таблица 3

Результаты решения задачи в случае большого числа целей и семи БМ

Цель	БМ	Цель	БМ	Цель	БМ	Цель	БМ	Цель	БМ	Цель	БМ	Цель	БМ	Цель	БМ	Цель	БМ	Цель	БМ
1	6	2	6	3	6	4	6	5	4	6	3	7	-1	8	3	9	2	10	3
11	4	12	1	13	-1	14	2	15	5	16	1	17	6	18	3	19	5	20	5
21	5	22	6	23	1	24	6	25	6	26	6	27	6	28	6	29	6	30	5
31	6	32	6	33	6	34	6	35	6	36	5	37	5	38	5	39	4	40	6
41	6	42	2	43	4	44	6	45	6	46	6	47	6	48	5	49	3	50	1
51	6	52	4	53	6	54	5	55	6	56	6	57	4	58	5	59	6	60	4
61	5	62	-1	63	4	64	5	65	5	66	6	67	6	68	6	69	5	70	6
71	4	72	5	73	6	74	6	75	6	76	6	77	6	78	2	79	6	80	3
81	4	82	6	83	1	84	6	85	4	86	6	87	6	88	4	89	6	90	6
91	6	92	1	93	-1	94	3	95	5	96	5	97	6	98	4	99	6	100	3
101	6	102	6	103	6	104	6	105	5	106	5	107	6	108	6	109	6	110	6
881	1	882	1	883	4	884	2	885	3	886	1	887	3	888	-1	889	-1	890	2
891	-1	892	1	893	3	884	3	885	-1	896	3	897	3	898	2	899	-1	900	-1
901	-1	902	-1	903	-1	904	-1	905	1	906	-1	907	1	908	2	909	2	910	4
911	2	912	4	913	-1	914	2	915	3	916	1	917	1	918	-1	919	4	920	4
921	1	922	4	923	3	924	-1	925	3	926	3	927	-1	928	2	929	3	930	2
931	-1	932	-1	933	-1	934	3	935	-1	936	3	937	-1	938	-1	939	-1	940	4
941	1	942	-1	943	-1	944	1	945	2	946	-1	947	1	948	1	949	1	950	2
951	-1	952	3	953	-1	954	-1	955	-1	956	2	947	1	958	4	959	4	960	1
961	3	962	-1	963	-1	964	2	965	4	966	3	967	7	968	3	969	7	970	-1
971	2	972	2	973	-1	974	3	975	3	976	2	977	2	978	4	979	1	980	-1
981	7	982	2	983	1	984	-1	985	-1	986	-1	987	2	988	2	989	3	990	-1

Время счета (процессорное) — 0,14062500000000 с.  
Общее время работы программы — 0,17199999998661 с.

**Результаты решения задачи целераспределения в случае недостающего вооружения**

Цель	БМ																		
1	-1	2	-1	3	4	4	6	5	6	6	1	7	1	8	-3	9	-1	10	3
11	1	12	6	13	-1	14	6	15	5	16	5	17	1	18	-1	19	6	20	-1
21	-1	22	-1	23	3	24	6	25	-1	26	6	27	-1	28	4	29	6	30	-1
31	6	32	5	33	-1	34	-1	35	6	36	5	37	-1	38	4	39	3	40	2
41	5	42	-1	43	6	44	3	45	5	46	2	47	4	48	5	49	2	50	-1
51	4	52	4	53	4	54	1	55	1	56	1	57	4	58	3	59	3	60	3
61	2	62	2	63	-1	64	2	65	-1	66	6	67	3	68	-1	69	1	70	2
71	4	72	-1	73	1	74	1	75	5	76	-1	77	3	78	-1	79	2	80	4
81	1	82	5	83	4	84	4	85	-1	86	3	87	3	88	5	89	5	90	2
91	1	92	1	93	2	94	-1	95	5	96	2	97	2						

В усеченной табл. 3 в каждом столбце указан номер цели, второй — установленный в процессе оптимизации номер БМ. Минус единица символизирует состояние свободной, не привязанной к БМ цели. При этом распределенные цели согласно методу представляют наибольшую угрозу, и работа с ними должна проводиться в первую очередь, для них вооружение выделяется по правилу «наиболее важным целям выделять лучшие ресурсы»; более того, они также проранжированы по возрастанию значений критерия — времени подлета. Характерно, что время оценки состояния системы обороны с учетом собственных возможностей и действий противника минимально и составляет доли секунды, что важно в современных условиях ведения боевых действий.

#### 5. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЦЕЛЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ НЕДОСТАЮЩЕМ ВООРУЖЕНИИ

Данный пример затрагивает случай большого числа целей (97 единиц) и вооружений (72 ракеты для шести БМ) с превосходством первых, когда 25 целей остаются свободными (отмечены как минус единица). При этом наиболее актуальные цели, их 72, равномерно распределены по имеющимся БМ с учетом времени подлета и количества вооружений на каждой из них (табл. 4).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан новый метод решения задачи распределения целей между боевыми машинами батареи с учетом ограничений по боекомплекту на каждой из них, а также требований-ограничений других подсистем боевой машины, позволяющий распределять до 1000 целей между боевыми машинами батареи.

В качестве критерия принятия решений принято подлетное время между боевой машиной и целью. С формальной точки зрения содержание критерия не является принципиальным — т. е., если связь «цель — боевая машина» определять по-другому, то методика принятия решений не изменится, что важно в смысле развития и преемственности метода.

Установлено, что время реализации алгоритма незначительно даже при числе целей порядка 100 и более (1000 целей). Это особенно важно в перспективе, так как возможности систем вооружений постоянно наращиваются. При этом задача целераспределения решается в динамике, когда время реакции системы управления на текущие события должно быть минимальным.

Метод применим для различных систем вооружения с множеством целей и несколькими единицами однотипных боевых машин в состояниях полного либо частичного наличия боекомплекта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и трудно решаемые задачи. — М.: Мир, 1982. — 416 с.
2. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, 1981. — 448 с.
3. Гиг ван Дж. Прикладная общая теория систем. — М.: Мир, 1981. — 336 с.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Н. Бурковым.*

**Слугин Валерий Георгиевич** — гл. конструктор,

**Зубарев Александр Анатольевич** — зам. гл. конструктора, нач. отделения,

**Шевцов Олег Юрьевич** — зам. гл. конструктора, нач. отделения, **Мехтиев Аббас Ядулла-оглы** — нач. отдела,

**Ковешников Владимир Алексеевич** — канд. техн. наук, вед. инженер,

АО «Конструкторское бюро приборостроения им. академика А.Г. Шипунова», г. Тула, ✉ kbkedr@tula.net.

# ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СООТНОШЕНИЯ РАСХОДОВ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ «СОЮЗ»

А.И. Чадаев, Е.И. Тропова

Рассмотрены основные этапы развития и технические особенности систем регулирования соотношения расходов компонентов топлива для семейства ракет-носителей (РН) типа «Союз» — от РН «Спутник» до РН «Союз-2». Показана эволюция формирования регулируемой координаты.

**Ключевые слова:** ракета-носитель, система регулирования соотношения расходов компонентов топлива, система управления расходом топлива.

## ВВЕДЕНИЕ

Обычно в состав системы управления расходом топлива (СУРТ) отечественных и зарубежных космических ракет-носителей (РН) и межконтинентальных баллистических ракет входит либо система внутриблочного регулирования опорожнения баков (СОБ), либо система регулирования соотношения расходов компонентов топлива (РСК).

Ракета-носитель типа «Союз» является уникальной отечественной ракетой-носителем, в составе СУРТ I и II ступеней которой успешно совместно работают СОБ и система РСК.

В настоящем сообщении рассматриваются основные этапы развития только одной из подсистем СУРТ, а именно, системы РСК.

## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ РСК

Необходимость создания в составе СУРТ (дополнительно к СОБ) системы РСК возникла в начале 1950-х гг. при разработке двухступенчатой РН «Спутник», чтобы обеспечить:

- парирование влияния быстро (и сильно) изменяющихся внешних факторов (давлений на входе в двигатели РН и температур компонентов топлива) на соотношение расходов компонентов топлива при низком быстродействии СОБ;

- высокоточную отработку управляющего сигнала СОБ при существенном разбросе параметров

нелинейных регулирующих органов (дросселей) и их приводов.

На рисунке приведена структурная схема системы РСК бокового блока современной РН «Союз-2».

В качестве датчиков системы РСК были выбраны и донныне применяются расходомеры компонентов топлива «вертушечного» типа.

В своем развитии система РСК к настоящему времени прошла несколько этапов.

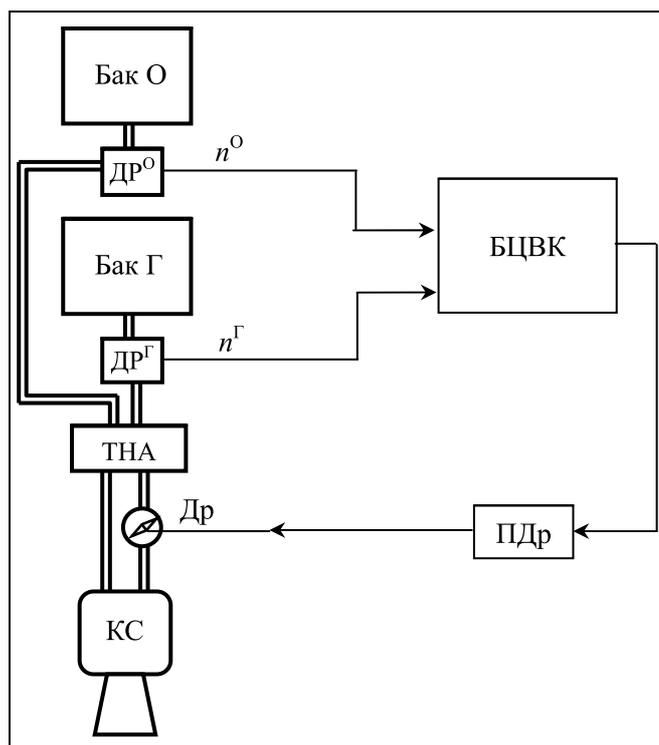
На первом этапе развития РСК в рамках существовавшей аналоговой техники измеряемая координата — текущее значение коэффициента соотношения объемных расходов компонентов топлива ( $K$ ) — формировалась на основе радиочастотной техники (в виде разности частот выходных сигналов расходомеров окислителя и горючего):

$$K = A(f_o - f_r),$$

где  $f_o$  и  $f_r$  — частоты выходных сигналов расходомеров окислителя и горючего,  $A$  — коэффициент пропорциональности.

Из-за существенных ограничений мощности используемых на борту РН приводов алгоритм работы системы РСК определялся в классе релейных (с зоной нечувствительности) алгоритмов.

Текущее значение регулируемой координаты системы РСК (относительного отклонения  $\delta K$  текущего значения коэффициента соотношения объ-



**Структурная схема системы РСК бокового блока РН «Союз-2»:**

Бак О — бак окислителя, Бак Г — бак горючего;  $ДР^О$ ,  $ДР^Г$  — датчики расхода окислителя, горючего;  $n^О$  и  $n^Г$  — выходные сигналы расходомеров окислителя и горючего — числа импульсов, поступивших с расходомеров окислителя и горючего, характеризующие объемы компонентов, прошедших через двигатель за время наблюдения; БЦВК — бортовой цифровой вычислительный комплекс; ТНА — турбонасосный агрегат; ПДр — привод дросселя; Др — дроссель; КС — камера сгорания

емных расходов компонентов топлива  $K$  от его номинального значения  $K_{ном}$ ) записывается в виде:

$$\delta K_{отр} = \begin{cases} K/K_{ном} - 1, & \text{если } \delta K_{зн} < |K/K_{ном} - 1| \leq \delta K_{доп}; \\ 0, & \text{если } |K/K_{ном} - 1| \leq \delta K_{зн} \\ & \text{или } |K/K_{ном} - 1| > \delta K_{доп}; \end{cases}$$

где  $\delta K_{отр}$  — величина, определяющая формирование сигнала отработки, поступающего на привод дросселя;  $\delta K_{доп}$  — допустимое значение отклонения коэффициента  $K$ ;  $\delta K_{зн}$  — значение зоны нечувствительности.

Уже на начальном этапе стендовой отработки СУРТ проявились сильные автоколебания в работе системы РСК (с амплитудой до (3...5) %  $K_{ном}$ ), поставившие под сомнение возможность выполнения заданных требований по точности поддержания соотношения расходов и конечному вре-

менному рассогласованию объемов компонентов топлива.

В результате последовавшего затем цикла исследований причин возникновения этих автоколебаний были определены способы их подавления, сводящиеся к:

- повышению зоны нечувствительности системы РСК;

- введению так называемой «скоростной» обратной связи с привода дросселя, реализуемой в виде релейной обратной связи с управляющего механизма привода.

Параметры зоны нечувствительности и обратной связи выбирались из условия, чтобы при работе на наиболее крутом участке характеристики дросселя автоколебания полностью подавлялись. Однако на более пологих участках характеристики дросселя возникает скользящий режим переменной частоты и скважности. Чем более пологий участок характеристики дросселя, тем больше интервал времени отработки управляющего сигнала.

Именно в такой реализации система РСК эксплуатировалась в составе СУРТ последовательно на РН «Спутник», «Восток», «Молния» и «Союз».

На следующем этапе развития системы РСК (при переходе от радиочастотной техники к микропроцессорной) удалось добиться повышения точностных и эксплуатационных характеристик регулирования соотношения расходов компонентов топлива благодаря:

- переходу от регулирования по разности частот выходных сигналов расходомеров окислителя и горючего к регулированию по соотношению периодов тех же сигналов

$$K = T_o/T_r,$$

где  $T_o$  и  $T_r$  — периоды выходных сигналов расходомеров окислителя и горючего,

- применению широтно-импульсной модуляции (вне зоны нечувствительности) управляющего сигнала системы РСК.

В такой реализации система РСК эксплуатируется в настоящее время на РН «Союз-У» и «Союз-ФГ».

На современном этапе развития системы РСК при разработке (на рубеже столетий) РН «Союз-2» и «Союз-СТ» [1, 2], предусматривающей перевод системы РСК на вычислительную базу БЦВК (с большой длительностью цикла вычислений), произошла очередная смена регулируемой координаты системы РСК, в качестве которой принята величина

$$K = Cn_o/n_r,$$



где  $C = C_o/C_r$ ,  $C_o$  и  $C_r$  — тарифовочные значения цены импульсов расходомеров окислителя и горючего,  $n_o$  и  $n_r$  — число импульсов, поступивших с расходомеров окислителя и горючего на скользящем интервале времени наблюдения  $T_{\text{наб}}$ .

Поскольку дискретность измерения  $n_o$  и  $n_r$  оказывает существенное влияние на точностные характеристики работы РСК, то длительность интервала  $T_{\text{наб}}$  определялась из условия удовлетворительного снижения влияния дискретности чисел  $n_o$  и  $n_r$  на процесс регулирования соотношения расходов компонентов топлива, полностью обеспечивая выполнение всех заданных точностных требований к работе системы РСК.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате реализации рассмотренных этапов развития системы РСК, соответствующих жизненному циклу развития РН типа «Союз» — от РН «Спутник» до РН «Союз-2» и «Союз-СТ», была со-

здана успешно работающая система РСК, несмотря на существенные различия условий ее функционирования на этих ракетах (по действующим в полете перегрузкам и пр.).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов Д.И. Основные направления модернизации космических средств выведения среднего класса типа ракеты-носителя «Союз» // Космонавтика и ракетостроение. — 1999. — № 5. — С. 42—48.
2. Андриенко А.Я., Бельский Л.Н., Заплатин М.И. и др. Цифровая система управления расходом топлива РКН «Союз-2» и «Союз-СТ» // Проблемы управления. — 2012. — № 5. — С. 81—83.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Б.В. Павловым.*

**Чадаев Александр Иванович** — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,

**Тропова Елена Ивановна** — науч. сотрудник,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ✉ vladguc@ipu.rssi.ru.

## УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В 2017 г.

**Асанов А.З., Мышкина И.Ю.** Исследование возможности применения нейронных сетей при решении задачи отбора команды для реализации проекта. — № 1. — С. 31—39.

**Бабушкина Н.А., Глумов В.М., Кузина Е.А.** Применение математического моделирования для оценки эффективности противоопухолевых вирусных вакцин. — № 3. — С. 49—56.

**Белов М.В.** Модели управления численностью сотрудников предприятия. — № 1. — С. 19—30.

**Вересников Г.С., Огородников О.В., Панкова Л.А., Пронина В.А.** Решение задач предварительного проектирования в условиях параметрической неопределенности. — № 4. — С. 65—73.

**Владимир Васильевич Кульба** (к 80-летию со дня рождения и 55-летию работы в ИПУ РАН). — № 2. — С. 73, 74.

**Волковицкий А.К., Каршаков Е.В., Тхоренко М.Ю., Павлов Б.В.** Применение магнитоградиентометров для управления магнитным полем подвижного объекта. — № 2. — С. 68—72.

**Галяев А.А., Лысенко П.В., Яхно В.П.** Задача планирования оптимального движения объекта через район случайного поиска. — № 5. — С. 77—83.

**Гарбук С.В., Бакеев Р.Н.** Конкурентная оценка качества технологий интеллектуальной обработки данных. — № 6. — С. 50—62.

**Гераськин М.И.** Оптимальный механизм распределения эффекта в интегрированной сильносвязанной системе анонимных агентов с трансферабельной полезностью. — № 2. — С. 27—41.

**Гребенюк Е.А., Малинкина А.В.** Сравнение методов эконометрического анализа данных для идентификации финансовых пузырей. — № 4. — С. 17—25.

**Григорьев Л.И., Чернышева О.Н., Кучерявый В.В.** Оценка профессионально важных психологических характеристик

диспетчера в человеко-машинных системах АСУТП нефтегазового производства. — № 1. — С. 65—74.

**Гусев В.Б., Исаева Н.А.** экспертный анализ системы управления нематериальными активами с учетом оценок рисков. — № 1. — С. 40—46.

**XXIV Международная конференция «Проблемы управления безопасностью сложных систем».** — № 2. — С. 75—79.

**Девятая международная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2016.** — № 3. — С. 70—74.

**Добровидов А.В., Тевосян В.Э.** Непараметрическая оценка волатильности и ее параметрические аналоги. — № 4. — С. 26—36.

**Железнов К.О., Хлебников М.В.** Синтез обратной связи для линейной системы управления с возмущением на входах и выходах: робастная постановка. — № 3. — С. 11—16.

**Завадский В.К., Иванов В.П., Каблова Е.Б., Кленовая Л.Г.** Алгоритмы терминального управления с прогнозированием невязок подвижных краевых условий. — № 3. — С. 57—63.

**Зак Ю.А.** Выбор эффективного технологического режима в условиях нечеткой регрессионной математической модели. — № 5. — С. 70—76.

**Зацаринный А.А., Ильин Н.И., Колин К.К.** и др. Ситуационные центры развития в полисубъектной среде. — № 5. — С. 31—42.

**Зацаринный А.А., Козлов С.В., Шабанов А.П.** Интероперабельность консолидируемых организационных систем. — № 6. — С. 43—49.

**Иванов Н.Н.** Обобщенные стохастические сетевые графики с управляющими дугами. — № 6. — С. 15—18.

**Кантор О.Г., Кузнецова Ю.А.** Оценка уровня развития социальных инноваций. — № 6. — С. 32—42.



- Корноушенко Е.К.** Простой алгоритм номинальной классификации по качественным признакам. — № 1. — С. 2—9.
- Корытов М.С.** Перемещение грузовой тележки мостового крана в режиме подавления неуправляемых колебаний груза. — № 2. — С. 10—16.
- Кузнецов С.К., Потехин А.И.** Современные системы поддержки принятия решений железнодорожным диспетчером. — № 6. — С. 2—14.
- Кулида Е.Л., Лебедев В.Г.** Генерация траекторий заданной длины при предпосадочном маневрировании воздушного судна в условиях сложного рельефа местности. — № 4. — С. 59—64.
- Курако Е.А., Орлов В.Л.** Методы динамического обновления программных комплексов для систем с каскадной структурой. — № 5. — С. 52—60.
- Курако Е.А., Орлов В.Л.** Системы объектно-связанного документооборота и организация их взаимодействия с бизнес-процессами. — № 2. — С. 42—49.
- Леонидов А.В., Серебрянникова Е.Е.** Динамическая модель несовершенной конкуренции в многосекторной экономике. — № 4. — С. 8—16.
- Логинов М.П.** Дорожные карты: понятие, сущность, классификация. — № 5. — С. 2—17.
- Логиновский О.В., Максимов А.А.** Стратегическое управление регионами: от сложившихся подходов к учету современных реалий. — № 6. — С. 19—31.
- Макаренко А.В.** Метризация Т-алфавита: измерение расстояния между многомерными вещественными дискретными последовательностями. — № 2. — С. 2—9.
- Макриденко Л.А., Геча В.Я., Сидняев Н.И.** и др. Определение высотных характеристик электрических ракетных двигателей космического аппарата методами планирования эксперимента. — № 1. — С. 75—85.
- Микрин Е.А., Сомов С.К.** Анализ методов оперативного резервирования информации в вычислительных сетях. — № 4. — С. 45—53.
- Муранов А.А.** Оценка динамических процессов в системах управления расходом топлива моноблочных жидкостных ракет-носителей при летно-конструкторских испытаниях. — № 3. — С. 64—69.
- Муринович А.А., Логинов М.П.** Особенности управления портфелем межрегиональных проектов и программ. — № 3. — С. 26—36.
- Поудиновский В.В.** Согласительные решения многокритериальных задач выбора. — № 2. — С. 17—26.
- Подлазов В.С.** Внутренняя параллельность системных сетей с инкрементированным диаметром. — № 3. — С. 43—48.
- Подлазов В.С.** расширенное мультикольцо с инкрементированным диаметром. — № 4. — С. 54—58.
- Русяева Е.Ю., Салтыков С.А.** Концептуальные основы теории активных систем, их развитие в теории управления организационными системами: тенденции и перспективы. — № 4. — С. 74—83.
- Рябчиков М.Ю.** Адаптация теплотехнических моделей протяженной башенной печи и нагрева металла для управления температурными режимами отжига стальной полосы. — № 5. — С. 61—69.
- Салтыков С.А., Русяева Е.Ю.** Медиация в науковедении: экспертно-наукометрический подход. — № 6. — С. 63—67.
- Сапожников В.В., Сапожников В.В., Ефанов Д.В.** Построение самопроверяемых структур систем функционального контроля на основе равновесного кода «2 из 4». — № 1. — С. 57—64.
- Сараев П.В., Полозова Ю.Е., Полозов Ю.Л.** Применение результатов интервального нейросетевого прогнозирования для калибровки средств измерений в системах управления. — № 2. — С. 50—55.
- Сидельников Ю.В.** Формирование понятийно-терминологического аппарата экспертологии. — № 5. — С. 18—30.
- Сиротюк В.О.** Модели и методы построения эффективных механизмов защиты структур патентных баз данных. — № 5. — С. 43—51.
- Слугин В.Г., Зубарев А.А., Шевцов О.Ю.** и др. Декомпозиционный метод решения задачи целераспределения в оперативном режиме. — № 6. — С. 68—74.
- Стенников В.А., Пеньковский А.В., Хамисов О.В.** Поиск равновесия Курно на рынке тепловой энергии в условиях конкурентного поведения источников тепла. — № 1. — С. 10—18.
- Щецюра Г.Г.** Компьютерная сеть с быстрой распределенной перестройкой своей структуры и обработкой данных в процессе их передачи. — № 1. — С. 47—56.
- Сыров А.С., Рутковский В.Ю., Глузов В.М.** и др. Особенности синтеза системы угловой стабилизации высокоточных беспилотных летательных аппаратов. — № 2. — С. 56—67.
- Толок А.В., Толок Н.Б.** Решение задач математического программирования функционально-воксельным методом. — № 3. — С. 37—42.
- Хасянова С.Ю.** Совершенствование управления достаточностью капитала в коммерческих банках. — № 4. — С. 37—44.
- Цыкунов А.М.** Робастное управление линейными объектами с переключениями. — № 4. — С. 2—7.
- Чадаев А.И., Тропова Е.И.** Этапы развития систем регулирования соотношения расходов компонентов топлива жидкостных ракет-носителей типа «Союз». — № 6. — С. 75—77.
- Честнов В.Н., Самшорин Н.И.** Синтез регуляторов по заданному показателю колебательности: параметрические и внешние возмущения, ограниченные по мощности. — № 3. — С. 17—25.
- Шведов А.С.** Нечеткое математическое программирование: краткий обзор. — № 3. — С. 2—10.

## INDEX OF PAPERS PUBLISHED IN 2017

**Asanov A.Z., Myshkina I.Yu.** The research of neural networks application possibility in solving team selection problem for project implementation. — N 1. — P. 31—39.

**Babushkina N.A., Glumov V.M., Kuzina E.A.** Using mathematical modeling to assess the effectiveness of anti-tumor vaccine therapy method. — N 3. — P. 49—56.

**Belov M.V.** Models of enterprise headcount management using dynamic programming method. — N 1. — P. 19—30.

**Chadaev A.I., Tropova E.I.** Stages of the development of fuel-oxidant flow rates ratio control systems in liquid-propellant launch vehicles of the «Sojuz» type (parts of history). — N 6. — P. 75—77.

**Chestnov V.N., Samshorin N.I.** Controllers design via given oscillation index: parametric uncertainty and power-bounded external disturbances. — N 3. — P. 17—25.

**Dobrovidov A.V., Tevosian V.E.** Nonparametric estimation of volatility and its parametric analogues. — N 4. — P. 26—36.



- Galyaev A.A., Lysenko P.V., Yakhno V.P.** Planning problem of object motion through area of random search. — N 5. — P. 77–83.
- Garbuk S.V., Bakeev R.N.** Competitive quality assessment of intellectual data processing technologies. — N 6. — P. 50–62.
- Geraskin M.I.** The optimal mechanism of effect distribution in integrated strongly connected system of anonymous agents with transferable utility. — N 2. — P. 27–41.
- Grebenyuk E.A., Malinkina A.V.** Comparison of the econometric data analysis methods for the financial bubbles identification. — N 4. — P. 17–25.
- Grigoriev L.I., Chernisheva O.N., Kucheryaviy V.V.** Evaluation of professionally significant psychological characteristics of supervisor in human-machine systems of technological processes automatic control in oil-gas industry. — N 2. — P. 65–74.
- Gusev V.B., Isaeva N.A.** Intangible assets management system expert analysis with risk assessment. — N 1. — P. 40–46.
- Ivanov N.N.** The generalized stochastic networks with control arcs. — N 6. — P. 15–18.
- Kantor O.G., Kuznetsova Yu.A.** The evaluation of social innovations development level. — N 6. — P. 32–42.
- Khasyanova S.Yu.** The enhancement of capita adequacy management in commercial banks. — N 4. — P. 37–44.
- Kornoushenko E.K.** A simple nominal classification algorithm based on qualitative features. — N 1. — P. 2–9.
- Korytov M.S.** Bridge crane trolley movement in the anti-sway mode. — N 2. — P. 10–16.
- Kulida E.L., Lebedev V.G.** Generating trajectories of specified length at aircraft pre-landing maneuvering over the complex terrain. — N 4. — P. 59–64.
- Kurako E.A., Orlov V.L.** Object-associated document flow systems and organization of their interaction with business processes. — N 2. — P. 42–49.
- Kurako E.A., Orlov V.L.** Methods of software complexes dynamic update for systems with cascade structure. — N 5. — P. 52–60.
- Kuznetsov S.K., Potekhin A.I.** Modern decision support systems for train dispatcher. — N 6. — P. 2–14.
- Leonidov A.V., Serebryannikova E.E.** Dynamic model of imperfect competition in multi-sector economy. — N 4. — P. 8–16.
- Loginov M.P.** The roadmap: concept, nature, classification. — N 5. — P. 2–17.
- Loginovskiy O.V., A.A. Maksimov A.A.** Strategic governance of regions: from standard approaches to new reality. — N 6. — P. 19–31.
- Makarenko A.V.** A metrization of the T-alphabet: measuring the distance between multidimensional real discrete sequences. — N 2. — P. 2–9.
- Makridenko L.A., Gecha V.J., Sidnyaev N.I., et al.** Determination of spacecraft electric jet engines altitude performance with the methods of experimental design. — N 1. — P. 75–85.
- Mikrin E.A., Somov S.K.** Analysis of the online backup methods in computer. — N 4. — P. 45–53.
- Muranov A.A.** Evaluation of dynamic processes in control systems of the fuel expenditure in monoblock liquid rockets at flying-designer tests. — N 3. — P. 64–69.
- Murinovich A.A., Loginov M.P.** Management framework of inter-regional projects and programmes portfolio in Russia. — N 3. — P. 26–36.
- Podinovski V.V.** Conciliative solutions for multicriterial choice problems. — N 2. — P. 17–26.
- Podlazov V.S.** Extended multiring with incremented diameter. — N 4. — P. 54–58.
- Podlazov V.S.** Internal parallelism of system-area networks with incremental diameter. — N 3. — P. 43–48.
- Rusyaeva E.Yu., Saltykov S.A.** Conceptual bases of theory of active systems, their development in control theory of organizational systems: tendencies and perspectives. — N 4. — P. 74–83.
- Ryabchikov M.Yu.** Adaptation of strand-type tower furnace heating simulation and of metal heating for steel strip annealing heating modes management. — N 5. — P. 61–69.
- Saltykov S.A., Rusyaeva E.Yu.** Mediation in science of science: the expert scientometric approach. — N 6. — P. 63–67.
- Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.I., Efanov D.V.** Design of self-checking concurrent error detection systems based on «2-out-of-4» constant-weight code. — N 1. — P. 57–64.
- Saraev P.V., Polozova Y.E., Polozov Y.L.** Using interval neural network prediction for measuring instruments calibration in control systems. — N 2. — P. 50–55.
- Shvedov A.S.** Fuzzy mathematical programming: a brief review. — N 3. — P. 2–10.
- Sidelnikov Yu.V.** Forming the conceptual and terminological apparatus of the expertology. — N 5. — P. 18–30.
- Sirotyuk V.O.** Models and methods of constructing the effective mechanisms to protect patent databases structures. — N 5. — P. 43–51.
- Slugin V.G., Zubarev A.A., Shevtsov O.U., et al.** Decomposition method of target distribution task solution in real time mode. — N 6. — P. 68–74.
- Stennikov V.A., Penkovskii A.V., Khamisov O.V.** Search for Cournot equilibrium on the heat energy market in the conditions of heat sources competitive behaviour. — N 1. — P. 10–18.
- Stetsyura G.G.** The computer network with distributed fast changing of structure, and with data processing during transmission. — N 1. — P. 47–56.
- Syrova A.S., Rutkovskiy V.Yu., Glumov V.M., et al.** Specific features of the attitude stabilization system synthesis for high precision unmanned aerial vehicles. — N 2. — P. 56–67.
- The 9<sup>th</sup> international conference «Management of large-scale system development MLSD'2016».** — N 3. — P. 70–74.
- Tolok A.V., Tolok N.B.** Mathematical programming problems solving by functional voxel method. — N 3. — P. 37–42.
- Tsykunov A.M.** Robust control of linear systems with switching. — N 4. — P. 2–7.
- Veresnikov G.S., Ogorodnikov O.V., Pankova L.A., Pronina V.A.** Solving preliminary design problems under conditions of parametric uncertainty. — N 4. — P. 65–73.
- Vladimir Vasilievich Kulba** (on the occasion of 80<sup>th</sup> anniversary from the date of birth and 55<sup>th</sup> anniversary of work in the Institute of Control Sciences). — N 2. — P. 73, 74.
- Volkovitskiy A.K., Karshakov E.V., Tkhorenko M.Yu., Pavlov B.V.** Magnetic gradiometry application for the moving object magnetic field control. — N 2. — P. 68–72.
- XXIV International conference «The problems of complex systems security management».** — N 2. — P. 75–79.
- Zak Yu.A.** Selection of an effective technological mode in the conditions of fuzzy-regression mathematical model. — N 5. — P. 70–76.
- Zatsarinnyy A.A., Ilyin N.I., Kolin K.K., et al.** Situational centers of the development in polysubject environment. — N 5. — P. 31–42.
- Zatsarinnyy A.A., Kozlov S.V., Shabanov A.P.** Interoperability of organizational systems in addressing common challenges. — N 6. — P. 43–49.
- Zawadzki V.K., Ivanov V.P., Kablova E.B., Klenovaya L.G.** Terminal control algorithms with predictions of the moving boundary conditions residuals. — N 3. — P. 57–63.
- Zheleznov K.O., Khlebnikov M.V.** Feedback design for linear control system with disturbance in both input and output: robust statement. — N 3. — P. 11–16.

# CONTENTS & ABSTRACTS

## MODERN DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR TRAIN DISPATCHER . . . . . 2

**Kuznetsov S.K., Potekhin A.I.**

The main problems of train dispatcher work are considered. Substantiated is the need to develop the smart decision support systems, containing the means for predicting the situation development in case of delays in train traffic or malfunction of railway system objects. A review is given of several foreign systems, providing such functionality. Discrete event models of railway infrastructure components (stations, stages, etc.), models of trains movement group control are considered and represented in the form of Petri Nets in order to build automatic systems, providing safe trains movement control in real-time mode.

**Keywords:** dynamic management, railway transport, forecasting technique, discrete event model, railway infrastructure components, Petri Net, logic management, safety.

## THE GENERALIZED STOCHASTIC NETWORKS WITH CONTROL ARCS . . . . . 15

**Ivanov N.N.**

The execution time management algorithms are proposed for the generalized stochastic network, based on the implementation of the control arcs. The method is suggested of calculating the average execution time of the network with control arcs and of assessing it in different modes of their activation.

**Keywords:** generalized stochastic network, critical path, the control arcs, run-time network, simulation.

## STRATEGIC GOVERNANCE OF REGIONS: FROM STANDARD APPROACHES TO NEW REALITY . . . . . 19

**Loginovsky O.V., Maksimov A.A.**

The results are presented of the analysis of approaches, conceptions, programs and established practice of regions development strategic management in our country and abroad. Based on trends revealed and taking into account the world global instability factors, the set is formulated of scientific provisions on forming the actual management strategy of social and economic development of the regions in modern Russia.

**Keywords:** strategic management, social and economic development, region, territory.

## THE EVALUATION OF SOCIAL INNOVATIONS DEVELOPMENT LEVEL . . . . . 32

**Kantor O.G., Kuznetsova Yu.A.**

It is noted that the essential stage of the Innovation Centers in the Social Sector (ICSS) functioning effectiveness control from the side of state authorities consists in evaluating the social innovations development level. The methodological approaches are considered to the development of the system of comparable indicators, meeting the objectives of social innovations sphere monitoring both nationwide and on the level of state subjects. The evaluation of the activity indicators is performed of the ICSS of the Omsk region in accordance with the methods presented.

**Keywords:** social innovation, management, evaluation, performance, indicative approach, harrington desirability function, fuzzy sets theory, metric analysis, innovation centers in the social sector.

## INTEROPERABILITY OF ORGANIZATIONAL SYSTEMS IN ADDRESSING COMMON CHALLENGES . . . . . 43

**Zatsarinnyy A.A., Kozlov S.V., Shabanov A.P.**

The method is developed of managing the organizational systems functioning, and technological solutions are suggested to provide the interoperability between their information systems. It is noted that the practical significance is in ensuring the possibility of creating the unified information and control environment for consolidatable organizational systems, solving the common tasks on the permanent basis and the tasks resulting from run-time situation including emergencies.

**Keywords:** organizational system, management, information, knowledge base, unified information management, efficiency.

## COMPETITIVE QUALITY ASSESSMENT OF INTELLECTUAL DATA PROCESSING TECHNOLOGIES . . . . . 50

**Garbuk S.V., Bakeev R.N.**

Problems and approaches are considered to data processing technologies quality assessment. The review is given of existing domestic and foreign competitive procedures in the field of data analysis technologies and machine learning (competitions, tournaments, etc.). The methodology is suggested of intelligent data processing technologies quality assessment by comparing it with human operator work quality.

**Keywords:** machine learning, data analysis technology, intellectual technologies, competitive quality assessment.

## MEDIATION IN SCIENCE OF SCIENCE: THE EXPERT SCIENTOMETRIC APPROACH. . . . . 63

**Saltykov S.A., Rusyaeva E.Yu.**

A mediation approach is proposed in science of science, combining the advantages of an expert and of a scientometric approaches, the conceptual foundations of this approach are indicated. The algorithm of expert scientometric estimating is described.

**Keywords:** mediation, expert scientometric approach, assessment factors, strata of scientists.

## DECOMPOSITION METHOD OF TARGET DISTRIBUTION TASK SOLUTION IN REAL TIME MODE . . . . . 68

**Slugin V.G., Zubarev A.A., Shevtsov O.U., et al.**

It is noted that the efficiency of an air defence complex functioning is determined by the technical capabilities and the quality of control under operation participants. The method is developed allowing the effective solution split second forming for arbitrary number of targets and combat vehicles, taking into account the full or partial ammunition load of each of them, and providing the balanced load between them.

**Keywords:** targets distribution, efficiency, modeling, optimization, decomposition, operations study.

## STAGES OF THE DEVELOPMENT OF FUEL-OXIDANT FLOW RATES RATIO CONTROL SYSTEMS IN LIQUID-PROPELLANT LAUNCH VEHICLES OF THE «SoJuz» TYPE (PARTS OF HISTORY). . . . . 75

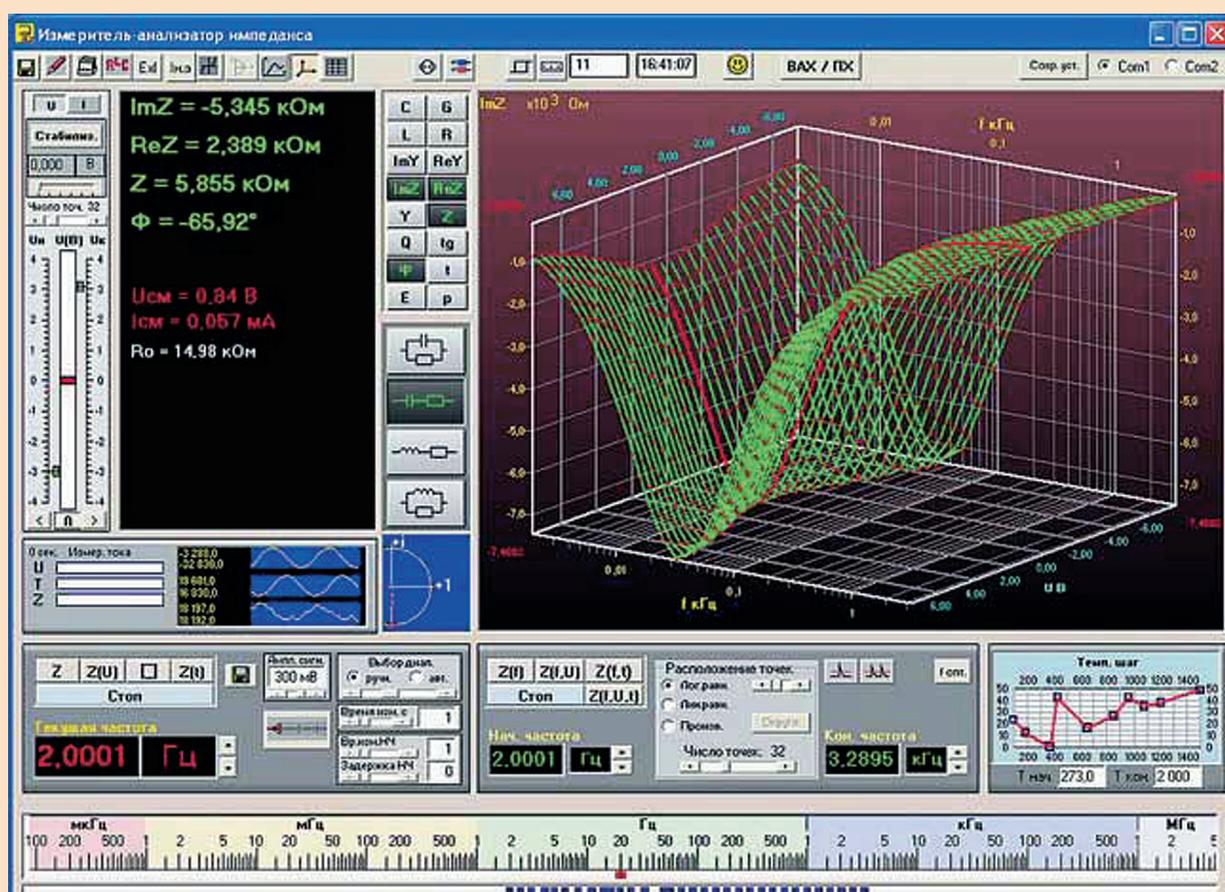
**Chadaev A.I., Tropova E.I.**

The main stages of the development are stated of the fuel-oxidant flow rates ratio control systems for the «Sojuz» launch vehicles (LV) family — from the LV «Sputnik» to the LV «SOJUZ-2».

**Keywords:** launch vehicle, fuel-oxidant flow rates ratio control system, propellant-consumption control system.

# Виртуальный измеритель-анализатор импеданса для научных исследований и промышленного контроля

Представляет собой малогабаритный преобразователь и программное обеспечение, позволяющие с помощью ПК автоматически измерять в широком диапазоне частот различные параметры комплексной величины  $B$ : импеданса  $Z$ , адмитанса  $Y$ , а также комплексного коэффициента передачи  $W$  четырехполюсника ( $|Z|$ ,  $|Y|$  и  $|W|$ , фазовый угол  $\varphi = \arg B$ , действительную  $\text{Re}B$  и мнимую  $\text{Im}B$  составляющие, емкость  $C$ , индуктивность  $L$ , сопротивление  $R$ , проводимость  $G$ , тангенс угла потерь  $\text{tg } \delta = \text{Re}B/\text{Im}B$ , добротность  $Q = \text{Im}R/\text{Re}B$ , постоянную времени  $\tau$  и др.), а также неэлектрические величины, определяемые по перечисленным параметрам электрической эквивалентной схемы исследуемого объекта. Обладает широкими функциональными возможностями.



## Технические характеристики

Измеряемая величина	Диапазон изменения
$R, \text{Re}R, \text{Im}R, \text{Ом}$ . . . . .	$10^{-3} \dots 10^9$
$G, \text{Re}G, \text{Im}G, \text{См}$ . . . . .	$10^{-10} \dots 10^2$
$W, \text{Re} W, \text{Im} W$ . . . . .	$10^{-4} \dots 10^3$
Рабочая частота, Гц . . . . .	$10^{-3} \dots 3 \times 10^6$
Основная относительная погрешность измерения, % . . . . .	0,1...0,2

**Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН**

117806, Москва, ул. Профсоюзная, 65, тел.: (495) 334-91-90, e-mail: dabobyl@ipu.ru

