

ISSN 1998-0663

№1(19)–2012

<http://bijournal.hse.ru>

БИЗНЕС- ИНФОРМАТИКА

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ НИУ ВШЭ

BUSINESS INFORMATICS

Учредитель:

Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

Редакционная коллегия

Абдульраб А. (Франция)
Авдошин С.М.
Алескеров Ф.Т.
Бабкин Э.А.
Баранов А.П.
Беккер Й. (Германия)
Белов В.В.
Грибов А.Ю.
Громов А.И.
Зандкуль К. (Германия)
Ильин Н.И.
Калягин В.А.
Каменнова М.С.
Козырев О.Р.
Кузнецов С.О.
Мальцева С.В.
Миркин Б.Г. (Великобритания)
Моттль В.В.
Пальчунов Д.Е.
Пардалос П. (США)
Силантьев А.Ю.
Таратухин В.В.
Ульянов М.В.

В ЭТОМ НОМЕРЕ:

**КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ
КОРТЕЖИ**

СТРАТЕГИИ ПО ПАРЕТО

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

ВЫБОР РЕШЕНИЙ «1С»

*В соответствии с решением
президиума ВАК РФ
журнал «Бизнес-информатика»
с 19.02.2010 включён в Перечень
ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий,
в которых должны быть опубликованы
основные научные результаты
диссертаций на соискание
ученых степеней кандидата
и доктора наук.*

БИЗНЕС- ИНФОРМАТИКА

№1(19)–2012

СОДЕРЖАНИЕ

Принятие решений и бизнес-интеллект

В.К. Абросимов

Кибернетический подход к управлению
информационными ресурсами организации..... 3

Математические методы и алгоритмы решения задач бизнес-информатики

В.В. Белов, Ю.Л. Коричнева

Многомерная ABC-классификация.
Критерии качества и канонические алгоритмы 9

Н.А. Дуничкина

Бикритериальные модели и алгоритмы синтеза
Парето-оптимальных стратегий обслуживания
линейно рассредоточенной группировки объектов 17

А.П. Колданов, П.А. Колданов

Статистические процедуры со многими решениями
в задаче анализа итогов приема в филиалы ВУЗа 24

А.Г. Дьяконов

Алгоритмы для рекомендательной системы:
технология LENKOR 32

Математические модели социальных и экономических систем

К.В. Зимин, А.В. Маркин, К.Г. Скрипкин

Влияние информационных технологий
на производительность российского предприятия:
методология эмпирического исследования 40

Правовые вопросы бизнес-информатики

Р.А. Будник

Потенциальная доходность информационных объектов..... 49

Информационные системы и технологии в бизнесе

Т.В. Адуева, А.В. Ахаев, И.А. Ходашинский

Продукционная система выбора программных
продуктов системы «1С: Предприятие 8»..... 55

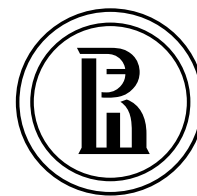
А.А. Островерх, А.В. Цырков, А.А. Криштон, Г.А. Цырков

Методы построения высокопроизводительной
вычислительной среды системы управления
производственными процессами 62

Л.С. Восков, М.М. Комаров

Метод энергетической балансировки беспроводной
стационарной сенсорной сети с автономными
источниками питания 70

Annotations..... 76



БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА

№1(19)–2012

Междисциплинарный
научно-практический журнал
НИУ ВШЭ

Журнал рекомендован ВАК
для научных публикаций

Подписной индекс издания
в каталоге агентства
«Роспечать» – 72315

Учредитель:
Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики».
Выходит 4 раза в год.

Главный редактор
Голосов А.О.

Заместители главного редактора
Горбунов А.Р., Исаев Д.В.

Научный редактор
Лычкина Н.Н.

Технический редактор
Осипов В.И.

Дизайн обложки
Борисова С.Н.

Компьютерная вёрстка
Богданович О.А.

Администратор веб-сайта
Проценко Д.С.

Адрес редакции:
105187, г. Москва,
ул. Кирпичная, д. 33/5.
Тел. +7 (495) 771-32-38,
e-mail: bijournal@hse.ru

За точность приведённых сведений
и содержание данных,
не подлежащих открытой публикации,
несут ответственность авторы

**При перепечатке ссылка на журнал
«Бизнес-информатика» обязательна**

Тираж 500 экз.

Отпечатано в типографии НИУ ВШЭ
г. Москва, Кочновский проезд, 3.

© Национальный
исследовательский университет
«Высшая школа экономики»

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ ОРГАНИЗАЦИИ

В.К. Абросимов,

доктор технических наук, старший научный сотрудник,
руководитель отдела аналитики и консалтинга
ООО «СТЭП ЛОДЖИК» (Step Logic)

Адрес: г. Москва, Осенний бульвар, д. 10/2
E-mail: avk787@hotmail.com

В статье предложено использовать метод аналогий для построения системы управления информационными ресурсами организации. В качестве аналога использованы принципы классической теории управления. Определены понятия «объект», «органы» и «программа» управления, «обратная связь», управляющие «сигналы» и «воздействия» для информационных ресурсов организаций. Поставлены задачи и описаны функции системы управления информационными ресурсами организаций.

Ключевые слова: информационные ресурсы, управление, эффективность, мониторинг, оптимизация.

1. Введение

В современной информационной экономике среди ресурсов организации особенное место занимают информационные ресурсы (ИР). По законодательству РФ информационные ресурсы, к сожалению, имеют слишком широкое толкование (в соответствии с [1] это документы и массивы документов в информационных системах: библиотеках, архивах, фондах, банках данных, других видах информационных систем). Но выгоды от внедрения эффективного для организации информационного ресурса определяются такими факторами как ускорение сбора и обработки информации, повышение эффективности обмена информацией с внешними контрагентами (включая клиентов, партнеров и го-

сударственные структуры), снижение рисков операционной деятельности организации и др.

Понятно, что информационными ресурсами на всех этапах их жизненного цикла можно и нужно управлять. В литературе под управлением ИР понимается, как правило, оценка информационных потребностей, рационализация документооборота, стандартизация и унификация типов и форм документов; преодоление технической проблемы несовместимости типов данных и т.п. [2, 3 и др.]. Часто управление ИР просто связывается с наличием и управлением контентом корпоративного сайта или портала. Такие, безусловно весьма важные, задачи все же не отвечают на вопрос об эффективности использования ИР.

Интересно, что как только к термину «управление информационными ресурсами» добавляется термин «система» эта новая сущность сразу приобретает характер информационной системы в смысле определения, данного в Законе РФ [1]. В литературе достаточно подробно рассматриваются системы управления информационными ресурсами, однако почти всегда с точки зрения конкретных систем документооборота [4], оптимизации взаимодействия между функциональными подразделениями компании (ОАО «Аэрофлот»), как средство интеграции корпоративных систем и решений (Министерство путей сообщения РФ), как реализацию определенных функций государственной власти [5] и т.д. Но до настоящего времени ИР не рассматривались как самостоятельный объект управления, у которого есть своя архитектура (отличная от информационно-коммуникационной структуры компании), входные воздействия, обратные связи, взаимодействие с системами в процессе управления бизнесом и др.

Действительно, применимость понятия «система управления информационными ресурсами» к конкретной организации зависит от многих факторов. К числу основных можно отнести не только структуру организации, но также и область ее деятельности, наличие необходимых бизнесу информационных ресурсов, их современность, значимость для компании и др. Таким образом, термин «система управления информационными ресурсами» характеризует не только и не столько класс конкретных систем управления, сколько подход к построению таких систем.

2. Постановка задачи

Задача построения системы управления информационными ресурсами организации обычно решается традиционными методами создания информационных систем [3, 6 и др.]. Наш подход заключается в том, чтобы отразить в постановке задачи и организационный и технический аспект создания таких систем, причем сделать это в динамике развития бизнеса организации. Это придает системе требуемую практикой гибкость и целенаправленность на достижение как тактических, так и стратегических целей.

Описательная постановка научно-экономической задачи создания системы управления информационными ресурсами организации имеет следующий вид.

Рассматривается типовая организация из сегмента SMB (Small & Medium Business). Принципиально безразличен род ее деятельности. Организация

имеет стратегии развития бизнеса и информационных технологий. Развернута определенная информационно-телекоммуникационная инфраструктура, приобретены и активно используются разнообразные информационные ресурсы (информационные системы, хранилища данных и др.). При этом каждый ИР имеет ключевые характеристики, описываемые множеством $\{F_v\}$ функциональных возможностей и кортежем $\{K_v\}$ из m ключевых показателей эффективности $K_{v1}, K_{v2}, K_{v3} \dots K_{vi}, K_{vm}$. Все вопросы распределения и использования информационных ресурсов в организации возложены на специализированное подразделение. Его руководство обобщает информацию по потребностям бизнес-единиц организации в ИР, формирует потребности в ИР на перспективу, оценивает текущее состояние ИР и проводит оценку эффективности его использования (по существу оценивает характеристики составляющих кортежа $\{K_v\}$).

По мере развития бизнеса возникают новые задачи, требующие нового функционала информационных ресурсов $\{F_p\}$ и их новых возможностей, выражающихся через требуемые параметры $\{K_p\}$ (по структуре кортеж $\{K_p\}$, как правило, совпадает с $\{K_v\}$). На решение бизнес-задач оказывают различное по существенности влияние внешние и внутренние возмущающие факторы, проявление которых заключается в том, что множество функциональных возможностей информационных ресурсов $\{F_v\}$ и характеристик их эффективности $\{K_v\}$ изменяется. При этом потребности в ИР всегда возрастают, а возможности существующих ИР объективно имеют тенденцию к снижению.

В организации возникают задачи выбора и внедрения новых ИР, контроля состояния ИР, планирования развития ИР, поддержания их характеристик в заданном состоянии при влиянии внешних возмущений и оптимизации состава и характеристик ИР с точки зрения информационной поддержки бизнеса.

Требуется:

Определить состав, задачи и функции системы управления информационными ресурсами организации.

Заметим, что в такой постановке система управления ИР является не целенаправленной, а целеустремленной [7]. Основное отличие целеустремленных систем от целенаправленных заключается в том, что в целеустремленных системах допускается множество способов отработки возмущающих воздействий, что весьма характерно для организационно-технических систем.

3. Применение метода аналогий для построения системы управления информационными ресурсами организации

Одним из известных и широко используемых научных методов является метод аналогий. Он справедливо считается наиболее перспективным методом интеграции научных знаний, эффективно используется в условиях необходимости переноса знаний одной науки на предмет другой. Проведенный анализ показал, что специалисты в области экономики чаще всего работают на уровне интуитивно понятных категорий, не придавая терминологической строгости используемым понятиям, таким, например как «система», «управление» и др. Между тем, в теории динамических систем и автоматического регулирования, например, понятие «система управления» исследовано давно и подробно. Представляется интересным оценить возможность использования таких наработок в сфере экономики. Поэтому, рассмотрим основные понятия, связанные с построением архитектуры системы управления ИР с точки зрения классической теории управления.

Объекты управления. В классической теории управления объект управления целенаправленно изменяет свое состояние под воздействием управления. В нашем случае как основной объект управления рассматривается информационный ресурс. Но их рассмотрение осуществляется индивидуально для каждого ресурса по отдельным его трем аспектам:

◆ бизнес ИР, охватывающий вопросы: кто отвечает за эффективное управление ИР в интересах развития бизнеса? что может дать ИР для бизнеса? где место ИР в бизнесе? как ИР влияет на бизнес? когда наиболее эффективно задействовать ИР для бизнеса? зачем ИР нужен бизнесу?

◆ технологии ИР, охватывающий вопросы информационно-коммуникационных технологий, используемых в ИР, в том числе: кто выбирает и предлагает технологии, используемые для ИР? что может дать использование таких технологий? где найти, приобрести необходимые технологии? как технологии эффективнее реализовать? когда наиболее эффективно работать с данной технологией? зачем и с какой целью эта технология будет использоваться для данного ИР?

◆ техника ИР, охватывающий вопросы технического обеспечения ИР, в том числе: кто обеспечивает эксплуатацию ИР на всех этапах его жизненного цикла ИР в интересах развития бизнеса? что

должно быть приобретено, утилизировано и др.? где размещаются и эксплуатируются ИР? как наиболее эффективно эксплуатировать ИР и осуществлять их мониторинг? когда наиболее эффективно осуществлять мониторинг и информационную поддержку ИР? зачем необходимы новые технические средства ИР?

Органы управления. В классической теории управления через управляющие органы передаётся воздействие на объект от управляющего устройства. В нашем случае можно выделить две компоненты. «Руководящая» компонента, выполняющая роль своего рода «управляющего устройства», фактически представляется руководителем, ответственным за информационную политику в компании, курирующим вице-президентом либо иными лицами, осуществляющими функции стратегического управления. «Исполнительная» компонента фактически представляется специальным подразделением, на которое возлагается функции по обоснованию технических характеристик, контролю внедрения и функционирования информационных систем, мониторинга ситуации в сфере информационного обеспечения компании, исполнению решений, принимаемых руководящей компонентой.

Управляющие воздействия. В классической теории управления требуемое поведение управляемой системы достигается за счет управляющих воздействий, под влиянием которых система переходит в иное фазовое состояние. Для решаемой задачи в интересах выбора для нужд организации информационного ресурса с необходимыми характеристиками и оптимального использования его возможностей задание управления реализуется посредством разнообразных средств: регламентов, приказов, совещаний и иных мер принятия решений руководством организации, их доведения до исполнителей, а также средствами, предусмотренными международными стандартами и лучшими информационными практиками (например ИТЛ).

Программа управления. По существу она описывается последовательностью управляющих воздействий-алгоритмом управления. В нашем случае программа управления может как задаваться, так и формироваться. Для организационно-технических систем алгоритмы управления преобразуются в виде положений стратегии компании в сфере информационных технологий и регламентов работы с информационными ресурсами, с учетом двух основных аспектов: организационного и технического.

Управляющие сигналы. В теории управления изменение управляющих воздействий может осуществляться при помощи сигналов, несущих информацию об их значениях. В нашем случае часть системы, вырабатывающая сигналы управления, имеет не техническую, а организационную сущность. Управлением ИР занимаются сотрудники компании, ответственные за эти функции и исполняющие соответствующие роли (в составе «исполнительной» компоненты).

Обратная связь. В теории управления обратная связь является фундаментальным понятием – без нее нет управления. Под влиянием управляющих воздействий, реализуемых через сигналы управления, объект управления меняет свое состояние. Если это состояние не соответствует требуемому, то вырабатываются сигналы обратной связи – по существу снова управляющие воздействия, переводящие объект управления в требуемое состояние. Применительно к ИР обратные связи могут реализовываться через изменение $\{K_v\}$ и регламентов использования ИР.

Информационные ресурсы как управляемый объект, органы управления в составе руководящей и исполнительной компонент, совокупность средств управления (регламентов и лучших практик работы с информационными ресурсами), механизмы мониторинга составляющих кортежей $\{K_v\}$ и $\{K_p\}$ и правила построения обратной связи образуют систему управления информационными ресурсами организации.

4. Определение задач и функций системы управления информационными ресурсами организации¹

В классических системах управления традиционно решаются задачи следующих четырех типов: задания и выполнения программы, стабилизации, слежения и оптимизации. Соответственно этим задачам можно выделить следующие задачи и функции системы управления информационными ресурсами.

Задача управления ИР. Стандартная задача управления возникает в случаях, когда заданные значения выходных параметров управления должны изменяться во времени заранее известным образом. Так, выполнение программ управляемых динамических объектов связано с задачами наведе-

ния (определение желательного закона движения к цели, исходя из текущих значений параметров объекта и цели), навигации (определение текущего состояния объекта в фазовом пространстве посредством измерений), и разнообразных маневров. В нашем случае при разработке системы управления информационными ресурсами задача управления ИР связана с реализацией программ изменения параметров кортежей $\{K_v\}$ и $\{K_p\}$ с тем, чтобы обеспечить решение бизнес-задач организации и достижение бизнес-целей с точки зрения заданных параметров эффективности организации. Таким образом, необходимо как задавать требуемые характеристики информационных ресурсов $\{K_p\}$, так и сравнивать с ними текущие характеристики $\{K_v\}$ на предмет их соответствия.

Выделим i -тую составляющую кортежа $\{K_v\}$. На практике в процессе жизненного цикла ИР значения характеристик ИР могут измеряться на различных шкалах-числовых, лингвистических, порядковых, интервалов и др. Пусть диапазон изменения характеристики находится в пределах

$$\Delta K_{vi} = [K_{vi \min} \dots K_{vi \max}].$$

Для этой же составляющей кортежа $\{K_p\}$, соответственно имеем

$$\Delta K_{pi} = [K_{pi \min} \dots K_{pi \max}].$$

Изменение параметров K_{vi} и K_{pi} в функции времени можно рассматривать как некоторые траектории в пространстве «параметр-время». Тогда функция организации программы управления ИР в части i -той характеристики ИР будет состоять в задании такой функции $K_{vi}(t)$, чтобы для всех $t \in T$ выполнялись условия вложенности области потребностей в область возможностей, то есть $\Delta K_{pi} \in \Delta K_{vi} \forall t \in T$.

Задача мониторинга ИР связана с обеспечением соответствия между параметрами текущего состояния системы с некоторыми заданными значениями. При разработке системы управления информационными ресурсами в процессе мониторинга ИР контролируются процессы нахождения параметров кортежа $\{K_v\}$ в требуемой области с учетом ограничений, налагаемых требованиями бизнеса. Функция мониторинга системы управления с одной стороны состоит в контроле в каждый текущий момент времени требуемых, реальных и прогнозируемых значений всех составляющих $\{K_v\}$ и выработке соответствующих сигналов предупреждения в зави-

¹ Часть 4 статьи написана совместно с аспирантом Учреждения РАН «Центральный экономико-математический институт» Р.С. Демидовым.

симости от взаимного положения диапазонов ΔK_{pi} и ΔK_{vi} .

Выделим для определенности средние значения интервалов и обозначим их как K_{vi}^* и K_{pi}^* . Момент t_{kp} , когда реализуется условие $K_{pi}^* > K_{vi}^*$ является критическим, так как в этот момент потребности превышают возможности, а возможности перестают удовлетворять потребностям. Очевидно также, что потребуется некоторое время $t_{ис} < t_{kp}$, на внедрение новой информационной системы, чтобы в момент t_{kp} критическая ситуация не наступала. Указанное неразрывно связано с моментом $t_{пр}$ принятия решения о необходимости внедрения новой информационной системы. Тогда задача мониторинга будет заключаться в том, чтобы выработать такое $t_{пр}$, для которого выполняется условие

$$t_{пр} + t_{ис} < t_{kp}.$$

Задача стабилизации характеристик ИР. Задача стабилизации в классических системах управления состоит в поддержании управляющих величин в окрестности некоторых значений при условии наличия возмущений. Эта функция связана с движением в окрестности желаемой программы достижения цели и/или траектории изменения параметров управления в функции времени. При построении системы управления информационными ресурсами задача стабилизации может состоять в поддержании составляющих кортежа $\{K_v\}$ в окрестности заданных значений при действии внешних возмущений и с использованием «сигналов обратной связи», в роли которых выступают указания «руководящей компоненты».

Для каждой i -той составляющей кортежа $\{K_v\}$ можно, исходя из потребностей, ввести заданное значение K_{vi}^z . Итак, пусть в организации проявились воздействия внутренних либо внешних факторов, которые привели к появлению отклонения показателя K_{vi} от заданной траектории

$$\delta K(t) = K_{vi}(t) - K_{vi}^z(t).$$

Тогда функция стабилизации системы управления будет заключаться в том, чтобы отклонение $\delta K(t)$ за заданный $\delta^*(t)$ и/или минимально возможный промежуток времени $\delta(t)$ было сведено к нулю, то есть

$$\delta K(t) \rightarrow 0 \text{ при } \delta(t) = \delta^*(t) \text{ или } \delta(t) \rightarrow 0.$$

Задача оптимизации ИР. Смысл оптимизации состоит в установлении оптимального (в заданном критериальном смысле) режима работы управляемого объекта. Функция оптимизации системы

управления ИР может рассматриваться в различных смыслах: как оптимизация по времени и как оптимизация по параметрам. В первом случае необходимо оптимизировать $t_{пр}$ и $t_{ис}$. Во втором случае речь может идти об определении оптимальных траекторий изменения параметров $K_{vi}(t) \in \{K_v\}$ и $K_{pi}(t) \in \{K_p\}$, причем задача может ставиться и в максиминной постановке, как максимизация возможностей ИР при минимизации потребностей в них.

Таким образом, максиминная функция оптимизации состоит следующем:

- а) Найти такие $t_{пр}^*$ и $t_{ис}^*$, для которых

$$\Delta K_{pi} \in \Delta K_{vi} \forall t \in T \text{ и } i=1, \dots, m.$$

- б) Определить $\max K_{vi}(t)$ при условии

$$K_{vi}(t) = \min \forall t \in T \text{ и } i=1, \dots, m.$$

Объективно при развитии бизнеса области потребностей и возможностей ИР пересекаются, что является наиболее интересным. Момент t_{kp} для организации является критичным, так как он соответствует пересечению реально низких возможностей ИР и минимальных потребностей в нем. ИТ-служба организации, прогнозируя такую ситуацию, обязана предупредить о ней руководство и заблаговременно выработать условный сигнал «раннее предупреждение!» (определить момент $t_{пр}$, после прохождения которого соотношение $t_{пр} + t_{ис} < t_{kp}$ не будет выполняться). Областью принятия решения является область $t \leq t_{пр} \leq t_{ис}$, а конечной точкой — точка t_{kp} , в которой реальные возможности становятся ниже максимальных потребностей.

Практические исследования позволили установить, что зависимости возможностей $K_{vi}(t)$ и потребностей $K_{pi}(t)$ от времени имеют вид достаточно сложных ступенчато-периодических функции. Это связано с тем, что после внедрения ИР некоторое время составляющие кортежа $\{K_v\}$ находятся на заданном или достигнутом к моменту внедрения системы уровне (для территориально-распределенных компаний может наблюдаться незначительный положительный тренд в условиях, когда уже после внедрения происходит масштабирование решения и расширение функционала). Далее возможности ИР для отдельных, порою важных показателей K_{vi} объективно снижаются. В зависимости от многих факторов (вида бизнеса, решаемых бизнес-задач, конкурентной ситуации на рынке, появления новых информационных технологий и др.) функция снижения может иметь различный вид — от линейной до экспоненциальной. Однако

после завершения процессов выбора (разработки) и внедрения (модернизация) ИР с целью увеличения возможностей ИР до необходимого уровня происходит естественный «скачок возможностей» и процесс повторяется.

Отметим, что изложенный выше подход к построению системы управления информационными ресурсами неразрывно связан с понятием информационной мощности компании [8]. Действительно, информационная мощность компании есть синергетическая характеристика, описывающая степень эффективности использования существующих информационных активов для увеличения конкурентоспособности компании с достижением максимума при а) полном использовании функционала и возможностей информационных систем и б) организации информационных бизнес-решений, адекватных решаемым компанией бизнес-задачам. Система управления ИР, построенная с использованием изложенного выше подхода, позволяет приобретать, внедрять и эксплуатировать такие информационные ресурсы, которые в максимальной степени направлены на увеличение информационной мощности компании, а следовательно, на информационную поддержку бизнеса организации.

Определим место системы управления ИР в общей системе управления организацией. В литературе предложено много вариантов таких систем (система управления автоматизацией предприятия «Галактика», ERP системы линейки продуктов Microsoft Dynamics, БЭСТ, и др.). Анализ показывает, что хотя внутри таких систем автоматизации обязательно циркулирует многочисленная и раз-

нообразная информация, непосредственно выделенные выше задачи управления ИР организации не решаются ни в одном модуле. Поэтому можно предполагать, что система системы управления ИР является самостоятельным блоком в системе управления организацией, связанным по данным – с хранилищами данных, а по управлению – с руководством организацией и ИТ-службой.

5. Заключение

Для построения архитектуры системы управления информационными ресурсами организации возможно и целесообразно использовать аналогии с классической теорией управления. Переосмысление понятий «объект», «органы», «программа» управления, «обратная связь», управляющие «сигналы» и «воздействия» для информационных ресурсов организаций позволило поставить научно-экономическую задачу создания системы управления информационными ресурсами организации. Такую систему управления образуют информационные ресурсы как управляемый объект, органы управления в составе организационной руководящей и исполнительской компонент, совокупность средств управления (регламентов и лучших практик работы с информационными ресурсами), механизмы мониторинга составляющих параметров, описывающих реальные и требуемые характеристики информационных ресурсов, и правила построения обратной связи. Выделены, как основные, и описаны сущности задач и функций управления, мониторинга и оптимизации информационных ресурсов. ■

Литература

1. Об информации, информатизации и защите информации. Федеральный Закон РФ № 24-ФЗ от 25.01.1995 г.
2. Информационные ресурсы России // Национальный доклад – Государственный комитет Российской Федерации по связи и информатизации, М.: 1999
3. Годин В.В., Корнеев И.К. Управление информационными ресурсами. – М.: Инфра М, 2000. – 352 с.
4. О'Лири Д. ERP системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. – М.: Вершина, 2004. – 271 с.
5. Концепция управления государственными информационными ресурсами // Портал Минкомсвязи РФ электронный ресурс <http://old.minsvyaz.ru/ministry/documents/816/7689/7692.shtml>, режим доступа свободный
6. Хорошилов А.В., Селетков С.Н., Днепровская Н.В. Управление информационными ресурсами. – Финансы и статистика, М.: 2006. – 272 с.
7. Акофф Р., Эмери Э. О целеустремленных системах: Пер. с англ. – М.: Советское радио, 1974. – 272 с.
8. Абросимов В.К., Канев С.А. Информационная мощность компании // Бизнес-информатика, № 3(13), 2010.- С. 3-9.

МНОГОМЕРНАЯ АВС-КЛАССИФИКАЦИЯ. КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА И КАНОНИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ

В.В. Белов,

доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной и прикладной математики Рязанского государственного радиотехнического университета

Ю.Л. Коричнева,

аспирант кафедры вычислительной и прикладной математики Рязанского государственного радиотехнического университета

Адрес: г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1

E-mail: comrvv@mail.ryazan.ru; koritchneva@mail.ru

Предложены канонические алгоритмы многомерной АВС-классификации, предназначенные для решения задачи сокращения информационного пространства управления товарно-материальными ресурсами хозяйствующих субъектов.

Ключевые слова: АВС-классификация, скалярная классификация, многомерная классификация, критерии качества, канонические алгоритмы.

Введение

В настоящее время для большинства отечественных предприятий производственного сектора одной из ключевых задач развития является управление оборотным капиталом. Материальной составляющей оборотного капитала являются ресурсы и запасы. В качестве методов повышения эффективности процесса управления материальными запасами и снижения объемов финансовых вливаний на контроллинг их состояния в логистической практике используются методы структуризации материальных ресурсов, иными словами, классификация. Цель классификации – повысить эффективность логистической системы за счет более

целесообразного и обоснованного распределения усилий по различным направлениям управления товарно-материальными ресурсами. Бауэрсоскс [1] называет данный подход классификацией по приоритетности, но в научной литературе он обычно определяется как АВС-классификация [1, 2, 3].

Классический АВС-метод основан на разбиении всей номенклатуры используемых материалов на три неравноценных группы А, В, и С – в зависимости от значения определяющего показателя (параметра, критерия). Для классификации применимы различные параметры, но чаще всего используется стоимость запасов, наряду с ней применяются: норма потребления, стоимость и сроки транспортировки. АВС-классификация используется и для ис-

следования частоты определенных экономических явлений и фактов. В этом случае она называется XYZ-классификацией. Синонимами термина «ABC-классификация» являются: «первоначальный анализ», «правило 80/20» и «принцип Парето» [2, 3, 4, 5]. Это правило практическое, выведенное на основе большого множества наблюдений. Согласно этому правилу 80% выручки компании обеспечивают 20% наименований продукции, и 80% затрат приходится на 20% товарно-материальных запасов. Эта классификация показывает ранг отдельных элементов номенклатуры и позволяет выделить основные пункты, особенно важные для целенаправленных мероприятий управления. ABC-классификация может использоваться практически в любой области, где есть сложно классифицируемый достаточно большой набор объектов [5] и требуется их разделение с целью квалификации или дифференцированного управления. Несмотря на известные преимущества, метод таит в себе массу концептуальных недостатков. Ключевым из них использование единственного критерия в процедуре классификации. Современный менеджмент не может опираться на видение бизнес-процесса с одной стороны – однокритериальное. Для преодоления указанного недостатка было предложено использовать интегральные критерии [2], представляющие собой ту или иную свертку частных критериев. Однако практическое применение интегральных критериев показало, что результаты многомерной (через свёрку) ABC-классификации весьма часто оказываются трудно интерпретируемыми, – плохо согласуемыми с интуитивными представлениями аналитиков. Возникла потребность в разработке альтернативных методов многомерной ABC-классификации и явно обозначилась актуальность задачи создания критерия качества различных многомерных ABC-классификаций.

Целью настоящей статьи является изложение предлагаемых авторами критериев качества и методов многомерной (пространственной) ABC-классификаций учётных данных, альтернативных методу интегрального критерия.

Неформальная постановка задачи

Пусть $X = \langle X_1, X_2, \dots, X_m \rangle$ – некоторый кортеж, состоящий из m элементов, каждый из которых характеризуется n количественными показателями (частными скалярными критериями). Неупорядоченную совокупность тех же элементов будем обозначать так: $\tilde{X} = Set(X) = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$. Элементы кортежа X (множества \tilde{X}) будем называть учетны-

ми элементами.

Необходимо осуществить разделение элементов множества \tilde{X} на три группы таким образом, чтобы каждая из групп была сопоставима (в смысле некоторого критерия сходства) с результатами ABC-классификаций тех же элементов по *всем* заданным частным скалярным критериям. Такое разделение учётных элементов назовём многомерной, или пространственной ABC-классификацией. Критерий сходства результата пространственной классификации с совокупностью результатов частных скалярных ABC-классификаций будем называть критерием качества рассматриваемой многомерной ABC-классификации.

1. Альтернативные представления результатов ABC-классификации

Результат скалярной ABC-классификации можно представить в виде кортежа $R = \langle R_A, R_B, R_C \rangle$, где R_A, R_B, R_C – подмножества, на которое множество \tilde{X} разбивается в результате классификации, такие, что справедливо утверждение:

$$(R_A \cap R_B = \emptyset) \wedge (R_A \cap R_C = \emptyset) \wedge (R_B \cap R_C = \emptyset) \wedge (R_A \cup R_B \cup R_C = \tilde{X}).$$

Индексы в обозначениях множеств R_A, R_B, R_C символизируют тот факт, что элементы множества R_A образуют классификационную группу A , элементы множества R_B образуют группу B и элементы множества R_C образуют группу C .

Для указания того факта, что классификация осуществлена по конкретному критерию, будем использовать верхние индексы. При этом результаты скалярных ABC-классификаций по n критериям представимы в виде совокупности (системы) n классификационных кортежей:

$$R^{[j]} = \langle R_A^{[j]}, R_B^{[j]}, R_C^{[j]} \rangle, j = 1, 2, \dots, n,$$

где $R_A^{[j]}, R_B^{[j]}, R_C^{[j]}$ – подмножества, на которое множество X разбивается в результате классификации по j -му скалярному критерию, такие что справедливо утверждение:

$$\forall j \in \{1, 2, \dots, n\} [(R_A^{[j]} \cap R_B^{[j]} = \emptyset) \wedge (R_A^{[j]} \cap R_C^{[j]} = \emptyset) \wedge (R_B^{[j]} \cap R_C^{[j]} = \emptyset) \wedge (R_A^{[j]} \cup R_B^{[j]} \cup R_C^{[j]} = \tilde{X})].$$

Для указания результата пространственной ABC-классификации используем другую букву в обозначении классификационного кортежа:

$$Q = \langle Q_A, Q_B, Q_C \rangle,$$

где Q_A, Q_B, Q_C – подмножества, на которое множество \tilde{X} разбивается в результате пространственной классификации. Эти множества обладают свойствами результатов скалярной классификации, т.е. для них также справедливо утверждение:

$$(Q_A \cap Q_B = \emptyset) \wedge (Q_A \cap Q_C = \emptyset) \wedge (Q_B \cap Q_C = \emptyset) \wedge (Q_A \cup Q_B \cup Q_C = \tilde{X}).$$

Пространственная ABC-классификация может осуществляться различными способами. Для указания конкретики способа пространственной классификации будем использовать верхний индекс. Обозначение $Q^{[l]} = \langle Q_A^{[l]}, Q_B^{[l]}, Q_C^{[l]} \rangle$ символизирует результат пространственной классификации l -м способом, $l = 1, 2, \dots, L$; L – количество рассматриваемых методов пространственной ABC-классификации.

В качестве альтернативного представления ABC-классификации будем использовать классификационные векторы: $\mathbf{k} = (k_1, k_2, \dots, k_m)$ – для скалярной классификации; $\mathbf{K} = (K_1, K_2, \dots, K_m)$ – для пространственной классификации. Конкретику скалярного критерия и способа пространственной классификации будем отражать верхними индексами:

$$\mathbf{k}^{[j]} = (k_1^{[j]}, k_2^{[j]}, \dots, k_m^{[j]}), \quad j = 1, 2, \dots, n;$$

$$\mathbf{K}^{[l]} = (K_1^{[l]}, K_2^{[l]}, \dots, K_m^{[l]}), \quad l = 1, 2, \dots, L.$$

Элементы указанных векторов имеют следующую семантику: $k_i^{[j]}$ – номер группы i -го элемента номенклатуры в скалярной ABC-классификации по j -му скалярному критерию; $K_i^{[l]}$ – номер группы i -го элемента номенклатуры в пространственной ABC-классификации l -м способом; $i = 1, 2, \dots, m$; m – количество учитываемых элементов, т.е. это мощность множества \tilde{X} : $m = |\tilde{X}|$.

При использовании альтернативного представления ABC-классификации будем предполагать, что названия A, B, C групп ABC-классификации отображены в числа 1, 2, 3 соответственно, поэтому элементы классификационных векторов являются числами, причём: $k_i^{[j]} \in \{1, 2, 3\}$ и $K_i^{[l]} \in \{1, 2, 3\}$.

2. Критерии качества пространственной ABC-классификации для случая проблемной симметричности скалярных критериев

2.1. Критерий № 1

на основе классификационных векторов

Критерием качества пространственной ABC-классификации может служить сумма квадратов

расстояний между классификационным вектором $\mathbf{K}^{[l]}$ и классификационными векторами частных скалярных ABC-классификаций по учитываемым критериям. Формула критерия имеет вид:

$$C_1^{[l]} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (K_i^{[l]} - k_i^{[j]})^2, \quad (1)$$

где $C_1^{[l]}$ – значение критерия качества пространственной ABC-классификации l -м методом; $l = 1, 2, \dots, L$.

Смысл предложенного критерия таков. Сумма

$$\sum_{i=1}^m (K_i^{[l]} - k_i^{[j]})^2$$

имеет семантику квадрата расстояния между векторами

$$\mathbf{K}^{[l]} = (K_1^{[l]}, K_2^{[l]}, \dots, K_m^{[l]})$$

и $\mathbf{k}^{[j]} = (k_1^{[j]}, k_2^{[j]}, \dots, k_m^{[j]}),$

порождаемых пространственной и j -й скалярной ABC-классификациями в евклидовой метрике. Она выражает степень сходства между указанными классификациями. Сумма

$$C_1^{[l]} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (K_i^{[l]} - k_i^{[j]})^2$$

является суммой квадратов расстояний от классификационного вектора $\mathbf{K}^{[l]}$ до всех классификационных векторов $\mathbf{k}^{[j]}, j = 1, 2, \dots, n$ скалярных ABC-классификаций. Эта сумма может квалифицироваться как квадрат расстояния между вектором и системой векторов. Она характеризует степень различия/сходства пространственной классификации с системой скалярных классификаций.

2.2. Критерий № 2 на основе классификационных кортежей

В качестве альтернативного критерия качества пространственной ABC-классификации можно использовать показатель степени отличия заданного классификационного кортежа $Q^{[l]} = \langle Q_A^{[l]}, Q_B^{[l]}, Q_C^{[l]} \rangle$ от кортежа простых объединений элементов классификационных кортежей частных скалярных ABC-классификаций, который мы назовём объединённым классификационным кортежем.

Для вычисления критерия необходимо предварительно осуществить n скалярных ABC-классификаций по всем учитываемым критериям, и получить систему n классификационных кортежей:

$$\mathbf{R}^{[j]} = \langle \mathbf{R}_A^{[j]}, \mathbf{R}_B^{[j]}, \mathbf{R}_C^{[j]} \rangle, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

Далее следует выполнить объединение элементов-множеств по правилу:

$$\mathbf{U}_A = \bigcup_{j=1}^n \mathbf{R}_A^{[j]}; \quad \mathbf{U}_B = \bigcup_{j=1}^n \mathbf{R}_B^{[j]} \setminus \mathbf{U}_A; \quad \mathbf{U}_C = \bigcup_{j=1}^n \mathbf{R}_C^{[j]} \setminus \mathbf{U}_A \setminus \mathbf{U}_B$$

и сформировать объединённый классификационный кортеж $\mathbf{U} = \langle \mathbf{U}_A, \mathbf{U}_B, \mathbf{U}_C \rangle$.

Указанное правило реализует следующий принцип: если учётный элемент помещён в группу A хотя бы одной частной скалярной классификацией, то этот элемент помещается в группу A объединённого классификационного кортежа \mathbf{U} ; если учётный элемент помещён в группу B хотя бы одной частной скалярной классификацией, то этот элемент помещается в группу B объединённого классификационного кортежа \mathbf{U} , но только в случае, если этот элемент не был помещён в группу A хотя бы одной скалярной классификацией; если учётный элемент помещён в группу C хотя бы одной частной скалярной классификацией, то этот элемент помещается в группу C объединённого классификационного кортежа \mathbf{U} , но только в случае, если этот элемент не был помещён в группу A или группу B хотя бы одной скалярной классификацией.

В качестве показателя степени различия двух кортежей, элементами которых являются множества, можно использовать сумму максимальных мощностей разностей однопозиционных множеств. Для кортежей $\mathbf{Q}^{[j]} = \langle \mathbf{Q}_A^{[j]}, \mathbf{Q}_B^{[j]}, \mathbf{Q}_C^{[j]} \rangle$ и $\mathbf{U} = \langle \mathbf{U}_A, \mathbf{U}_B, \mathbf{U}_C \rangle$ этот показатель объявляем критерием № 2. Формула его вычисления имеет вид:

$$C_2^{[j]} = \max(|\mathbf{Q}_A^{[j]} \setminus \mathbf{U}_A|, |\mathbf{U}_A \setminus \mathbf{Q}_A^{[j]}|) + \max(|\mathbf{Q}_B^{[j]} \setminus \mathbf{U}_B|, |\mathbf{U}_B \setminus \mathbf{Q}_B^{[j]}|) + \max(|\mathbf{Q}_C^{[j]} \setminus \mathbf{U}_C|, |\mathbf{U}_C \setminus \mathbf{Q}_C^{[j]}|). \quad (2)$$

Заметим следующее:

1) элементы \mathbf{U} обладают свойствами обычного классификационного кортежа, представляющего результат ABC -классификации:

$$(\mathbf{U}_A \cap \mathbf{U}_B = \emptyset) \wedge (\mathbf{U}_A \cap \mathbf{U}_C = \emptyset) \wedge (\mathbf{U}_B \cap \mathbf{U}_C = \emptyset) \wedge (\mathbf{U}_A \cup \mathbf{U}_B \cup \mathbf{U}_C = \tilde{\mathbf{X}};$$

2) формула для вычисления элементов множества

$$\mathbf{U}_C = \bigcup_{j=1}^n \mathbf{R}_C^{[j]} \setminus \mathbf{U}_A \setminus \mathbf{U}_B$$

имеет концептуальный характер, при этом она полностью эквивалентна структурно более простой формуле

$$\mathbf{U}_C = \tilde{\mathbf{X}} \setminus \mathbf{U}_A \setminus \mathbf{U}_B.$$

Последняя формула является следствием очевидного равенства

$$\bigcup_{j=1}^n \mathbf{R}_C^{[j]} \cup \mathbf{U}_A \cup \mathbf{U}_B = \tilde{\mathbf{X}}$$

и общего свойства множеств:

$$(\mathbf{M}_1 \cup \mathbf{M}_2 = \mathbf{M}) \rightarrow (\mathbf{M}_1 \setminus \mathbf{M}_2 = \mathbf{M} \setminus \mathbf{M}_2),$$

где $\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2$ – произвольные множества.

3. Критерии качества пространственной ABC -классификации для случая проблемной асимметричности скалярных критериев

3.1. Формальное представление проблемной асимметричности скалярных критериев

Учитываемые критерии назовём проблемно асимметричными, если они не являются равноценными по степени влияния на результативность актуального (обычно производственно-хозяйственного) процесса. Асимметричность критериев формально выразим вектором весовых коэффициентов $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, элементы которого таковы, что справедливо утверждение:

$$(\forall j \in \{1, 2, \dots, n\} \ 0 < w_j < 1) \wedge (\sum_{j=1}^n w_j = 1).$$

Указанные весовые коэффициенты могут быть получены с помощью матрицы парных сравнений по схеме, используемой в методе анализа иерархий Саати [6].

Альтернативное представление проблемной асимметричности критериев может состоять в следующем. Учитываемые критерии распределяются по трём категориям посредством скалярной ABC -классификации, в которой в качестве классифицирующего критерия используется вектор весовых коэффициентов $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$. Результат этой классификации представим кортежем $\mathbf{J} = \langle \mathbf{J}_A, \mathbf{J}_B, \mathbf{J}_C \rangle$, элементами которого являются множества номеров критериев. Критерии в зависимости от попадания в ту или иную классификационную группу называются соответственно A -, B - и C -критериями.

3.2. Критерий № 3

на основе классификационных векторов

Критерием качества пространственной ABC -классификации в случае проблемной асимметричности учитываемых критериев может служить взвешенная сумма квадратов расстояний между классификационным вектором $\mathbf{K}^{[j]}$ и классификационными векторами частных скалярных ABC -классификаций по учитываемым критериям. Фор-

мула критерия имеет вид:

$$C_3^{[l]} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \sum_{i=1}^m (K_i^{[l]} - k_i^{[j]})^2. \quad (3)$$

Заметим, что критерий $C_3^{[l]}$ концептуально аналогичен критерию $C_1^{[l]}$, отличие состоит только в использовании весовых коэффициентов при вычислении суммы квадратов расстояний от вектора $\mathbf{K}^{[l]}$ до векторов $\mathbf{k}^{[j]}$, $j = 1, 2, \dots, n$.

3.3. Критерий № 4

на основе классификационных кортежей

В качестве альтернативного критерия качества пространственной *ABC*-классификации в случае проблемной асимметричности учитываемых критериев можно использовать показатель степени отличия заданного классификационного кортежа $\mathbf{Q}^{[l]} = \langle \mathbf{Q}_A^{[l]}, \mathbf{Q}_B^{[l]}, \mathbf{Q}_C^{[l]} \rangle$ от кортежа ранговых объединений элементов классификационных кортежей частных скалярных *ABC*-классификаций, который мы назовём рангово-объединённым классификационным кортежем.

Рангово-объединённый классификационный кортеж обозначим так: $\mathbf{G} = \langle \mathbf{G}_A, \mathbf{G}_B, \mathbf{G}_C \rangle$. Отличие кортежа \mathbf{G} от объединённого классификационного кортежа \mathbf{U} , использованного при формировании критерия $C_2^{[l]}$, состоит в более сложной процедуре объединения результатов частных скалярных *ABC*-классификаций, представленных системой классификационных кортежей

$$\mathbf{R}^{[j]} = \langle \mathbf{R}_A^{[j]}, \mathbf{R}_B^{[j]}, \mathbf{R}_C^{[j]} \rangle, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

Во множество \mathbf{G}_A включаются только те учётные элементы, которые оказываются помещёнными в группу *A* хотя бы одним *A*-критерием. Во множество \mathbf{G}_B включаются не вошедшие в \mathbf{G}_A учётные элементы, которые оказываются помещёнными в группу *B*, хотя бы одним *A*-критерием, а также элементы из групп *A* и *B* скалярных *ABC*-классификаций по *B*-критериям. Во множество \mathbf{G}_C включаются не вошедшие в \mathbf{G}_A и \mathbf{G}_B учётные элементы, которые оказываются помещёнными в группу *C*, хотя бы одним *A*- или *B*-критерием, а также элементы из групп *A*, *B* и *C* скалярных *ABC*-классификаций по *C*-критериям. Формально это правило выражается так:

$$\begin{aligned} \mathbf{G}_A &= \bigcup_{j \in J_A} \mathbf{R}_A^{[j]}; \\ \mathbf{G}_B &= \bigcup_{j \in J_A} \mathbf{R}_B^{[j]} \cup \bigcup_{j \in J_B} \mathbf{R}_A^{[j]} \cup \bigcup_{j \in J_B} \mathbf{R}_B^{[j]} \setminus \mathbf{G}_A; \\ \mathbf{G}_C &= \bigcup_{j \in J_A} \mathbf{R}_C^{[j]} \cup \bigcup_{j \in J_B} \mathbf{R}_C^{[j]} \cup \bigcup_{j \in J_C} \mathbf{R}_A^{[j]} \cup \bigcup_{j \in J_C} \mathbf{R}_B^{[j]} \cup \bigcup_{j \in J_C} \mathbf{R}_C^{[j]} \setminus \mathbf{G}_A \setminus \mathbf{G}_B. \end{aligned}$$

Заметим следующее:

1) элементы \mathbf{G} обладают свойствами обычного классификационного кортежа, представляющего результат *ABC*-классификации:

$$\begin{aligned} (\mathbf{G}_A \cap \mathbf{G}_B = \emptyset) \wedge (\mathbf{G}_A \cap \mathbf{G}_C = \emptyset) \wedge (\mathbf{G}_B \cap \mathbf{G}_C = \emptyset) \wedge \\ \wedge (\mathbf{G}_A \cup \mathbf{G}_B \cup \mathbf{G}_C = \tilde{\mathbf{X}}; \end{aligned}$$

2) формула для вычисления \mathbf{G}_C отражает предлагаемую концепцию объединения результатов скалярных классификаций; в то же время, она полностью эквивалентна структурно более простой формуле:

$$\mathbf{G}_C = \tilde{\mathbf{X}} \setminus \mathbf{G}_A \setminus \mathbf{G}_B.$$

Доказательство последней формулы аналогично доказательству формулы для вычисления \mathbf{U}_C . Заметим, что замена

$$\mathbf{G}_C = \bigcup_{j \in J_A} \mathbf{R}_C^{[j]} \cup \bigcup_{j \in J_B} \mathbf{R}_C^{[j]} \cup \bigcup_{j \in J_C} \mathbf{R}_A^{[j]} \cup \bigcup_{j \in J_C} \mathbf{R}_B^{[j]} \cup \bigcup_{j \in J_C} \mathbf{R}_C^{[j]} \setminus \mathbf{G}_A \setminus \mathbf{G}_B$$

на $\mathbf{G}_C = \tilde{\mathbf{X}} \setminus \mathbf{G}_A \setminus \mathbf{G}_B$ приводит к важному выводу: группа *C*-критериев не влияет на результат объединения частных скалярных классификаций, т.е. выполнять скалярные классификации по *C*-критериям необязательно, достаточно классификаций по *A*- и *B*-критериям. Эти группы критериев определяют \mathbf{G}_A и \mathbf{G}_B – первые два элемента кортежа \mathbf{G} , а последний элемент \mathbf{G}_C может быть найден как дополнение объединения \mathbf{G}_A и \mathbf{G}_B до множества всех учётных элементов $\tilde{\mathbf{X}}$. Таким образом группа *C*-критериев может быть категорирована как несущественная.

Формула для вычисления критерия № 4 полностью совпадает с формулой критерия № 2, отличие состоит только в использовании элементов кортежа \mathbf{G} вместо элементов кортежа \mathbf{U} :

$$\begin{aligned} C_4^{[l]} = \max(|\mathbf{Q}_A^{[l]} \setminus \mathbf{G}_A|, |\mathbf{G}_A \setminus \mathbf{Q}_A^{[l]}|) + \max(|\mathbf{Q}_B^{[l]} \setminus \mathbf{G}_B|, |\mathbf{G}_B \setminus \mathbf{Q}_B^{[l]}|) + \\ + \max(|\mathbf{Q}_C^{[l]} \setminus \mathbf{G}_C|, |\mathbf{G}_C \setminus \mathbf{Q}_C^{[l]}|). \quad (4) \end{aligned}$$

4. Канонические алгоритмы пространственной *ABC*-классификации для случая проблемной симметричности скалярных критериев

4.1. Алгоритм № 1

на основе классификационных векторов

Канонический алгоритм № 1 ориентирован на минимизацию критерия № 1 качества пространственной *ABC*-классификации.

◆ **Теорема 1.**

Если расстояние между вектором $\mathbf{K}^{[l]} = (K_1^{[l]}, K_2^{[l]}, \dots, K_m^{[l]})$, $l \in \{1, 2, \dots, L\}$ и системой векторов $\mathbf{k}^{[j]} = (k_1^{[j]}, k_2^{[j]}, \dots, k_m^{[j]})$, $j = 1, 2, \dots, n$ характеризуется суммой квадратов расстояний

$$C_1^{[l]} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (K_i^{[l]} - k_i^{[j]})^2, \quad l \in \{1, 2, \dots, L\},$$

то это расстояние минимально, если выполняется система равенств:

$$K_i^{[l]} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Доказательство.

Рассмотрим сумму $C_1^{[l]}$ как функцию искомых значений элементов вектора $\mathbf{K}^{[l]}$, $l \in \{1, 2, \dots, L\}$, и для поиска минимума указанной суммы составим систему уравнений:

$$\frac{\partial}{\partial K_i^{[l]}} C_1^{[l]}(K_1^{[l]}, K_2^{[l]}, \dots, K_m^{[l]}) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Очевидно:

$$\frac{\partial}{\partial K_i^{[l]}} C_1^{[l]}(K_1^{[l]}, K_2^{[l]}, \dots, K_m^{[l]}) = \sum_{j=1}^n 2(K_i^{[l]} - k_i^{[j]}),$$

поэтому рассматриваемая система уравнений принимает вид:

$$\sum_{j=1}^n (K_i^{[l]} - k_i^{[j]}) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Далее с учетом

$$\sum_{j=1}^n (K_i^{[l]} - k_i^{[j]}) = \sum_{j=1}^n K_i^{[l]} - \sum_{j=1}^n k_i^{[j]} = nK_i^{[l]} - \sum_{j=1}^n k_i^{[j]}$$

получаем систему:

$$nK_i^{[l]} - \sum_{j=1}^n k_i^{[j]} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Откуда $K_i^{[l]} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_{ij}$, $i = 1, 2, \dots, m$. ◆

К сожалению, указанная система равенств в общем случае не может выполняться по причине целостности значений элементов вектора $\mathbf{K}^{[l]}$. Эта специфика приводит к следующему условию оптимальности пространственной ABC-классификации по предлагаемому критерию:

$$K_i^{[l]} = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_{ij} \right], \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (5)$$

где квадратные скобки $[\bullet]$ символизируют операцию округления до ближайшего целого значения.

Изложенное означает, что алгоритм пространствен-

ной ABC-классификации кортежа $\mathbf{X} = \langle X_1, X_2, \dots, X_m \rangle$, состоящего из m элементов, каждый из которых характеризуется n скалярными критериями, оптимальный по первому критерию, должен состоять из следующих шагов.

1. Осуществим n скалярных ABC-классификаций множества $\tilde{\mathbf{X}} = \text{Set}(\mathbf{X})$ по каждому из n скалярных критериев. Результаты скалярных ABC-классификаций представим в виде совокупности n классификационных векторов:

$$\mathbf{K}^{[j]} = (k_1^{[j]}, k_2^{[j]}, \dots, k_m^{[j]}), \quad j = 1, 2, \dots, n;$$

2. Оптимальную по первому критерию пространственную ABC-классификацию представим в виде классификационного вектора

$$\mathbf{K}_{Opt}^{[1]} = (K_1^{[1]}, K_2^{[1]}, \dots, K_m^{[1]}),$$

элементы которого вычисляются по формуле (5).

4.2. Алгоритм № 2 на основе классификационных кортежей

Канонический алгоритм № 2 ориентирован на минимизацию критерия № 2 качества пространственной ABC-классификации. Поскольку базой для сравнения альтернативных пространственных классификаций по этому критерию служит классификационный кортеж, составленный из простых объединений элементов классификационных кортежей частных скалярных ABC-классификаций, то именно этот кортеж и определяет оптимальный алгоритм пространственной ABC-классификации. Указанное означает, что алгоритм пространственной ABC-классификации кортежа $\mathbf{X} = \langle X_1, X_2, \dots, X_m \rangle$, состоящего из m элементов, каждый из которых характеризуется n скалярными критериями, оптимальный по второму критерию, должен состоять из следующих шагов.

1. Осуществим n скалярных ABC-классификаций множества $\tilde{\mathbf{X}} = \text{Set}(\mathbf{X})$ по каждому из n скалярных критериев. Результаты скалярных ABC-классификаций представим в виде совокупности n классификационных кортежей:

$$\mathbf{R}^{[j]} = \langle \mathbf{R}_A^{[j]}, \mathbf{R}_B^{[j]}, \mathbf{R}_C^{[j]} \rangle, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

2. Оптимальную по второму критерию пространственную ABC-классификацию представим в виде классификационного кортежа $\mathbf{Q}^{[2]} = \langle \mathbf{Q}_A^{[2]}, \mathbf{Q}_B^{[2]}, \mathbf{Q}_C^{[2]} \rangle$, элементы которого вычисляются по формуле:

$$\mathbf{Q}_A^{[2]} = \bigcup_{j=1}^n \mathbf{R}_A^{[j]}, \quad \mathbf{Q}_B^{[2]} = \bigcup_{j=1}^n \mathbf{R}_B^{[j]} \setminus \mathbf{Q}_A^{[2]}, \quad \mathbf{Q}_C^{[2]} = \bigcup_{j=1}^n \mathbf{R}_C^{[j]} \setminus \mathbf{Q}_A^{[2]} \setminus \mathbf{Q}_B^{[2]}$$

5. Канонические алгоритмы пространственной ABC-классификации для случая проблемной асимметричности скалярных критериев

5.1. Алгоритм № 3 на основе классификационных векторов

Канонический алгоритм № 3 ориентирован на минимизацию критерия № 3 качества пространственной ABC-классификации. К сожалению, как и в случае проблемной симметричности скалярных критериев, синтезировать алгоритм, обращающий в ноль минимизируемый критерий, не удаётся.

♦ **Теорема 2.**

Если расстояние между вектором $\mathbf{K}^{[l]} = (K_1^{[l]}, K_2^{[l]}, \dots, K_m^{[l]})$, $l \in \{1, 2, \dots, L\}$ и системой векторов $\mathbf{k}^{[j]} = (k_1^{[j]}, k_2^{[j]}, \dots, k_m^{[j]})$, $j = 1, 2, \dots, n$ характеризуется суммой квадратов расстояний

$$C_3^{[l]} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \sum_{i=1}^m (K_i^{[l]} - k_i^{[j]})^2, \quad l \in \{1, 2, \dots, L\},$$

причём $\sum_{j=1}^n w_j = 1$,

то это расстояние минимально, если выполняется система равенств:

$$K_i^{[l]} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot k_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Доказательство.

Рассмотрим сумму $C_3^{[l]}$ как функцию искомым значений элементов вектора $\mathbf{K}^{[l]}$, $l \in \{1, 2, \dots, L\}$, и для поиска минимума указанной суммы составим систему уравнений:

$$\frac{\partial}{\partial K_i^{[l]}} C_3^{[l]}(K_1^{[l]}, K_2^{[l]}, \dots, K_m^{[l]}) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Очевидно:

$$\frac{\partial}{\partial K_i^{[l]}} C_3^{[l]}(K_1^{[l]}, K_2^{[l]}, \dots, K_m^{[l]}) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot 2 \cdot (K_i^{[l]} - k_i^{[j]}),$$

поэтому рассматриваемая система уравнений принимает вид:

$$\sum_{j=1}^n w_j (K_i^{[l]} - k_i^{[j]}) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Далее с учетом

$$\sum_{j=1}^n w_j (K_i^{[l]} - k_i^{[j]}) = \sum_{j=1}^n w_j K_i^{[l]} - \sum_{j=1}^n w_j k_i^{[j]} = K_i^{[l]} \sum_{j=1}^n w_j - \sum_{j=1}^n w_j k_i^{[j]}$$

и $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ получаем систему:

$$K_i^{[l]} - \sum_{j=1}^n w_j k_i^{[j]} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Откуда $K_i^{[l]} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot k_{ij}$, $i = 1, 2, \dots, m$. ♦

Конечно же, указанная система равенств в общем случае не может выполняться по причине целостности значений элементов вектора $\mathbf{K}^{[l]}$. Эта специфика приводит к следующему условию оптимальности пространственной ABC-классификации по рассматриваемому критерию:

$$K_i^{[l]} = \left[\sum_{j=1}^n w_j \cdot k_{ij} \right], \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (6)$$

Изложенное означает, что алгоритм пространственной ABC-классификации кортежа $\mathbf{X} = \langle X_1, X_2, \dots, X_m \rangle$, состоящего из m элементов, каждый из которых характеризуется n скалярными критериями, оптимальный по третьему критерию, должен состоять из следующих шагов.

Предполагаем заданной характеристику проблемной асимметричности скалярных критериев в виде вектора весовых коэффициентов $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$.

1. Осуществим n скалярных ABC-классификаций множества $\tilde{\mathbf{X}} = \text{Set}(\mathbf{X})$ по каждому из n скалярных критериев. Результаты скалярных ABC-классификаций представим в виде совокупности n классификационных векторов: $\mathbf{k}^{[j]} = (k_1^{[j]}, k_2^{[j]}, \dots, k_m^{[j]})$, $j = 1, 2, \dots, n$.

2. Оптимальную по третьему критерию пространственную ABC-классификацию представим в виде классификационного вектора $\mathbf{K}_{\text{Opt}}^{[3]} = (K_1^{[3]}, K_2^{[3]}, \dots, K_m^{[3]})$, элементы которого вычисляются по формуле (6).

5.2. Алгоритм № 4 на основе классификационных кортежей

Канонический алгоритм № 4 ориентирован на минимизацию критерия № 4 качества пространственной ABC-классификации. Поскольку базой для сравнения альтернативных пространственных классификаций по этому критерию служит классификационный кортеж, составленный из ранговых объединений элементов классификационных кортежей частных скалярных ABC-классификаций, то именно этот кортеж и определяет оптимальный алгоритм пространственной ABC-классификации. Указанное означает, что алгоритм пространственной ABC-классификации кортежа $\mathbf{X} = \langle X_1, X_2, \dots, X_m \rangle$, состоящего из m элементов, каждый из которых характеризуется n скалярными критериями, оптимальный по четвертому критерию, должен состоять из следующих шагов.

Предполагаем заданной характеристику проблемной асимметричности скалярных критериев в виде вектора весовых коэффициентов $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ и результата *ABC*-классификации элементов этого вектора в виде кортежа $\mathbf{J} = \langle \mathbf{J}_A, \mathbf{J}_B, \mathbf{J}_C \rangle$, элементами которого являются множества номеров критериев, попавших соответственно в группы *A*, *B* и *C*.

1. Осуществим $n_{AB} = |\mathbf{J}_A| + |\mathbf{J}_B|$ скалярных *ABC*-классификаций множества $\tilde{\mathbf{X}} = \text{Set}(\mathbf{X})$ по каждому из скалярных критериев, номера которых принадлежат множествам \mathbf{J}_A и \mathbf{J}_B . Результаты скалярных *ABC*-классификаций представим в виде совокупности n_{AB} классификационных кортежей:

$$\mathbf{R}^{[j]} = \langle \mathbf{R}_A^{[j]}, \mathbf{R}_B^{[j]}, \mathbf{R}_C^{[j]} \rangle, \quad j = j_1, j_2, \dots, j_{n_{AB}}, \quad \text{где} \\ j_1, j_2, \dots, j_{n_{AB}} \in \{1, 2, \dots, n\}.$$

2. Оптимальную по четвёртому критерию пространственную *ABC*-классификацию представим в виде классификационного кортежа $\mathbf{Q}^{[4]} = \langle \mathbf{Q}_A^{[4]}, \mathbf{Q}_B^{[4]}, \mathbf{Q}_C^{[4]} \rangle$, элементы которого вычисляются по формуле:

$$\mathbf{Q}_A^{[4]} = \bigcup_{j \in \mathbf{J}_A} \mathbf{R}_A^{[j]}; \quad \mathbf{Q}_B^{[4]} = \bigcup_{j \in \mathbf{J}_A} \mathbf{R}_B^{[j]} \cup \bigcup_{j \in \mathbf{J}_B} \mathbf{R}_A^{[j]} \cup \bigcup_{j \in \mathbf{J}_B} \mathbf{R}_B^{[j]} \setminus \mathbf{Q}_A^{[4]}; \\ \mathbf{Q}_C^{[4]} = \tilde{\mathbf{X}} \setminus \mathbf{Q}_A^{[4]} \setminus \mathbf{Q}_B^{[4]}.$$

Заключение

Новые теоретические результаты, представленные в статье:

1. Предложены альтернативные формы представления результатов *ABC*-классификации – в виде классификационных кортежей и векторов.
2. Предложено четыре альтернативных показателя качества пространственной (многомерной) *ABC*-классификации, отражающих сходство классификационных векторов (1), (2) и кортежей (3), (4)

пространственной и совокупности частных скалярных *ABC*-классификаций, для случаев одинаковой и различной проблемной значимости скалярных критериев, используемых для характеристики учётных элементов конкретной предметной области.

3. Предложено четыре алгоритма пространственной *ABC*-классификации, названные каноническими, – оптимальные по предложенным показателям качества многомерного группирования учётных элементов для случаев одинаковой и различной проблемной значимости частных скалярных критериев.

Область применения изложенных результатов

Изложенные результаты могут использоваться в качестве методологической платформы реализации средств сокращения информационного пространства в логистической практике для повышения эффективности управления товарно-материальными ресурсами за счет целесообразного и обоснованного распределения усилий по различным направлениям контроля ситуации и выработки управляющих мероприятий.

Опыт применения и сравнительный анализ

Решение задачи многомерной *ABC*-классификации по предлагаемым каноническим алгоритмам, сопоставление полученных результатов и сравнение с результатом *ABC*-классификации на основе свёртки частных критериев осуществлено по учётным данным товарно-материальных запасов предприятия наукоемкого производства, занимающегося выпуском среднесерийного, мелкосерийного и штучного технологического оборудования, имеющего отлаженный механизм поставки материалов, комплектующих и сопутствующих товаров в цеха точно в срок. Результаты достаточно интересны и могут служить предметом самостоятельной публикации. ■

Литература

1. Бауэрсоскс Д.Дж., Клосс Д.Дж. Логистика: Интегрированная цепь поставок / Пер. с англ. Н.Н. Барышниковой, Б.С. Пинскера. – 2-е изд. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 640 с.
2. Стерлигова А.Н. Управление запасами широкой номенклатуры: с чего начать // Логинфо. – 2003. – № 12. С. 50 – 55.
3. Чейз Р.Б., Эквилайн Н.Дж., Якобс Р.Ф. Производственный и операционный менеджмент: Пер. с англ. – 8-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 704 с.
4. Landford J. Logistics. Principles and Applications – USA: McGraw Hill Inc, 1995. – P. 390.
5. Gulyassy F., Hoppe M., Isermann M., Köhler O. Materials planning with SAP. – Galileo Press GmbH, 2009. – P. 564.
6. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.

БИКРИТЕРИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛИНЕЙНО РАССРЕДОТОЧЕННОЙ ГРУППИРОВКИ ОБЪЕКТОВ

Н.А. Дуничкина,

*аспирант кафедры информатики, систем управления и телекоммуникаций
Волжской государственной академии водного транспорта (ВГАВТ)*

Адрес: г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а

E-mail: nadezhda.dunichkina@gmail.com

Рассматривается модель обслуживания группировки объектов, рассредоточенных вдоль общей рабочей зоны двух процессоров при их попутном движении. С каждым объектом ассоциированы два индивидуальных штрафа, каждый из которых описывается «своей» монотонно возрастающей функцией от момента завершения обслуживания. Формулируются бикритериальные задачи синтеза полной совокупности Парето-оптимальных стратегий обслуживания. Выводятся решающие соотношения динамического программирования, излагаются алгоритмы их реализации и технология построения стратегий обслуживания.

Ключевые слова: теория расписаний, динамическое программирование, Парето-оптимальность.

1. Введение

Рассматриваемая в статье проблема возникла в связи с созданием компьютерных средств поддержки оперативного управления снабжением дизельным топливом плавучих дизель-электрических комплексов, осуществляющих русловую добычу нерудных строительных материалов (НСМ) в крупномасштабных русловых районах внутренних водных путей РФ. Примерами таких полигонов, протяженностью до нескольких сотен

километров, являются Камский грузовой район и 4-й грузовой район на реке Белой. В навигационный период в каждом таком районе работает группировка из 15 – 20 единиц плавучих добывающих комплексов (ПДК), осуществляющих в непрерывном технологическом цикле выемку, обезвоживание и погрузку НСМ в речные суда и составы для последующей транспортировки их к местам складирования и реализации предприятиям-потребителям [1].

Снабжение ПДК дизельным топливом осуществляется закрепленными за полигоном специализированными танкерами-заправщиками.

В условиях высоких расходов на эксплуатацию ПДК и цен на дизельное топливо, сокращения возможностей предприятий по созданию его технически значимых оперативных запасов основная задача диспетчера группировки (лица, принимающего решения – ЛПР) заключается в выработке (и последующем обеспечении реализации) такой стратегии снабжения группировки ПДК дизельным топливом, при которой минимизируются экономические потери, связанные с их непроизводительными простоями.

В статье рассматривается математическая модель одной из типовых технологических схем снабжения линейно рассредоточенной группировки ПДК, согласно которой доставка дизельного топлива осуществляется двумя идентичными танкерами в процессе их попутного движения от исходного базового пункта вдоль всего полигона. При этом качество оперативного плана снабжения оценивается по значениям двух независимых критериев, отражающих те или иные потери в связи с его реализацией. Выбор конкретной пары оценочных критериев зависит от эксплуатационной ситуации, складывающейся на горизонте планирования. В этом смысле семейство формулируемых ниже бикритериальных задач принятия решений обобщает экстремальные задачи синтеза оптимальных стратегий обслуживания [2, 3] – оперативных планов снабжения ПДК дизельным топливом, построенных в рамках однокритериальных моделей обслуживания.

В целях разработки компьютерного инструментария для штатного решения вышеуказанных задач принятия решений в работе предлагаются алгоритмы синтеза стратегий обслуживания, реализующие в рамках концепции Парето [4] идеологию динамического программирования [5–7]. Технология реализации алгоритмов и результаты синтеза оптимальных по Парето стратегий обслуживания демонстрируются на численных примерах.

2. Математическая модель снабжения и постановки оптимизационных задач

Считается заданной группировка $O_n = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ стационарных объектов, расположенных соответственно в фиксированных точках l_1, l_2, \dots, l_n ($l_1 \leq l_2 \leq \dots \leq l_n$) общей рабочей зоны Ξ двух обслуживающих идентичных мобильных процессоров P_1 и P_2 . Зона Ξ представляет собой отрезок L , начальная точка A которого является базовой для процессоров P_1 и P_2 ; конечная точка B является местом расположения объекта o_n . Из точки A , начиная от момента времени $t = 0$, процессор P_1 поступательно перемещается к конечной точке B и, последовательно останавливаясь у части объектов группировки O_n , выполняет их однофазное обслуживание. Процессор P_2 начинает прямолинейное движение из точки A в точку B в момент времени $t = \tau_0$ ($\tau_0 \geq 0$) и выполняет однофазное обслуживание остальных объектов группы. Для дальнейшего удобно считать, что обслуживание объектов процессором P_1 реализуется в рейсе, именуемом λ_1 , а обслуживание объектов процессором P_2 – в рейсе, именуемом λ_2 (рис. 1). Имеющие место при этом очевидные ограничения на структуры множеств объектов, соответствующих рейсам λ_1, λ_2 и группировке O_n , в теоретико-множественной нотации описываются выражением вида

$$\begin{aligned} \{o_j : o_j \in \lambda_1\} \cup \{o_j : o_j \in \lambda_2\} &= O_n, \\ \{o_j : o_j \in \lambda_1\} \cap \{o_j : o_j \in \lambda_2\} &= \emptyset. \end{aligned}$$

Стратегией обслуживания будем называть произвольное подмножество элементов W из совокупности индексов $W = \{1, 2, \dots, n\}$. Объекты, индексы которых входят в подмножество W , обслуживаются процессором P_1 , остальные объекты – процессором P_2 . Не связанные с обслуживанием объектов простоя процессоров и одновременное обслуживание одним процессором двух и более объектов недопустимы.

С каждым объектом o_j ассоциируются две монотонно возрастающие (в нестрогом смысле) функции индивидуального штрафа $\varphi_j(t)$ и $\psi_j(t)$ выражающие

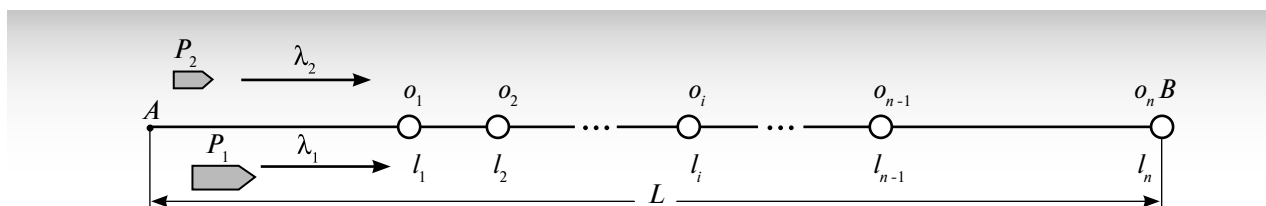


Рис. 1. Схема модели обслуживания стационарных объектов группировки O_n .

зависящие от момента завершения его обслуживания величины потерь. Если в силу специфики условий реализации обслуживания удобно говорить о потерях по объекту o_j , $j = \overline{1, n}$ за некоторый временной интервал $[p, q]$, то в этом случае величины потерь определяются соответственно как разности $\varphi_j(q) - \varphi_j(p)$ и (или) $\psi_j(q) - \psi_j(p)$. Для произвольно-го подмножества объектов штраф за отрезок времени $[p, q]$ определяется как сумма индивидуальных штрафов за этот промежуток времени по всем объектам подмножества или как максимальное значение из величин индивидуальных штрафов по всем объектам подмножества за этот промежуток времени.

Примем для используемых ниже норм времени следующие обозначения:

τ_j – длительность обслуживания объекта o_j процессором P_1 (P_2);

$\gamma_{j-1, j}$ – продолжительность перемещения процессора P_1 (P_2) между точками расположения соседних объектов o_{j-1} и o_j ($j = \overline{1, n}$), при этом $\gamma_{0,1}$ – продолжительность перемещения процессоров между базовой точкой A и точкой l_1 . Параметры τ_j и $\gamma_{j-1, j}$ считаем принимающими целочисленные значения.

Любая стратегия обслуживания однозначно определяет моменты начала и завершения обслуживания каждого из объектов группировки O_n . Для объекта o_j через $t_j^*(W)$, ($j = \overline{1, n}$) обозначим момент завершения его обслуживания при реализации стратегии W .

Если объект o_j обслуживается в рейсе λ_1 ($j \in W$), то

$$t_j^*(W) = \sum_{k=1}^j \gamma_{k-1, k} + \sum_{k \in W(j)} \tau_k,$$

где $W(j)$ – совокупность не превосходящих j элементов из W . Если объект o_j обслуживается в рейсе λ_2 ($j \in N \setminus W$), то

$$t_j^*(W) = \sum_{k=1}^j \gamma_{k-1, k} + \sum_{k \in \{0, \dots, j\} \setminus W(j)} \tau_k.$$

С позиций повышения эффективности управления обслуживанием группировки объектов o_1, o_2, \dots, o_n в зависимости от эксплуатационной ситуации возникают следующие задачи.

Задача 1. Найти полную совокупность Парето-оптимальных стратегий обслуживания для бикритериальной проблемы

$$\min_W \left(\sum_{j=1}^n \varphi_j(t_j^*(W)), \max_j \psi_j(t_j^*(W)) \right) \quad (1)$$

минимизации суммы индивидуальных штрафов φ_j и величины максимального из индивидуальных штрафов ψ_j по всем объектам группировки O_n .

Задача 2. Найти полную совокупность Парето-оптимальных стратегий обслуживания для бикритериальной проблемы

$$\min_W \left(\max_j \varphi_j(t_j^*(W)), \max_j \psi_j(t_j^*(W)) \right) \quad (2)$$

минимизации величин максимального из индивидуальных штрафов φ_j и максимального из индивидуальных штрафов ψ_j по всем объектам группировки O_n .

Задача 3. Найти полную совокупность Парето-оптимальных стратегий обслуживания для бикритериальной проблемы

$$\min_W \left(\sum_{j=1}^n \varphi_j(t_j^*(W)), \sum_{j=1}^n \psi_j(t_j^*(W)) \right) \quad (3)$$

минимизации сумм индивидуальных штрафов φ_j и ψ_j по всем объектам группировки O_n .

Замечание. Отметим важную для приложений интерпретацию задачи 3 для моделей, в которой объектам предписаны директивные сроки завершения обслуживания d_j ($j = \overline{1, n}$). Нарушение директивных сроков влечет за собой монотонно возрастающий в зависимости от продолжительности задержки штраф. Такой штраф равен нулю при $t \in [0, d_j]$ и определяется монотонно возрастающей функцией $\Phi_j(t - d_j)$ при $t > d_j$. В подобных моделях произвольную стратегию W целесообразно оценивать двумя аддитивными критериями вида:

$$Q_1(W) = \sum_{j=1}^n \text{sign}(\varphi_j(t_j^*(W))) -$$

число объектов, обслуживаемых с нарушениями директивных сроков, и

$$Q_2(W) = \sum_{j=1}^n \varphi_j(t_j^*(W)) -$$

суммарный штраф. Возникающая при этом оптимизационная задача вида $\min(Q_1(W), Q_2(W))$ является частным случаем бикритериальной проблемы (3).

3. Алгоритмы синтеза стратегий обслуживания

Для задач 1, 2, 3 в рамках концепции Парето сконструируем решающие алгоритмы на основе идеологии динамического программирования. При этом записью вида $\text{eff}(M)$ будем обозначать максимальное по включению подмножество недоминируемых в M векторов, где M – произвольное множество двумерных векторов-оценок. Также с целью компактного выражения соответствующих рекуррентных соотношений опреде-

лим (специфическим образом для каждой из задач) двуместную операцию \oplus с использованием записей $x=(x_1, x_2)$ для обозначения соответствен-но двумерного вектора и множества векторов той же размерности.

3.1. Алгоритм решения задачи 1

Выражением вида $Y \oplus x$ будем обозначать совокупность $v = (v_1, v_2)$ всех векторов, у которых первый компонент представим в виде $v_1 = y_1 + x_1$, а второй – определяется по правилу $v_2 = \max(y_2, x_2)$, где $y = (y_1, y_2) \in Y$.

Пусть $Z(i, D)$ – задача, отличающаяся от исходной задачи 1 следующим: функции индивидуального штрафа по объектам o_1, o_2, \dots, o_n тождественно нулевые, а общее время, затрачиваемое на обслуживание в рейсе λ_1 объектов группировки O_n , равно D . Обозначим через $E(i, D)$ полную совокупность эффективных оценок в задаче $Z(i, D)$.

Пары (i, D) далее будем именовать ситуациями. Не все ситуации реализуемы в процессах обслуживания. Так, для $i=1$ реализуемы только ситуации $(1, \tau_1)$ и $(1, 0)$. Удобно считать, что для всех нереализуемых ситуаций (i, D) имеет место соотношение $E(i, D) = \{(+\infty, +\infty)\}$. Отметим также, что для всех значений параметра D , не принадлежащих множеству $\{0, 1, 2, \dots, \sum_{k=1}^n \tau_k\}$, ситуации (i, D) нереализуемы.

В частности, $E(i, D) = \{(+\infty, +\infty)\}$ при всех отрицательных значениях D .

Как очевидно, ситуация $(1, 0)$ соответствует обслуживанию объекта o_1 в рейсе λ_2 которое завершается в момент времени $\gamma_{0,1} + \tau_1 + \tau_0$. В то же время ситуация $(1, \tau_1)$ описывает обслуживание объекта o_1 в рейсе λ_1 завершающееся в момент времени $\gamma_{0,1} + \tau_1$. При $D \notin \{0, \tau_1\}$ величины $E(1, D)$ смысла не имеют. Поэтому для задачи 1 имеют место соотношения

$$E(1, 0) = \{(\varphi_1(\gamma_{0,1} + \tau_1 + \tau_0), \psi_1(\gamma_{0,1} + \tau_1 + \tau_0))\}, \quad (4)$$

$$E(1, \tau_1) = \{(\varphi_1(\gamma_{0,1} + \tau_1), \psi_1(\gamma_{0,1} + \tau_1))\}, \quad (5)$$

$$E(1, D) = \{(+\infty, +\infty)\} \text{ при } D \notin \{0, \tau_1\}. \quad (6)$$

Пусть все значения $E(i, D)$ для некоторого $i \in \{1, 2, \dots, n-1\}$ уже найдены. При отыскании значений $E(i+1, D)$ следует учитывать следующие две возможности:

♦ объект o_{i+1} обслуживается в рейсе λ_1 и тогда рас-

сматриваемой ситуации $(i+1, D)$ непосредственно предшествует ситуация $(i, D - \tau_{i+1})$;

♦ объект обслуживается в рейсе λ_2 и тогда ситуации $(i+1, D)$ непосредственно предшествует ситуация (i, D) .

С учетом указанных возможностей получаем соотношение

$$E(i+1, D) = \text{eff}(K_1, K_2). \quad (7)$$

Аргументы K_1, K_2 выражения (7) ниже именуем соответственно его первым и вторым компонентами. Их значения вычисляются по формулам

$$K_1 = E(i, D - \tau_{i+1}) \oplus (\varphi_{i+1}(\xi), \psi_{i+1}(\xi)),$$

$$K_2 = E(i, D) \oplus (\varphi_{i+1}(\xi), \psi_{i+1}(\xi)), \quad (8)$$

$$\text{где } \xi = \sum_{k=0}^i \gamma_{k,k+1} + D, \quad \xi = \sum_{k=0}^i \gamma_{k,k+1} - D + \sum_{k=0}^i \tau_{k+1}.$$

Таким образом, полная совокупность эффективных оценок E в задаче 1 определяется равенством

$$E = \text{eff}\left(\bigcup_{D=0}^{\sum_{k=1}^n \tau_k} E(n, D)\right). \quad (9)$$

Формулы (4) – (7) суть рекуррентные соотношения динамического программирования, позволяющие совместно с (9) получить решение задачи 1. Процесс вычислений по ним удобно представлять как последовательное заполнение таблицы значений функции $E(i, D)$, строки которой соответствуют значениям индекса $i (i \in \{1, 2, \dots, n-1\})$, а столбцы – значениям параметра $D (D \in \{0, 1, 2, \dots, \sum_{k=1}^n \tau_k\})$.

Таблица заполняется по строкам в порядке возрастания индекса i . Фиксируя в процессе вычислений по формуле (7) для каждого найденного значения $E(i+1, D)$ номер компонента, который попал в множество недоминируемых оценок на этом этапе и номер оценки из совокупности $E(i, D)$ или $E(i, D - \tau_{i+1})$, из которой было получено текущее значение, а также определяя значения параметра D , при которых соответствующие оценки попадают в множество недоминируемых на последнем этапе (7), легко строим Парето-оптимальную стратегию обслуживания.

Общее число выполняемых алгоритмом построения полной совокупности эффективных оценок элементарных операций прямо пропорциональ-

Таблица 1.

Вид функций штрафа и значения параметров для примера 1

i	0	1	2	3	4	5
$\gamma_{i,i+1}$	2	4	3	5	4	
τ_i	4	1	2	1	3	1
Φ_{i+1}		$\begin{cases} 0 \text{ при } t \leq 0, \\ 3(t-30) \text{ при } t > 30 \end{cases}$	$\begin{cases} 0 \text{ при } t \leq 16, \\ 2(t-16) \text{ при } t > 16 \end{cases}$	$\begin{cases} 0 \text{ при } t \leq 12, \\ 3(t-12) \text{ при } t > 12 \end{cases}$	$2t$	t
Ψ_{i+1}		$3t$	t	$3t$	t	$t+8$

но количеству вычисляемых значений функции $E(i, D)$, т.е. оценивается величиной $O(T \cdot n \cdot m)$, где

$$T = \sum_{k=1}^n \tau_k,$$

$m(i, D)$ – число возможных оценок в задаче $E(i, D)$,

$$m = \max(\left| \bigcup_{D=1}^T E(n, D) \right|, \max_{2 \leq i \leq n} \max_{0 \leq D \leq T} m(i, D)).$$

Поскольку величина m имеет порядок 2^n , то вышеприведенная оценка числа операций имеет экспоненциальный характер.

Процедуру решения задачи 1 можно представить как последовательное выполнение следующих двух этапов.

1. Построение полной совокупности эффективных оценок путем реализации вычислительного процесса по соотношениям (4) – (9).

2. Построение совокупности Парето-оптимальных стратегий обслуживания, соответствующих полученным эффективным оценкам.

Для практической реализации обычно выбирается только одна стратегия обслуживания, которую ЛПР сочтет наиболее целесообразной. В этом случае на втором этапе осуществляется построение единственной стратегии обслуживания, соответствующей выбранной ЛПР эффективной оценке.

Пример 1. Требуется построить полную совокупность Парето-оптимальных стратегий обслуживания для функций штрафа и значений параметров модели обслуживания, представленных в табл. 1.

По условиям примера индекс i принимает целочисленные значения от 1 до 5, а параметр D принимает аналогичные значения из отрезка $[0, 8]$. Соответствующие значения функции $E(i, D)$ фиксируем в табл. 2; при этом значения $(+\infty, +\infty)$ в таблицу не вносим.

В процессе вычислений по формуле (7) для каждого найденного значения функции $E(i+1, D)$ фиксируется номер оценки из совокупности $E(i, D)$

(или $E(i, D - \tau_{i+1})$, из которой было получено текущее значение. Этот номер как первое число скобочной пары вносится в клетку $(i+1, D)$ табл. 2 одновременно с записываемым в нее значением $E(i+1, D)$ в качестве второго числа скобочной пары в клетку табл. 2 вносится номер компонента, из которого была получена текущая оценка.

Согласно формуле (9) совокупность эффективных оценок в рассматриваемой задаче получается применением операции *eff* к множеству значений $E(5, D)$. Таким образом, $E = \{(68, 30), (59, 31)\}$.

Пусть теперь из данной совокупности выбрана оценка $(68, 30)$. Как очевидно, соответствующее значение параметра D равно двум. Используя индексы в скобках, получаем Парето-оптимальную стратегию обслуживания $W_1 = \{3, 5\}$. Аналогичным образом можно построить соответствующую оценке $(59, 31)$ Парето-оптимальную стратегию $W_2 = \{3, 4, 5\}$.

Таблица 2.

Таблица значений функции $E(i, D)$ в примере 1

i \ D	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0, 21	0, 9							
2	0, 21 (1, 2)	0, 12 (1, 2)	0, 21 (1, 1)	0, 9 (1, 1)					
3	15, 51 (1, 2)	0, 30 (1, 1)	0, 33 (1, 1)	0, 36 (1, 1)	3, 39 (1, 1)				
4	65, 51 (1, 2)	48, 30 (1, 2)	46, 33 (1, 2)	44, 36 (1, 2)	36, 30 (1, 1)	38, 33 (1, 1)	40, 36 (1, 1)	45, 39 (1, 1)	
5	95, 38 (1, 2)	77, 37 (1, 2)	68, 30 (1, 1)	67, 33 (1, 1)	62, 34 (1, 2)	59, 31 (1, 1)	62, 33 (1, 1)	65, 36 (1, 1)	71, 39 (1, 1)

3.2. Алгоритм решения задачи 2

Через $Y \oplus x$ будем обозначать совокупность всех векторов $v = (v_1, v_2)$, первый компонент которых

представим в виде $v_1 = \max(y_1, x_1)$, а второй компонент определяется по формуле $v_2 = \max(y_2, x_2)$, где $y = (y_1, y_2) \in Y$.

Использование введенного определения операции \oplus при вычислении по формуле (8) значений компонентов K_1, K_2 и позволяет путем реализации соотношений (4) – (9) найти по изложенной в подразделе 3.1 технологии множество эффективных оценок и им соответствующие Парето-оптимальные стратегии обслуживания.

Пример 2. Требуется построить полную совокупность Парето-оптимальных стратегий обслуживания в задаче 2 на исходных данных из табл. 1.

Реализовав счет по соотношениям (4) – (9), получаем следующее множество эффективных оценок – $E = \{(48, 30), (36, 31), (34, 51)\}$. Восстанавливая стратегии, соответствующие оценкам множества E получаем $W_1 = \{3, 5\}$, $W_2 = \{3, 4, 5\}$, $W_3 = \{2, 3, 5\}$ соответственно.

3.3. Алгоритм решения задачи 3

Выражением вида $Y \oplus x$ будем обозначать совокупность всех векторов $v = (v_1, v_2)$, у которых первый компонент представим в виде $v_1 = y_1 + x_1$, а второй – определяется по правилу $v_2 = y_2 + x_2$, где $y = (y_1, y_2) \in Y$.

Использование введенного определения операции \oplus при вычислении по формуле (8) значений компонентов K_1 и K_2 позволяет путем реализации соотношений (4) – (7) и (9) найти по изложенной в п.3.1 технологии множество эффективных оценок и им соответствующие Парето-оптимальные стратегии обслуживания.

Пример 3. Требуется построить полную совокупность Парето-оптимальных стратегий обслуживания в задаче 3 на исходных данных из табл. 1.

Реализовав счет по рекуррентным соотношениям (4) – (9), получаем следующее множество эффективных оценок – $E = \{(59, 113), (62, 105)\}$ и им соответствующие Парето-оптимальные стратегии $W_1 = \{3, 4, 5\}$. и $W_2 = \{1, 3, 4, 5\}$.

4. Результаты вычислительных экспериментов

Предложенные алгоритмы решения задач 1 – 3 были реализованы программно в среде Microsoft Visual Studio* 2008 на языке C# и экспериментально

исследованы для практически значимых значений размерности задачи $n=15, 16, 17 \dots 30$; для каждого значения n решалось по 20 задач. При этом в качестве функций индивидуального штрафа использовались зависимости вида

$$\varphi(i, \bar{t}) = \begin{cases} 0, & \text{при } \bar{t} \leq d_i, \\ a_i \cdot [\bar{t} - d_i], & \text{при } \bar{t} > d_i, \end{cases}$$

$$\psi(i, \bar{t}) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \leq \bar{t}_i + \tau_i + dt_i, \\ \bar{t} - (t_i + \tau_i + dt_i), & \text{при } \bar{t} > t_i + \tau_i + dt_i. \end{cases}$$

Первая функция соответствует штрафу за нарушение директивного срока $d_i = t_i + \tau_i + dt_i$; вторая функция определяет продолжительность непроизводительного простоя ПДК по причине отсутствия дизельного топлива; t_i – момент окончания основного запаса топлива на борту ПДК; dt_i – момент окончания резервного запаса топлива ПДК; dt_i – продолжительность простоя, не нарушающего сроков поставки НСМ. Целочисленные характеристики решаемых задач генерировались по равномерному закону распределения из следующих диапазонов значений: $t_i \in [10, 60]$, $\tau_i \in [4, 20]$, $td_i \in [0, 7]$, $dt_i \in [0, 5]$, $a_i \in [1, 10]$, $\gamma_{ij} \in [10, 60]$.

Для каждого набора значений параметров были решены задачи 1 – 3. Графики зависимости времени работы решающих алгоритмов от размерности задачи представлены на рис. 2.

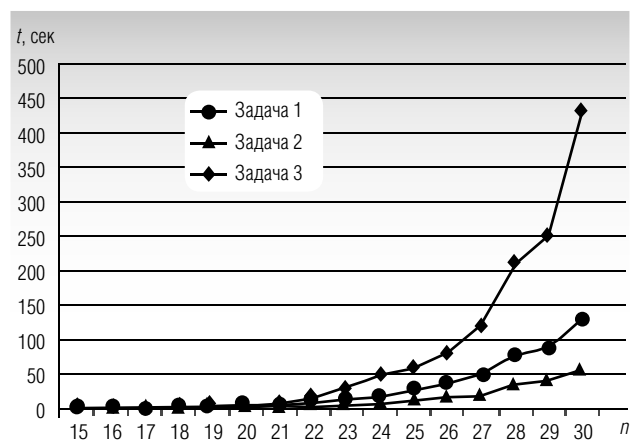


Рис. 2. Зависимость времени работы алгоритмов решения задач 1 – 3 от размерности группировки объектов.

5. Заключение

В статье построены модели однофазного обслуживания совокупности стационарных объектов при наличии двух процессоров, осуществляющих

попутное движение. Данные бикритериальные модели адекватно описывают известные на внутреннем водном транспорте технологии снабжения группировки плавучих добывающих комплексов.

Разработанные в рамках моделей рекуррентные процедуры динамического программирования позволяют строить полные совокупности эффективных оценок для всех сформулированных в работе задач. Такой подход к оптимизации процессов диспетчеризации предоставляет возможность ЛПР при принятии решения путем выбора той или иной эффективной оценки (и построения соответствующей ей стратегии) оперативно учитывать складывающуюся эксплуатационную обстановку и, возможно, специфические неформализуемые обстоятельства.

Для практически значимых размерностей рассмотренных моделей ($n \leq 30$) временные затраты синтеза стратегий обслуживания с запасом покрывают допустимую производственным регламентом диспетчера длительность автоматизированного формирования стратегии обслуживания – 15 минут. Отмеченное обстоятельство позволяет рекомендовать предложенные в работе модели и алгоритмы для использования в компьютерных системах поддержки управления снабжением дизельным топливом группировок плавучих добывающих комплексов, функционирующих в крупномасштабных русловых районах внутренних водных путей РФ. Прототип такой системы хорошо зарекомендовал себя в процессе экспериментальной эксплуатации в Камском грузовом районе Казанского речного порта. ■

Литература

1. Синий А.В., Федосенко Ю.С. Базовые математические модели снабжения топливом земснарядов в крупномасштабных районах русловой добычи нерудных строительных материалов // Международный научно-промышленный форум «Великие реки» 2004. Генеральные доклады». Нижний Новгород. Изд. ННГАСУ, 2004. С. 468-470.
2. Коган Д.И., Федосенко Ю.С. Задачи синтеза оптимальных стратегий обслуживания стационарных объектов в одномерной рабочей зоне процессора // Автоматика и телемеханика. 2010. №10. С. 50-62.
3. Коган Д.И., Федосенко Ю.С., Дуничкина Н.А. Задачи обслуживания линейно рассредоточенных стационарных объектов перемещающимися процессорами II // VI Московская международная конференция по исследованию операций (ORM' 2010), Москва, 19 -23 октября 2010 г.: Труды. – М.: МАКС Пресс, 2010. С. 298-299.
4. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982. – 255 с.
5. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования: Пер. с англ. – М.: Наука, 1965. – 457 с.
6. Klamroth K., Wiecek M. Dynamic Programming Approaches to the Multiple Criteria Knapsack Problem // Technical Report #666. Dept. of Math. Sc., Clemson University. Clemson, SC, 1998.
7. Коган Д.И. Динамическое программирование и дискретная многокритериальная оптимизация. – Нижний Новгород: Изд. Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского, 2005. – 260 с.
8. Ульянов М.В., Наумова О.А., Яковлев И.А. Прогнозирование временных оценок для табличного решения задачи оптимальной упаковки на основе функции трудоемкости // Бизнес-информатика. 2010. №3(05). С. 37-46.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕДУРЫ СО МНОГИМИ РЕШЕНИЯМИ В ЗАДАЧЕ АНАЛИЗА ИТОГОВ ПРИЕМА В ФИЛИАЛЫ ВУЗА

А.П. Колданов,

доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики и информатики Нижегородского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

П.А. Колданов,

кандидат технических наук, ассистент кафедры теории и методики дистанционного обучения Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

Адрес: . г. Нижний Новгород, ул. Казанское шоссе, д. 23/104

E-mail: akoldanov@hse.ru; kold@mail.ru

Анализируются особенности многоальтернативных задач сравнения нескольких генеральных совокупностей по малым выборкам и специфика рассматриваемого метода их решения. Предлагается дополнить метод построения статистических тестов со многими решениями предварительной процедурой выделения однородной информации. Приводится пример анализа реальных данных, иллюстрирующий целесообразность такого дополнения.

Ключевые слова: тесты со многими решениями, порождающие гипотезы, группы однородности, несмещенные тесты попарного сравнения, итоги приёма в филиалы.

Введение

В настоящей работе рассматривается задача сравнительного анализа итогов приемных кампаний в филиалы ВУЗа за небольшое (в примерах не более 8) количество лет. При этом изучается спрос на получение высшего образования в этих филиалах, т.е. анализируется число заявлений от абитуриентов. Так как количество абитуриентов

естественно считать случайной величиной, то такая задача относится к математической статистике. При этом одна из основных сложностей заключается в малом объеме наблюдений в каждом филиале. Последнее определяется как реально имеющимися у нас данными так и, что значительно более важно, общепринятым в практике применения математической статистики предположением о повторности (стационарности) выборки.

Предположение о повторности выборки адекватно реальной ситуации, характерной для приема в ВУЗы, только на достаточно коротких промежутках времени, что связано как с изменением демографических факторов, так и с меняющимися правилами приема, вызванными общим изменением социально-экономических условий.

Малость объема наблюдений характерна для многих прикладных задач, связанных со статистической обработкой реальных данных, и методы повышения эффективности соответствующих процедур имеют постоянную актуальность. К числу таких задач из наиболее близких к рассматриваемой в настоящей работе могут быть отнесены задачи одновременного анализа деятельности нескольких, в определенном смысле, родственных организаций. При этом повышение эффективности анализа деятельности одной организации возможно за счет использования данных о результатах деятельности всех однотипных организаций. На такую возможность указывалось в [1]. Позднее эти методы получили название статистического анализа совокупности малых выборок [2].

Задача анализа итогов приема в филиалы ВУЗа была поставлена в [3], как задача проверки гипотезы однородности с двумя решениями: данные не противоречат (или противоречат) гипотезе о том, что во всех филиалах приемные кампании одинаково эффективны. В [4], [5] показана целесообразность использования совокупности малых выборок для проверки гипотезы однородности при использовании простейших статистических процедур. В [6] приведен оптимальный (в классе несмещенных) тест с двумя решениями о сравнительной эффективности приемных кампаний в два филиала. Подчеркнем, что в работах [3-6] исследовались различные аспекты, связанные с решением двухальтернативных задач.

Вместе с тем, при отвержении гипотезы однородности возникает вопрос, в каких филиалах и каким образом ситуация отличается от постулируемой гипотезой однородности. Подобная информация представляет интерес для руководства головного ВУЗа при решении таких вопросов, как проведение адекватной оценки деятельности приемных комиссий и рекламных кампаний; рациональное распределение возможных капитальных вложений в филиалы и принятии других управленческих решений [7]. В этом случае, рассматриваемая задача заключается в выборе одной из многих гипотез о возможных соотношениях эффективностей прием-

ных кампаний в различные филиалы ВУЗа.

Результаты, относящиеся к теории построения статистических процедур со многими решениями, приведены в [8,9,10,11]. В настоящей работе применяется метод, основы которого заложены в [10]. Из прикладных работ, связанных с анализом деятельности именно образовательных организаций можно отметить [12], где для кластеризации регионов страны по результатам ЕГЭ, используется критерий χ^2 .

В настоящей работе рассматривается задача сравнения эффективности приемных кампаний в филиалы ВУЗа именно как многоальтернативная задача. В такой постановке задача была сформулирована в [7]. Соответствующая математическая модель предложена в [13]. Решение этой задачи (и в [13], и в настоящей работе), основано на методе, предложенном в [10], и представляет собой комбинацию тестов попарного сравнения итогов приема во все филиалы ВУЗа. Основное внимание в [13] сосредоточено на проблеме непротиворечивого объединения (проблеме совместимости) всех возможных решений тестов попарного сравнения. При этом используемый в [13] тест сравнения приемных кампаний в два филиала предполагает обработку наблюдений только в этих двух филиалах.

В настоящей работе тест со многими решениями комбинируется из тестов попарного сравнения, использующих (для оценки мешающего параметра) данные о приеме во все филиалы, образующие однородную группу. С целью выделения однородной группы формулируются и проверяются вспомогательные гипотезы однородности. Заметим, что с теоретической точки зрения, увеличение количества наблюдений позволяет улучшить характеристики (уменьшить вероятности ошибочных решений) соответствующих статистических процедур. Приводятся результаты применения построенного теста для обработки реальных данных и сравнения практических выводов (о соотношении итогов приема), полученных с выделением и без выделения однородной группы филиалов.

Основные предположения и математическая модель

Реальные данные о результатах приема удобно представить в виде матрицы $\|x_{ji}\|$, где x_{ji} численность абитуриентов в филиале в городе j в год i ($j=\overline{1,N}; i=\overline{1,m_j}$), где N количество филиалов, m_j –

количество наборов в j -ый филиал. Величины x_{ji} представляют собой значения случайных величин X_{ji} , которые описывают численность абитуриентов в городе j в год i . Будем считать, что случайные величины X_{ji} независимы при всех $i=\overline{1, m_j}; j=\overline{1, N}$ и при фиксированном j одинаково распределены, как X_j .

Для задания распределения представим X_j виде:

$$X_j = \sum_{k=1}^{n_j} \xi_{jk},$$

где ξ_{jk} — индикатор того, что k -ый человек будет абитуриентом j -го филиала т.е.

$$\xi_{jk} = \begin{cases} 1, & P(\xi_{jk} = 1) = p_{jk} \\ 0, & P(\xi_{jk} = 0) = 1 - p_{jk} \end{cases} \quad (1)$$

n_j — количество потенциальных абитуриентов в городе j .

Обычно можно выделить группы абитуриентов, представители каждой из которых не влияют (или слабо влияют) на поведение абитуриентов из других групп. Такие группы формируют жители разных населенных пунктов, представители разных социальных слоев населения, выпускники разных школ, техникумов и т.д. При этом к одной группе, в частности, можно отнести одноклассников (возможно, не всех), часто подверженных «стадному» поведению. При достаточно большом числе таких групп (что типично) можно считать, что X_j имеет (приблизительно) нормальное распределение $N(a_j, \sigma_j^2)$, где

$$a_j = \sum_{k=1}^{n_j} p_{jk}$$

описывает среднее число абитуриентов j -го филиала.

С целью исключения такого важного фактора, как численность населения, будем характеризовать эффективность приемной кампании (или спрос на обучение в j -ом филиале) параметром

$$p_j = \frac{a_j}{n_j}.$$

При этом сравниваются результаты работы именно приемных комиссий филиалов (а не условий, в которых они работают, таких как потенциально возможная численность абитуриентов).

Будем считать, что если $p_i > p_j$, то приемная комиссия в i -ом филиале работает лучше, чем в j -ом. Таким образом, информационными параметрами являются математические ожидания случайных величин X_j с коэффициентами $1/n_j$.

Применительно к рассматриваемой задаче па-

раметр σ_j^2 характеризует степень разброса численности абитуриентов, который определяется в основном социальным составом населения, популярностью головного ВУЗа и т.п.

Одно из основных предположений математической модели [13] заключается в том, что эффективность работы собственно приемной комиссии влияет на параметр σ_j^2 в значительно меньшей степени, чем на параметр a_j , т.е. параметры σ_j^2 характеризуют обстановку, в которой работают филиалы, и, с точки зрения оценки эффективности работы приемной комиссии выступают как мешающие параметры [2]. При этом могут существовать филиалы (группа филиалов), которые работают в примерно одинаковых условиях. Формально такое предположение можно сформулировать, как гипотезу однородности вида:

$$H_{j_1 \dots j_k}: \sigma_{j_i}^2 = n_{j_i} \sigma_0^2, i = \overline{1, k}; \{j_1, \dots, j_k\} \subseteq \{1, \dots, N\}. \quad (2)$$

В дальнейшем будем говорить, что филиалы, для которых выполняется (2), образуют однородную группу.

Заметим, что гипотезу однородности можно переписать в виде:

$$\frac{\sigma_j^2}{\sigma_i^2} = \frac{n_j}{n_i}.$$

При этом, если дополнительно предположить, что процент потенциальных абитуриентов одинаков для филиалов из однородной группы, то соотношение n_j/n_i можно понимать, как отношение численностей населения соответствующих регионов. В дальнейшем будем считать, что величины n_j/n_i известны при всех $i, j = 1 \dots N$.

Предположение (2) является основным для настоящей работы, так как если реальные данные не противоречат $H_{j_1 \dots j_k}$, то для оценки неизвестного параметра σ_0^2 можно использовать все наблюдения в филиалах, образующих однородную группу.

Пример выделения однородной группы филиалов

В качестве примера формулировки гипотезы однородности и её проверки проанализируем реальные данные о результатах восьмилетней деятельности крупного регионального (областного) ВУЗа, имеющего 8 филиалов в районных центрах области. Такие данные удобно представить в виде таблиц, в которых указана численность приема в различные филиалы и года работы. В настоящей работе огра-

начимся анализом приема на сокращенные программы по заочной форме обучения.

Таблица 1.

Данные об итогах приема на сокращенную программу по заочной форме

	1Ф	2Ф	3Ф	4Ф	5Ф	6Ф	7Ф	8Ф
1 набор	103	131	187	154				
2 набор	92	212	262	92	151	99	235	
3 набор	122	197	376	129	164	268	338	77
4 набор	48	143	283	146	141	217	239	63
5 набор	86	95	231	125	140	231	187	59
6 набор	89	70	203	127	173	175	123	78
7 набор	147	92	276	183	141	137	139	82
8 набор	134	95	258	213	187	242	185	28

Отсутствие данных в некоторых полях таблицы означает, что на соответствующий филиал в указанный год набор не осуществлялся.

При выделении однородной группы филиалов учитывались такие признаки как перечень реализуемых программ в филиале, социально-экономические показатели городов, удаленность от областного центра и т.п. На основании таких признаков можно сформулировать следующую гипотезу: при анализе итогов приема на сокращенные формы получения высшего образования однородную группу образуют филиалы: 1Ф, 2Ф, 3Ф, 4Ф, 6Ф, 8Ф, т.е.

$$H_0^1: \frac{(\sigma_1)^2}{n_1} = \frac{(\sigma_2)^2}{n_2} = \frac{(\sigma_3)^2}{n_3} = \frac{(\sigma_4)^2}{n_4} = \frac{(\sigma_6)^2}{n_6} = \frac{(\sigma_8)^2}{n_8} \quad (3)$$

Гипотеза (3) представляет собой гипотезу пропорциональности дисперсий нескольких нормальных совокупностей. Для того, чтобы перейти от нее к классической задаче однородности (равенства дисперсий) нескольких совокупностей достаточно перейти от случайных величин X_j к величинам

$$Y_j = \frac{X_j}{\sqrt{n_j}}, j = 1, \dots, N.$$

В этом случае основное предположение (2) будет иметь вид:

$$H_{j_1 \dots j_k}: \sigma_{j_1 Y}^2 = \dots = \sigma_{j_k Y}^2 = \sigma_0^2; \{j_1, \dots, j_k\} \subseteq \{1, \dots, N\} \quad (4)$$

где $\sigma_{j_j Y}^2$ – дисперсия случайной величин Y_{j_j} .

Для проверки гипотезы равенства дисперсий нескольких нормальных совокупностей (4) можно использовать тесты, описанные, например, в [14]. При этом существенно, что при $k > 2$ оптимального теста не существует.

Применение часто рекомендуемого (пакеты программ Statistica и SPSS) теста Левена к данным таблицы 1 приводит к тому, что не отвергается более «широкая» гипотеза, об однородности филиалов 1Ф, 2Ф, 3Ф, 4Ф, 5Ф, 6Ф, 8Ф.

Как отмечалось в [14] одним из наиболее мощных тестов проверки гипотез (4) при $k > 2$ является тест Саммиудина. Современные численные исследования мощности тестов равенства дисперсий [15] подтверждают этот вывод. Тест Саммиудина основан на статистике:

$$W = \frac{9}{2} \sum_{i=1}^k f_i \left[\left(\frac{f_i}{f_i} \right)^{\frac{1}{3}} z_i^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^2, \quad (5)$$

$$\text{где } f_i = m_i - 1; f = \sum_{i=1}^k m_i; z_i = \frac{f_i s_i^2}{\sum_{i=1}^k f_i s_i^2},$$

$$m_i - \text{объем наблюдений из } N(a_i, \sigma_i^2),$$

$$s_i^2 = \frac{1}{(m_i - 1)n_i} \sum_{l=1}^{m_i} (x_{il} - \bar{x}_i)^2, \quad \bar{x}_i = \frac{1}{m_i \sqrt{n_i}} \sum_{l=1}^{m_i} x_{il}. \quad (6)$$

Результаты применения теста (5), (6) к данным таблицы 1 приводят к следующему: при анализе приема на сокращенные программы данные противоречат гипотезе о том, что однородную группу образуют филиалы 1Ф, 2Ф, 3Ф, 4Ф, 5Ф, 6Ф, 8Ф, но не противоречат гипотезе однородности (3).

Результаты применения равномерно наиболее мощного (для сравнения двух совокупностей) теста Фишера [8] к каждой паре филиалов, участвующих в соотношении (3) совпадают с результатами применения теста Саммиудина. Таким образом, можно сделать вывод о том, что данные таблицы 1 не противоречат гипотезе (3).

Тесты со многими решениями и их специфика

Как отмечалось во введении, основной целью настоящей работы является построение и применение для анализа конкретных данных статистического теста со многими решениями для различения гипотез вида:

$$\begin{aligned} H_1: p_1 = p_2 = \dots = p_N \\ H_{i_1}: p_1 > p_2 = \dots = p_N \\ H_{i_2}: p_1 > p_2 > p_3 = p_4 \dots = p_N \\ \dots \\ H_L: p_1 < p_2 < \dots < p_N \end{aligned} \quad (7)$$

где H_{ij} означает, что в первом филиале приемные комиссии работают лучше, чем в других, а эффективность работы приемных комиссий во всех остальных филиалах одинакова и т.д.

Наиболее общий конструктивный метод построения тестов для различения многих гипотез предложен в [10] и основан на сведении многоальтернативной задачи к совокупности соответствующим образом подобранных двухальтернативных порождающих задач и, применительно к (7), подробно рассмотрен в [13].

Отметим здесь основные моменты:

Для различения (7) естественно попытаться скомбинировать результаты применения известных [8] тестов проверки гипотез (которые называются порождающими) $h_{ij} : p_i \geq p_j$ против альтернатив $k_{ij} : p_i < p_j$ при всех $i, j = 1, N$.

При фиксированных i, j комбинация таких тестов при практически допустимых ограничениях приводит к тестам с тремя решениями для различения гипотез:

$$H_{ij}^1 : p_i < p_j, H_{ij}^2 : p_i = p_j, H_{ij}^3 : p_i > p_j \quad (8)$$

Комбинацию таких тестов (при различных i, j) и можно было бы положить в основу решения исходной задачи (7). Однако «объединение» таких тестов с тремя решениями может привести к противоречию, а именно: с ненулевой вероятностью может быть принято решение о том, что (например):

$$p_1 = p_2; p_2 = p_3 \text{ но } p_1 > p_3.$$

Для исключения указанного противоречия в [10,13] рассматривается несколько измененная система порождающих гипотез, а именно, в качестве порождающих задач рассматриваются задачи проверки гипотез $h_{ij} : p_i + \Delta \geq p_j$ против альтернатив $k_{ij} : p_i + \Delta < p_j$, где $\Delta > 0$.

Для проверки гипотез $h_{ij} : p_i + \Delta \geq p_j$ используется равномерно наиболее мощный в классе несмещенных тест

$$\varphi_{ij} = \begin{cases} 1 & t_{ij} > c_{ij} \\ 0 & t_{ij} \leq c_{ij} \end{cases}, \quad (9)$$

статистика которого имеет вид:

$$t_{ij} = \frac{\left(\frac{\bar{x}_i - \bar{x}_j}{n_i - n_j} \right) / \sqrt{\frac{1}{m_i n_i} + \frac{1}{m_j n_j}}}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_i} \sum_{l=1}^{m_i} (x_{il} - \bar{x}_i)^2 + \frac{1}{n_j} \sum_{l=1}^{m_j} (x_{jl} - \bar{x}_j)^2 \right) / (m_i + m_j - 2)}} \quad (10)$$

Соответствующая трехальтернативная задача при фиксированных i, j заключается в различении трех гипотез:

$$H_{ij}^4 : p_i < p_j, H_{ij}^5 : p_i = p_j, H_{ij}^6 : p_i > p_j \quad (11)$$

где под $p_i = p_j$ (равенство с точностью Δ) понимается $|p_i - p_j| < \Delta$, а под $p_i < p_j$ понимается $p_i + \Delta < p_j$.

Существенно, что комбинация тестов различения (11) при различных i, j не приводит к противоречиям, т.к. при (см. пример выше)

$$p_1 = p_2 \ (|p_1 - p_2| < \Delta), p_2 = p_3 \ (|p_2 - p_3| < \Delta)$$

возможно, что $p_1 > p_3$ ($p_1 > p_3 + \Delta$). Следовательно, система тестов для задач (11) будет совместна с исходной задачей, аналогичной (7), в которой все равенства и неравенства заменены на равенства и неравенства с точностью Δ . Подчеркнем, что применение методики [10] не позволяет решить исходную задачу (7), но позволяет решить практически эквивалентную (при малом Δ) ей задачу. При этом в [13] применительно к рассматриваемой задаче в статистике (10) используются только итоги приема в i -ый и j -ый филиалы.

Тест (9) со статистикой (10) допускает улучшение за счет использования наблюдений в филиалах однородной группы. Такой тест имеет вид:

$$\varphi_{ij}^1 = \begin{cases} 1 & t_{ij}^1 > c_{ij}^1 \\ 0 & t_{ij}^1 \leq c_{ij}^1 \end{cases} \quad (12)$$

$$t_{ij}^1 = \frac{\left(\frac{\bar{x}_i - \bar{x}_j}{n_i - n_j} \right) / \sqrt{\frac{1}{m_i n_i} + \frac{1}{m_j n_j}}}{\sqrt{\sum_{l=1}^r \frac{1}{n_l} \sum_{k=1}^{m_l} (x_{lk} - \bar{x}_l)^2 / (n - r)}} \quad (13)$$

где $n = \sum_{l=1}^r m_l$,

r – число филиалов, входящих в однородную группу, $x_{lk}, k=1, \dots, m_l, l=1, \dots, r$ – наблюдения (итоги приема) в филиалах из однородной группы.

Тест (12), (13) (как и (9), (10)) строится по схеме построения равномерно наиболее мощных в классе несмещенных тестов для проверки равенства (неравенства) средних значений двух нормальных совокупностей, изложенной в [8].

Пороговые значения c_{ij} в (9), c_{ij}^1 в (12) выбираются из условий: $P(t_{ij}^1 > c_{ij}^1 / p_i = p_j) = \alpha_j$. Так как статистика t_{ij}^1 имеет большее число степеней свободы, чем статистика t_{ij} , то тест (12), (13) мощнее, чем тест (9), (10).

В [10] показано, что при выполнении условия аддитивности функции потерь, условия совместности и некоторых естественных структурных условий, свойства тестов с двумя решениями для проверки порождающих гипотез переносятся на свойства правила со многими решениями. Поэтому при комбинировании тестов (12), (13) естественно ожидать улучшение характеристик правила со многими решениями по сравнению с правилом, полученным при комбинировании тестов (9), (10).

Пример анализа реальных данных

В качестве иллюстрации характера выводов, получаемых при решении многоальтернативных задач и сравнения этих выводов при использовании тестов (9), (10) и тестов (12), (13) (с проверкой вспомогательной гипотезы однородности) приведем результаты анализа данных *таблицы 1*. Такой анализ проводился в двух вариантах.

Вариант 1: формальное применение теста (9), (10) ко всем парам филиалов.

Вариант 2: применение теста (12), (13) с выделением однородной группы филиалов.

В первом варианте при отвержении гипотезы однородности тест (9), (10), вообще говоря, не обладает какими-либо оптимальными свойствами. При справедливости гипотезы однородности пар филиалов тест (9), (10) является оптимальным в классе несмещенных «двухвыборочных» тестов. Во втором варианте в знаменателе (13) используются наблюдения из всех филиалов, образующих соответствующую однородную группу и тест является оптимальным в

классе несмещенных «r – выборочных» тестов.

При проведении анализа использовались следующие данные:

$$n_1 = 6390, n_2 = 7090, n_3 = 28900, n_4 = 6320, n_5 = 6320, n_6 = 11130, n_7 = 4660, n_8 = 2530.$$

Заметим, что из (10), (13) следует, что результаты анализа зависят только от $n_i/n_j, i, j = 1, \dots, 8$. Уровни значимости для порождающих гипотез h_{ij} выбирались равными 0.05.

Результаты проверки порождающих гипотез с помощью теста (9), (10) всех пар филиалов (вариант 1) приведены в *таблице 2*.

Общий вывод о сравнительной эффективности работы приемных комиссий в филиалах можно записать в более коротком виде:

$$p_3 < p_1 = p_6 \leq p_2 \leq p_8 \leq p_4 \leq p_5 < p_7 \quad (14)$$

(под нестрогим неравенством « $p_i \leq p_j$ » понимается « $p_i + \Delta < p_j$ или $|p_i - p_j| < \Delta$ »).

Запись $p_3 < \dots$ означает, что $p_3 < p_i$ при всех i .

Запись $p_1 = p_6$ означает не только, что $|p_1 - p_6| < \Delta$, но и что все соотношения относительно p_1 и $p_i (i = 1, \dots, 8)$, и относительно p_6 и $p_i (i = 1, \dots, 8)$ имеют одинаковый вид, что видно из *таблицы 2*.

Запись $p_6 \leq p_2 \leq p_8 \leq p_4 \leq p_5$ означает, что между соседними $p_i (i = 6, 2, 8, 4, 5)$ справедливо равенство с точностью Δ , но не существует пары, для которой соотношения со всеми остальными совпадают. В частности, для пары p_2, p_8 из *таблицы 2* имеем:

$$|p_8 - p_2| < \Delta, p_5 > p_2 + \Delta, |p_5 - p_8| < \Delta, \text{ поэтому } p_2 \leq p_8.$$

Таблица 2.

	1Ф	2Ф	3Ф	4Ф	5Ф	6Ф	7Ф
2Ф	$ p_1 - p_2 < \Delta$						
3Ф	$p_1 > p_3 + \Delta$	$p_2 > p_3 + \Delta$					
4Ф	$p_4 > p_1 + \Delta$	$ p_2 - p_4 < \Delta$	$p_3 + \Delta < p_4$				
5Ф	$p_5 > p_1 + \Delta$	$p_5 > p_2 + \Delta$	$p_5 > p_3 + \Delta$	$ p_4 - p_5 < \Delta$			
6Ф	$ p_1 - p_6 < \Delta$	$ p_2 - p_6 < \Delta$	$p_6 > p_3 + \Delta$	$p_4 > p_6 + \Delta$	$p_6 + \Delta < p_5$		
7Ф	$p_7 > p_1 + \Delta$	$p_7 > p_2 + \Delta$	$p_7 > p_3 + \Delta$	$p_7 > p_4 + \Delta$	$p_7 > p_5 + \Delta$	$p_6 + \Delta < p_7$	
8Ф	$ p_1 - p_8 < \Delta$	$ p_8 - p_2 < \Delta$	$p_8 > p_3 + \Delta$	$ p_4 - p_8 < \Delta$	$ p_5 - p_8 < \Delta$	$ p_8 - p_6 < \Delta$	$p_8 + \Delta < p_7$

Таблица 3.

	1Ф	2Ф	3Ф	4Ф	6Ф
2Ф	$ p_1 - p_2 < \Delta$				
3Ф	$p_1 > p_3 + \Delta$	$p_2 > p_3 + \Delta$			
4Ф	$p_4 > p_1 + \Delta$	$ p_4 - p_2 < \Delta$	$p_3 + \Delta < p_4$		
6Ф	$ p_1 - p_6 < \Delta$	$ p_2 - p_6 < \Delta$	$p_6 > p_3 + \Delta$	$p_6 + \Delta < p_4$	
8Ф	$p_1 + \Delta < p_8$	$ p_2 - p_8 < \Delta$	$p_8 > p_3 + \Delta$	$ p_4 - p_8 < \Delta$	$p_6 + \Delta < p_8$

Часть записи $p_6 \overset{\Delta}{\leq} p_2 \overset{\Delta}{\leq} p_8 \overset{\Delta}{\leq} p_4$ означает, что

$$p_6 = p_2; \quad p_2 = p_8; \quad p_8 = p_4; \quad p_6 < p_4.$$

При ограничении только филиалами, входящими в соответствующую однородную группу применение (9), (10) приводит к следующему результату:

$$p_3 < p_1 = p_6 \overset{\Delta}{\leq} p_2 \overset{\Delta}{\leq} p_8 \overset{\Delta}{\leq} p_4 \quad (15)$$

Вариант 2: результаты проверки порождающих гипотез с помощью теста (12), (13) приведены в таблице 3.

Сравнение таблиц 2 и 3 показывает, что использование наблюдений из всех филиалов, образующих однородную группу, позволяет уточнить соотношения между p_1, p_8 и p_6, p_8 .

Общий вывод об упорядочении филиалов по уровню их популярности среди населения приведен ниже:

$$p_3 < p_1 = p_6 \overset{\Delta}{\leq} p_2 \overset{\Delta}{\leq} p_8 = p_4 \quad (16)$$

Полученный вывод отличается от (14), (15) уточнением соотношений между p_4 и p_8 , а также однозначной трактовкой записи

$$p_6 \overset{\Delta}{\leq} p_2 \overset{\Delta}{\leq} p_8.$$

Таким образом, использование всех наблюдений в филиалах из однородной группы позволяет улучшать характеристики соответствующих процедур со многими решениями, и делать интерпретацию выводов таких процедур практически более понятной.

Заключение

Задачу сравнительного анализа эффективности работы приемных комиссий филиалов ВУЗа, как

и многие задачи, традиционно формулируемые как двухальтернативные задачи проверки гипотезы однородности N совокупностей, целесообразно рассматривать как статистическую задачу выбора одного из L ($L > 2$) решений. Такая многоальтернативная постановка позволяет получать более детальные выводы об упорядочении N совокупностей по информативным параметрам.

Для решения подобных задач естественно использовать метод, основанный на объединении результатов всех попарных сравнений N совокупностей. Основное достоинство этого метода заключается в возможности (при определенных условиях [10]) переноса свойств (оптимальности) статистических процедур с двумя решениями на процедуры со многими решениями. При этом, однако, возникает проблема непротиворечивости указанного выше объединения. Применительно к рассматриваемой в настоящей работе задаче, решение этой проблемы возможно за счет введения дополнительного параметра Δ [10, 13]. Теоретически это означает замену задачи проверки, в частности, равенства параметров совокупностей задачей проверки различия этих параметров не более чем на величину Δ . С прикладной точки зрения такой переход не меняет сути прикладной задачи, по крайней мере, при малых Δ .

Вместе с тем, введение Δ приводит к принципиальному отличию характера выводов от результатов, получаемых обычными методами кластеризации (см. например, [12]). Применительно к задаче сравнительного анализа эффективности работы приемных комиссий филиалов это означает, что один и тот же филиал может быть одновременно отнесен, в частности, к двум кластерам [13]. Последнее, с одной стороны, вносит дополнительную неопределенность, однако с другой стороны, соответствует сути многих прикладных задач особенно при анализе малых выборок.

В настоящей работе показана возможность улучшения характеристик статистических процедур со многими решениями за счет рационального использования совокупности малых выборок. Такая процедура основана на введении вспомогательных гипотез однородности и их проверке на адекватность реальным данным. При этом существенно, что филиалы одного ВУЗа являются «родственными» организациями и если они работают в одинаковых условиях, то для анализа параметров обстановки (мешающих параметров) работы каждого филиала можно использовать наблюдения во всех филиалах, образующих однородную (в смысле обстановки) группу.

Приведенный пример показывает, что использование (для оценивания мешающего параметра в соответствии со статистикой (13)) всех наблюдений из однородной группы может существенно уточнить (по сравнению с (10)) отношение порядка параметров N совокупностей. При этом мощность теста (12), (13) больше чем (9), (10).

Изложенный в работе метод построения статистических процедур со многими решениями, включая использование однородной информации, носит достаточно общий характер и может быть применен к решению многих прикладных задач сравнительной оценки результатов деятельности родственных организаций. ■

Литература

1. Нейман Дж. Два прорыва в теории выбора статистических решений. - Пер. с англ. - Математика, 1964, №2.
2. Линник Ю.В. Статистические задачи с мешающими параметрами. М.: Наука, 1966.
3. Колданов П.А. Анализ однородности наборов в ЦДО ННГУ. Материалы международной конференции «Прикладная статистика в социально-экономических проблемах», Н.Новгород, ННГУ, 2003, т.2, - С. 116-121.
4. Колданов П.А. Оценка эффективности приемной кампании подразделений образовательного учреждения // Материалы Всероссийской конференции «Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании». – Пенза 2005. - С. 206-209.
5. Колданов П.А. Статистический анализ совокупности малых выборок // Нелинейный мир - 2007 №7-8, т.5 - С. 531-535.
6. Колданов П.А. Построение оптимального критерия статистического анализа результатов приема в образовательные учреждения // Нелинейный мир – 2008. - №11-12, т.6 - С. 689-696.
7. Хохлов А.Ф., Стронгин Р.Г., Колданов А.П. Региональная образовательная политика (анализ опыта работы Центра дистанционного образования ННГУ). Материалы международной конференции «Прикладная статистика в социально-экономических проблемах», Н.Новгород, ННГУ, 2003, т.1, - С. 7-10.
8. Lehmann E.L., Romano J.P. Testing Statistical Hypotheses. - NY: Springer, 2005. – 786 p.
9. Rao C.V., Swarupchand U. Multiple Comparison Procedures – a Note and a Bibliography – ISSN 1684-8401, Journal of Statistics, v.16, 2009, pp.66-109.
10. Lehmann E.L. A theory of some multiple decision procedures I // Ann. Math. Statist., 1957, V. 28, p. 1 – 25.
11. Shaffer J.P. Recent development towards optimality in multiple hypothesis testing. IMS-Lecture Notes-Monograph Series 2nd Lehmann symposium – Optimality, vol. 49, 2006, pp.16-32.
12. Макаров А.А., Симонова Г.И. К задаче кластеризации регионов РФ по результатам ЕГЭ 2009 г. по математике // Межвузовский сборник научных трудов «Статистические методы оценивания и проверки гипотез». – Пермь – 2010, - С. 24-34.
13. Колданов П.А. Применение метода комбинированной структуры различения многих гипотез в задаче упорядочения нескольких совокупностей. // Межвузовский сборник научных трудов «Статистические методы оценивания и проверки гипотез». – Пермь – 2010. - С. 15-23.
14. Кендалл М. Стюарт А. Статистические выводы и связи – М.: Наука, 1973.
15. Lee H.B., Katz G.S., Restori A.F., A Monte-Carlo Study of Seven Homogeneity of Variance Tests. Journal of Mathematics and Statistics, vol.3, 2010, pp.359-366.

АЛГОРИТМЫ ДЛЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ: ТЕХНОЛОГИЯ LENKOR

А.Г. Дьяконов,

доктор физико-математических наук, доцент кафедры математических методов прогнозирования Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Адрес: г. Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова

E-mail: djakonov@mail.ru

Описаны алгоритмы, которые заняли первые места на Международном соревновании «ECML/PKDD Discovery Challenge 2011 (VideoLectures.Net Recommender System Challenge)» по написанию рекомендательной системы для ресурса VideoLectures.net (научного репозитория лекций). Соревнование состояло из двух независимых конкурсов. В первом конкурсе необходимо по одной просмотренной лекции рекомендовать новую лекцию из списка недавно выложенных на сайт, для которой известно только подробное описание и нет статистики популярности. Во втором конкурсе надо рекомендовать лекции, основываясь на статистической информации о популярности, представленной не в классическом, а в «усреднённом» виде.

Ключевые слова: рекомендательные системы, оценка популярности, технология решения задач LENKOR, контентные методы, анализ данных, рекомендация лекций.

1. Введение

Задача рекомендательной системы – предлагать пользователям услуги (или товары), которые могут быть им полезны в будущем, т.е. «облегчать проблему выбора». Рекомендательные системы существуют практически на всех крупных Интернет-ресурсах: на GroupLens.org и Netflix.com (для выбора фильмов), Youtube.com (для выбора видео), Facebook.com (для выбора друзей), Amazon.com (для выбора товаров), Last.fm (для выбора музыкальных треков) и т.д. Математические методы, которые применяются при разработке рекомендательных систем, можно разбить на две группы [1]:

методы коллаборативной фильтрации (collaborative filtering) и контентные методы (content-based, information filtering). Первые используют статистику поведения пользователей (например, рекомендуют товары и услуги, которые были интересны для похожих пользователей), а вторые – описания товаров и услуг (например, рекомендуют товары из той же категории, ценовой группы, сопутствующие товары и т.д.). Естественно, возможно одновременное использование методов двух групп (hybrid prediction), выделяют также алгоритмы, основанные на априорном знании потребностей пользователей (knowledge-based), см. [1].

Ресурс VideoLectures.net [2] является открытым репозитарием видеолекций, прочитанных ведущими преподавателями и учёными на конференциях, летних научных школах, фестивалях науки и т.д. Конкурс по разработке алгоритмов «ECML/PKDD Discovery Challenge 2011 (VideoLectures.Net Recommender System Challenge)» [3] был проведён с целью улучшить существующую рекомендательную систему ресурса, стимулировать разработку новых рекомендательных алгоритмов и предоставить данные реальной прикладной задачи научному сообществу. Конкурс являлся (очередной ежегодной) соревновательной частью конференции ECML-PKDD 2011 [4], прошедшей в Афинах в сентябре 2011 года, а также базировался на платформе TunedIT [5] (предоставляющей удобный интерфейс для проведения соревнований по анализу данных).

Ниже мы опишем постановки решаемых задач, а также алгоритмы, предложенные для их решения, которые заняли первые места во всех подконкурсах соревнования. Алгоритмы базируются на технологии решения прикладных задач LENKOR, разрабатываемой автором (данная статья начинается серией работ, посвящённую её успешным применениям, полное описание технологии планируется после верификации на достаточном числе прикладных задач). Методы LENKOR ориентированы на задачи со сложным заданием объектов (признаками разных типов и/или непризнаковым описанием), относительно малыми выборками (недостаточными для применения статистических методов), нетрадиционными функционалами качества решений/алгоритмов. Предлагается ввести множество функций близости между объектами (каждая оценивает сходство по своему типу информации), сформировать общую формулу вычисления близости, как правило, в виде обычной линейной комбинации введенных функций, и способ получения ответа. Затем произвести настройку алгоритма и изменение общей формулы (с внесением в неё нелинейностей).

2. Задача «холодный старт» (cold start)

2.1. Постановка задачи

Для некоторого множества лекций ресурса VideoLectures.net (см. рис. 1) заданы их описания: номер лекции (идентификационный номер), язык лекции, категория лекции (например «Machine Learning» или «Biology», всего 350 категорий), число просмотров, дата выкладывания на сайт, ав-

тор лекции (его номер, есть также его имя, e-mail, сайт в Интернете), название лекции (предложение на языке лекции), описание лекции (небольшой текст). Аналогичные данные имеются по событиям, к которым относятся лекции (конференции, на которых они прочитаны, школы-семинары, циклы лекций и т.д.). Здесь мы не перечисляем всей доступной информации, её можно найти на сайте соревнования [3] (например описания слайдов лекций, даты съёмки и т.д.), поскольку она не была использована в финальной версии алгоритма решения. Отметим также, что некоторые данные для лекций не известны (например, не для всех лекций даны описания). Кроме контентной информации имеются также статистические данные: известно сколько пользователей одновременно просмотрели i -ю и j -ю лекции для всех i, j (если это число больше единицы).

Множество описанных лекций разбито на два непересекающихся подмножества: 6983 «старые лекции», которые были опубликованы на сайте до 1 июля 2009 года (по ним известна вся статистика) и 1122 «новые лекции», которые выложены на сайте после этой даты (по ним не известна информация о просмотрах). Есть также контрольная выборка — это подмножество множества старых лекций. Для каждой лекции из контрольной выборки необходимо предложить список рекомендуемых 30 новых лекций (это рекомендация новых лекций пользователю, который посмотрел одну старую). Такая задача моделирует режим «новый пользователь» — «новая лекция» (new user / new item), при котором человеку, впервые зашедшему на сайт, рекомендуют что-то из новинок.

Опишем функционал качества, который использовался организаторами для оценки и сравнения алгоритмов [3]. Пусть алгоритм рекомендует лекции с номерами r_1, \dots, r_R , а верная рекомендация (что из новинок чаще интересует пользователей ресурса после просмотра конкретной «старой» лекции) — лекции с номерами s_1, \dots, s_S (упорядочены по числу просмотров), тогда качество такой рекомендации вычисляется по формуле

$$\frac{1}{|Z|} \sum_{z \in Z} \frac{|\{r_1, \dots, r_{\min(S, R, z)}\} \cap \{s_1, \dots, s_{\min(S, R, z)}\}|}{\min(S, R, z)}, \quad (1)$$

где Z — некоторое множество целых чисел. Для первой задачи организаторы использовали $Z = \{5, 10, 15, 20, 25, 30\}$. Качество алгоритма вычислялась как среднее арифметическое по качеству

всех рекомендаций. Ясно, что функционал поощряет угадывание множества интересных новинок и порядка на этом множестве.



Рис. 1. Демонстрация лекции на сайте VideoLectures.net с пометками признаков.

2.2. Алгоритм решения

Пусть некоторую информацию о лекции можно записать в виде n -мерного вектора $f = (f_1, \dots, f_n)$. Например, если n – число авторов всех лекций, то бинарным вектором f можно описать авторов конкретной лекции: единицы помечают номера соответствующих авторов (такой вектор логично назвать «характеристическим вектором авторов лекции»). Аналогично можно описать язык лекции, её категорию и т.д. Естественно, размерности векторов при разных описаниях (отвечающих разным типам информации) различны. В каждом случае можно оценить, насколько похожи лекции по представленной информации. Например, для i -й лекции, представленной вектором $f(i) = (f_1(i), \dots, f_n(i))$, и j -й лекции, представленной вектором $f(j) = (f_1(j), \dots, f_n(j))$ их близость оцениваем с помощью измененной косинусной меры [6]

$$\langle f(i), f(j) \rangle = \frac{f_1(i)f_1(j) + \dots + f_n(i)f_n(j)}{\sqrt{f_1(i)^2 + \dots + f_n(i)^2 + \varepsilon} \sqrt{f_1(j)^2 + \dots + f_n(j)^2 + \varepsilon}}. \quad (2)$$

Замечание. Подобные изменения « $+\varepsilon$ » (см. (2)) будут встречаться и дальше. Они связаны с предотвращением деления на ноль без потери скорости вычисления в среде MATLAB (поэтому не использовалось простое сравнение знаменателя с нулём). Кроме того, добавление подобных новых параметров меняет качество алгоритма. Оптимизация ка-

чества привела к выбору $\varepsilon = 0,01$ в финальной версии алгоритма. Под оптимизацией качества здесь и далее понимается экспериментальное нахождение локального максимума функционала качества методом покоординатного спуска. Оптимизация в явном виде невозможна из-за недифференцируемости функции (1).

Идея алгоритма: для заданной лекции из контрольной выборки пройтись по всем новым лекциям и вычислить близость к каждой, просуммировав (с какими-то коэффициентами) значения (2) для всех представленных видов информации (категории, авторы, язык и т.д.). Сразу отметим главную модификацию алгоритма, которая существенно улучшает качество. Вместе с близостью к рассматриваемой лекции из контрольной выборки необходимо учитывать близость к похожим лекциям с точки зрения поведения пользователей. Ниже формализуем эту идею.

Замечание. Учёт похожих лекций – естественный метод борьбы с дефицитом информации. Например, если «старая» лекция лежит в категории «Биология», а среди «новых» нет лекций из этой категории, то можно рекомендовать из «похожей», например из «Химии», но никак не из «Криминологии». Такую «похожесть» и должен установить алгоритм, основываясь на информации, из каких разных категорий лекции просматриваются одни и теми же пользователями.

Пусть множество старых лекций индексируется номерами из I , пусть $f(i)$ – вектор описания i -й лекции (по фиксированному типу информации), пусть m'_{ij} – оценка близости i -й и j -й лекции с точки зрения поведения пользователя (определена ниже). Тогда пусть

$$f'(i) = \sum_{j=1} \left(m'_{ij} \frac{f(j)}{\sqrt{f_1(j)^2 + \dots + f_n(j)^2 + \varepsilon}} \right)$$

и близость к новой t -й лекции вычисляем с помощью суммы $\langle f'(i), f(t) \rangle$ по всем видам информации. Опишем, как вычисляются значения m'_{ij} . Пусть L – число лекций, m_{ij} – число пользователей, которые просмотрели и i -ю лекцию и j -ю лекцию при $i \neq j$, и m_{ii} – число пользователей, которые просмотрели i -ю, делённое пополам (такое определение получилось в результате оптимизации качества алгоритма). Тогда

$$m'_{ij} = \frac{m_{ij}}{\sum_{t=1}^L m_{it}}. \quad (3)$$

Замечание. Смысл выражения (3) достаточно ясен. При $m_{ii} = 0$, $i \in \{1, 2, \dots, L\}$, значение (3) «превращается» в оценку вероятности, с которой случайный пользователь посмотрел j -ю лекцию при условии, что он точно посмотрел i -ю. Ненулевые элементы m_{ij} нужны, чтобы учитывать также близость к i -й лекции, а не только к тем, которые похожи на неё с точки зрения поведения пользователей.

Ниже перечислим виды информации, по которым оценивалась близость. Для каждого вида будем указывать вектор $\gamma = (\langle f'(i), f(j_1) \rangle, \dots, \langle f'(i), f(j_r) \rangle)$ с соответствующим индексом, где $J = \{j_1, \dots, j_r\}$ – множество номеров новых лекций.

1. *Категории* – γ_{cat} . Здесь $f(j)$ – характеристический вектор категорий лекций, т.е. бинарный вектор, в котором t -й элемент равен единице, если лекция принадлежит t -й категории.

2. *Авторы* – γ_{auth} . Здесь $f(j)$ – характеристический вектор авторов лекций, т.е. бинарный вектор, в котором t -й элемент равен единице, если t -й автор является автором лекции.

3. *Языки* – γ_{lang} . Здесь $f(j)$ – это характеристический вектор языка лекции, в котором первая координата, соответствующая английскому языку, положена равной единице (чтобы сделать все лекции похожими на английские по соответствующей тематике, поскольку лекции на английском языке смотрят практически все пользователи ресурса).

4. *Названия* – γ_{dic} . Сначала все слова, которые входят в названия и описания лекций приводятся к общей основной форме [6] (мы использовали стеммер Портера [7]). Отметим, что спецсимволы (скобки, запятые, знаки арифметических операций, знак доллара и т.д.) удалялись, но стоп-слова не исключались (исключение практически не меняет качества). Название каждой лекции описывается вектором (h_1, \dots, h_w) , в котором h_i – число слов с i -й основной формой. Затем делается преобразование похожее на idf:

$$f_i = \frac{h_i}{\sqrt{w_i + \varepsilon}} \quad (4)$$

где w_i – сколько слов с i -й основной формой есть вообще в названиях и описаниях (с учётом кратности). Именно такие векторы (f_1, \dots, f_w) и используются для итогового вычисления.

5. *Названия, описания, названия и описания событий* – γ_{dic2} . Каждая лекция имеет название, описание, название соответствующего события и опи-

сание события (если информации о событии нет, то считаем, что название и описание события совпадают с названием и описанием лекции). Всё это объединяется в один текст, он описывается вектором (h_1, \dots, h_w) , а дальше порядок действий такой же, как и в предыдущем пункте.

Замечание. Отход от классического tf*idf-преобразования произошёл в результате решения задачи оптимизации при различных нормировках в (4). Использовалось также деление на логарифм, на саму частоту, на её квадрат и т.д. При этом качество менялось на 2–5%.

Для получения решения алгоритм строит вектор

$$\gamma = 0.19 \cdot \sqrt{0.6 \cdot \gamma_{cat} + 5.6 \cdot \gamma_{auth} + 4.5 \cdot \gamma_{lang} + 5.8 \cdot \gamma_{dic} + 3.1 \cdot \gamma_{dic2}} \quad (5)$$

Здесь корень извлекается поэлементно. В качестве рекомендации алгоритм дает лекции, которые соответствуют наибольшим значениям координат в векторе $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_N)$. Вид решения определяется технологией решения прикладных задач «LENKOR», развиваемой автором, основные этапы применения которой:

1. Выделение различных видов информации, описание способов вычислений близости по каждому виду.

2. Формирование линейной комбинации функций близости, настройка коэффициентов (методом покоординатного спуска). При этом автоматически определяются «ненужные» виды информации (соответствующие слагаемые входят с нулевыми весами).

3. «Деформирование» комбинации (попытка построить нелинейную формулу решения путём перебора различных алгебраических выражений), настройка коэффициентов (методом покоординатного спуска).

На третьем этапе приходится иметь дело с относительно небольшими выражениями (часть функций близости отсеивается на втором этапе), что обеспечивает возможность перебора нелинейных выражений различных типов. В данной задаче оптимальным выражением оказалась линейная комбинация корней, которая, впрочем, не сильно улучшает линейное решение (на 2%). Отметим, что значения коэффициентов в формуле (5) и вид выражения характерен для решения конкретной задачи (даже при накоплении статистики в рассматриваемой задаче оптимальные значения коэффициентов могут измениться). Здесь приводится точная формула для возможности верификации полученных результатов.

В решение, которое автор выложил на сайт [3], внесено ещё одно изменение: вектор $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_N)$ преобразуется в вектор

$$\left(\gamma_1 \cdot \left(1 + \delta \frac{t_{max} - t_1}{t_{max} - t_{min}} \right), \dots, \gamma_N \cdot \left(1 + \delta \frac{t_{max} - t_N}{t_{max} - t_{min}} \right) \right),$$

где t_j – время выкладки на сайт j -й новой лекции, t_{min} – минимальное среди всех этих времён новых лекций, t_{max} – максимальное (вычислялось в днях). Такая поправка учитывает условия соревнования: поскольку оценка происходит по имеющейся статистике (т.е. по числу пользователей, просмотревших новую лекцию после просмотра лекции из контрольной выборки), то важна не только популярность лекции, но и сколько она была доступна для просмотра. В табл. 1 представлена зависимость от δ .

Таблица 1.

Качество алгоритма при различных δ

δ	Качество
0.05	36.24%
0.07 (выбрано)	37.28%
0.09	37.24%

Описанный алгоритм занял первое место среди 62 участников с результатом 35.857% и достаточно солидным отрывом от второго места (см. табл. 2). После загрузки и обработки данных (занимает около 1 часа, но для построения рекомендательной системы может быть выполнено один раз) время работы алгоритма для решения задачи соревнования составило 17.3 секунд на компьютере HP p6050ru Intel Core 2 Quad CPU Q8200 2.33GHz, RAM 3Gb, OS Windows Vista в среде MATLAB 7.10.0. При этом сделано 5704 рекомендации по 30 лекций в каждой. Словарь состоит из 35664 основных форм. Всего лекций и событий: 8624.

Таблица 2.

Результаты алгоритмов-победителей первого конкурса

Алгоритмы	Предфинальный результат	Итоговый результат
LENKOR-алгоритм	37.281%	35.857%
Второе место (E. Spyromitros-Xioufis, E. Stachtari [8])	31.063%	30.743%
Третье место (M. Mozina [9])	30.661%	27.684%

3. Задача «пост-троечные последовательности» (pooled sequences)

3.1. Постановка задачи

Во второй задаче соревнования была предоставлена статистика поведения пользователей, однако, не полная, как это принято в задачах такого типа (кто, что и когда смотрел). Причиной такой неполноты является одна из тенденций в развитии современной IT-индустрии: обеспечение анонимности действий пользователей в Интернете. В последнее время актуальнейшей задачей становится проблема правильного «огрубления» информации, при котором задачи анализа данных можно решать с приемлемым качеством, но нельзя восстановить исходные данные (подробные логи пользователей). Организаторы соревнования для такого огрубления применили метод пост-троечных последовательностей (это наш перевод термина «pooled sequences»).

Обучающая выборка T состоит из троек $\{a, b, c\}$ номеров лекций (всего 109044 тройки). Для каждой тройки указано $n(\{a, b, c\})$ – число пользователей, которые посмотрели все три лекции. Кроме того, указана пост-троечная последовательность (polled sequence). Это список лекций, которые посмотрел хотя бы один просмотревший $\{a, b, c\}$ после всех лекций тройки, с указанием, сколько таких просмотров было. Опишем кратко процедуру построения таких последовательностей [3]. Пусть лог какого-то пользователя (последовательность лекций, которые он посмотрел)

$$102 \rightarrow 33 \rightarrow 2 \rightarrow 34 \rightarrow 35 \rightarrow 2 \rightarrow 102 \rightarrow 17 \rightarrow 36,$$

удаляем из неё повторы:

$$102 \rightarrow 33 \rightarrow 2 \rightarrow 34 \rightarrow 35 \rightarrow 17 \rightarrow 36.$$

Для тройки $\{2, 33, 35\}$ данный пользователь считается просмотревшим все три лекции тройки, а лекции с номерами из $\{17, 36\}$ будут входить в пост-троечную последовательность.

Мы формализуем понятие «пост-троечная последовательность» с помощью вектора $v(\{a, b, c\}) \in Z^L$, где L – число лекций,

$$v(\{a, b, c\}) = (v_1(\{a, b, c\}), \dots, v_L(\{a, b, c\})),$$

$v_j(\{a, b, c\})$ – сколько раз была просмотрена j -я лекция после тройки $\{a, b, c\}$ (неформально говоря, это популярность j -й лекции после просмотра лекций из $\{a, b, c\}$, наш пример «добавляет единицы» к 17-му и 36-му элементам вектора).

Контрольная выборка состоит из 60274 троек (не входящих в обучение). Требуется для троек контрольной выборки определить пост-троечные последовательности, а точнее 10 первых членов последовательностей (10 координат вектора $v(\{a, b, c\})$ с наибольшими значениями). Это соответствует рекомендации пользователю списка из 10 лекций после просмотра им тройки лекций. Отметим, что также известна контентная информация (как и в первой задаче), но она не была использована участниками соревнования, поскольку не улучшала качества алгоритмов. Функционал качества для оценки алгоритмов во второй задаче использовался такой же, как и в первой, но при $Z=\{5, 10\}$.

3.2. Алгоритм решения

Сначала производятся две нормировки векторов, соответствующих тройкам обучающей выборки, первая –

$$v'(\{a, b, c\}) = \left(\frac{v_1(\{a, b, c\})}{\log(|\{\tilde{t} \in T | v_1(\tilde{t}) > 0\}| + 2)} \dots \right. \\ \left. \dots \frac{v_L(\{a, b, c\})}{\log(|\{\tilde{t} \in T | v_L(\tilde{t}) > 0\}| + 2)} \right)$$

ясно, что $|\{\tilde{t} \in T | v_j(\tilde{t}) > 0\}|$ – число троек из обучения, в пост-троечные последовательности которых входит j -я лекция. Вторая нормировка –

$$v''(\{a, b, c\}) = \frac{\log\left(\sum_{j=1}^L v'_j(\{a, b, c\}) + 1\right)}{\sqrt{3 \cdot n(\{a, b, c\}) + \varepsilon}} \cdot v'(\{a, b, c\})$$

Замечание. Первая нормировка учитывает, что если лекция часто входит в пост-троечные последовательности, то факт такого вхождения не является информативным. Были опробованы варианты деления на $|\{\tilde{t} \in T | v_j(\tilde{t}) > 0\}|$, квадрат и корень этого числа. Вторая нормировка также получилась в результате перебора разных вариантов и увеличивает качество на 1%.

Пусть

$$s(\tilde{d}) = \sum_{\tilde{t} \in T: \tilde{d} \subseteq \tilde{t}} v''(\tilde{t}),$$

$n(\tilde{d}) = |\{\tilde{t} \in T : \tilde{d} \subseteq \tilde{t}\}|$ – число слагаемых в этой сумме. Например, $s(\{a, b\})$ – сумма векторов $v''(\{a, b, d\})$ для всех d таких, что $\{a, b, d\} \in T$. Пусть операция ω удаляет из вектора все нулевые координаты, кроме одной, а если нулевых координат не было, то добавляет одну нулевую. Например, $\omega(1, 0, 0, 2, 0) = (1, 0, 2)$, $\omega(1, 2) = (1, 2, 0)$. Пусть также

$$std(x_1, \dots, x_n) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

(стандартное отклонение).

Алгоритм действует очень просто: если среди чисел $n(\{a, b\})$, $n(\{a, c\})$, $n(\{b, c\})$ есть как минимум два ненулевых числа, то полагаем

$$\gamma = \frac{\log(s(\{a, b\}) + 0.02)}{std(\omega(s(\{a, b\}))) + 0.5} + \frac{\log(s(\{b, c\}) + 0.02)}{std(\omega(s(\{b, c\}))) + 0.5} + \frac{\log(s(\{a, c\}) + 0.02)}{std(\omega(s(\{a, c\}))) + 0.5}$$

В противном случае (когда «недостаточно статистики») добавляем к этой сумме слагаемые

$$\frac{\log(s(\{a\}) + 0.02)}{std(\omega(s(\{a\}))) + 0.5} + \frac{\log(s(\{b\}) + 0.02)}{std(\omega(s(\{b\}))) + 0.5} + \frac{\log(s(\{c\}) + 0.02)}{std(\omega(s(\{c\}))) + 0.5}$$

Здесь логарифм \log берётся поэлементно от вектора, константы получились в результате оптимизации качества алгоритма. Элементы полученного вектора γ трактуем как оценки популярности лекции в пост-троечной последовательности (чем выше оценка – тем более популярна). Рекомендуем лекции с наибольшими оценками.

Попытаемся обосновать алгоритм. Представляется очень логичным действовать по правилу

$$\gamma = \log(s(\{a, b\})) + \log(s(\{b, c\})) + \log(s(\{a, c\})) = \\ = \log(s(\{a, b\}) \cdot s(\{b, c\}) \cdot s(\{a, c\}))$$

где « \cdot » – поэлементное умножение векторов.

Действительно, если нет информации о тройке $\{a, b, c\}$, то мы смотрим информацию о тройках $\{a, b, d\}$ для всех d , при которых они входят в обучающую выборку. При этом суммируем все $v(\{a, b, d\})$, что соответствует объединению множеств (множеств с кратным вхождением элементов) – получаем вектор $s(\{a, b\})$. Аналогично поступаем для троек вида $\{a, c, d\}$ и $\{b, c, d\}$ – получаем векторы $s(\{a, c\})$, $s(\{b, c\})$. Теперь логично «одновременно учесть» полученные три вектора для оценки неизвестного вектора $s(\{a, b, c\})$ (или хотя бы порядка на его элементах). Экспериментально было установлено, что для этого лучше использовать произведение (эта операция часто используется в теории нечётких множеств [10] для пересечения множеств):

$$s(\{a, b\}) \cdot s(\{b, c\}) \cdot s(\{a, c\})$$

Переход к выражению

$$(s(\{a,b\})+\varepsilon) \cdot (s(\{b,c\})+\varepsilon) \cdot (s(\{a,c\})+\varepsilon)$$

связан с тем, что здесь не происходит зануления большинства элементов вектора (и потери информации), см. также табл. 3 (логарифм не меняет порядок на элементах вектора оценок популярности). Затем были произведены эксперименты по нормировкам векторов, а также по учёту $s(\{.,.\})+\varepsilon$ с разными весами. Последние привели к делению на $std(\omega(s(\{.,.\}))) + 0.5$ (это увеличивает качество примерно на 1%).

Замечание. Участники соревнования, занявшие второе место [11], использовали правило «энтропийного» типа:

$$\gamma = s(\{a,b\}) \cdot \log(s(\{a,b\})) + s(\{b,c\}) \cdot \log(s(\{b,c\})) + s(\{a,c\}) \cdot \log(s(\{a,c\}))$$

и простейшую нормировку:

$$v''(\{a,b,c\}) = \left(\frac{v_1(\{a,b,c\})}{n(\{a,b,c\})} \quad \dots \quad \frac{v_L(\{a,b,c\})}{n(\{a,b,c\})} \right)$$

(для интерпретации получаемых величин как вероятностей). Возможно, применение энтропийного правила в описанном методе увеличивает качество.

Таблица 3.

Качество алгоритма при различных γ

γ (вид выражения)	качество
$(s(\{a,b\})+\varepsilon) \cdot (s(\{b,c\})+\varepsilon) \cdot (s(\{a,c\})+\varepsilon), \varepsilon = 0$	57.27%
$=*, \varepsilon = 0.01$	62.11%
$=*, \varepsilon = 0.1$	61.60%
$=*, \varepsilon = 1$	58.84%
$(s(\{a,b\}) + s(\{b,c\}) + \varepsilon) \cdot (s(\{b,c\}) + s(\{a,c\}) + \varepsilon) \cdot (s(\{a,c\}) + s(\{a,b\}) + \varepsilon), \varepsilon = 0$	58.63%
$=*, \varepsilon = 0.001$	59.87%

Замечание. При решении этой задачи также была использована идеология «LENKOR»: поиск подходящей линейной комбинации (именно поэтому произведение было преобразовано в сумму логарифмов) и её последующая «деформация» (учитывая специфику задачи, больше внимания уделено нормировкам данных). Здесь не пришлось выбирать типы информации и оценку близости по ним, поскольку использование контентной информации не увеличивало качество (получались нулевые

коэффициенты в линейной комбинации), зато был произведён обширный перебор различных нелинейных выражений (в турнирной таблице до последнего дня два лучших участника показывали близкие результаты, поэтому приходилось бороться за каждый процент качества).

Таблица 4.

Результаты алгоритмов-победителей второго конкурса

Алгоритмы	Предфинальный результат	Итоговый результат
LENKOR-алгоритм	62.102%	62.415%
Второе место (J. Kreiner [11])	60.791%	61.172%
Третье место (V. Nikulin [12])	58.727%	59.063%

Описанный алгоритм занял первое место среди 22 участников с результатом 62.415% (у автора есть уверенность, что показанный результат близок к оптимальному для данной задачи), см. табл. 4. Алгоритм настолько простой, что MATLAB-код занимает несколько строчек. Время работы алгоритма на компьютере HP p6050ru Intel Core 2 Quad CPU Q8200 2.33GHz, RAM 3Gb, OS Windows Vista в среде MATLAB 7.10.0 для прогноза по одной тройке составило 0.0383 секунды, для вычисления ответа второй задачи соревнования (60274 прогнозов) – 38.33 минуты.

4. Заключение

Описанные алгоритмы достаточно просты, универсальны, допускают возможности распараллеливания. Решение получается в удобном виде: как вектор оценок. Для рекомендации некоторого количества лекций достаточно отобрать столько наибольших элементов вектора, но, в принципе, параллельно получают оценки популярности каждой лекции. Кроме того, алгоритмы такого типа могут быть использованы в рамках алгебраического подхода [13] для формирования выражений над алгоритмами. По сути, в основе технологии «LENKOR» лежат идеи алгебраического подхода: выбирается «правильная» база пространства векторов оценок, а затем настраивается алгебраическое выражение.

Предложенные методы могут использоваться для других постановок задач. Например, алгоритм решения задачи «холодный старт» может быть легко приспособлен к решению задач кредитного скоринг-

га и оценки перспективности проектов. Отметим, что для этих задач технология «LENKOR» и была изначально разработана, хотя в задачах кредитного скоринга она может уступать в эффективности «стандартным» методам, например случайному лесу (Random Forest). Алгоритм решения задачи «построечные последовательности» может быть использован не только при построении рекомендательных систем, но и в задачах прогнозирования k -значных временных рядов (для поиска закономерностей типа

«три события определяют будущее событие») и автоматической классификации текстов (в настоящее время автор модифицирует этот метод для классификации на основе троек терминов).

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта: 12-07-00187) и гранта Президента РФ (МД-757.2011.9). Автор благодарен анонимному рецензенту за полезные замечания, которые помогли существенно улучшить статью. ■

Литература

1. Jannach D., Zanker M., Felfernig A., Friedrich G. Recommender Systems: An Introduction. Cambridge University Press (2010).
2. Репозиторий научных и учебных лекций, URL: <http://www.videlectures.net/> (дата обращения: 28.10.2011).
3. Antulov-Fantulin N., Bošnjak M., Šmuc T., Jermol M., Žnidaršič M., Grčar M., Keše P., Lavrač N., ECML/PKDD 2011 – Discovery challenge: «VideoLectures.Net Recommender System Challenge», URL: <http://tunedit.org/challenge/VLNetChallenge/> (дата обращения: 28.10.2011).
4. Европейская конференция по машинному обучению, URL: <http://www.ecmlpkdd2011.org> (дата обращения: 28.10.2011).
5. Платформа для проведения соревнований по анализу данных, URL: <http://tunedit.org> (дата обращения: 28.10.2011).
6. Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х. Введение в информационный поиск – Вильямс, 2011.
7. Porter M.F. An algorithm for suffix stripping // Program. – 1980. – Vol. 14, № 3. – pp. 130-137.
8. Spyromitros-Xioufis E., Stachtari E., Tsoumakas G., Vlahavas I. A Hybrid Approach for Cold-start Recommendations of Videlectures // Proc. of ECML-PKDD 2011 Discovery Challenge Workshop. – 2011. – pp. 29-39.
9. Možina M., Sadikov A., Bratko I. Recommending VideoLectures with Linear Regression // Proc. of ECML-PKDD 2011 Discovery Challenge Workshop. – 2011. – pp. 41-49.
10. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_mathematics (дата обращения: 28.10.2011).
11. Kreiner J.A., Abraham E. Recommender System Based on Purely Probabilistic Model from Pooled Sequence Statistics // Proc. of ECML-PKDD 2011 Discovery Challenge Workshop. – 2011. – pp. 51-57.
12. Nikulin V. OpenStudy: Recommendations of the Following Ten Lectures After Viewing a Set of Three Given Lectures // Proc. of ECML-PKDD 2011 Discovery Challenge Workshop. – 2011. – pp. 59-69.
13. Журавлёв Ю.И. Об алгебраических методах в задачах распознавания и классификации // Распознавание, классификация, прогноз. – 1988. – Т.1. - С. 9-16.

ВЛИЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РОССИЙСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ: МЕТОДОЛОГИЯ ЭМПИРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ¹

К.В. Зимин, главный редактор Портала GlobalCIO.ru

А.В. Маркин, аспирант экономического факультета

Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

К.Г. Скрипкин, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической информатики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

Адрес: Москва, Ленинские горы, д. 1, строение 46

E-mail: kzimin@globalcio.ru; sanya.mn@gmail.com; k.skripkin@gmail.com

В работе рассматривается методология эмпирического исследования влияния информационных технологий (ИТ) на производительность российского предприятия. В центре исследования два вопроса: факторы, определяющие ИТ-бюджет российского предприятия, и влияние вложений в ИТ на производительность последнего. Ответ на первый вопрос строится на основе регрессионного анализа бюджетов российских предприятий, ответ на второй вопрос — на основе построения производственных функций российских предприятий, включающих накопленный ИТ-капитал в качестве одного из параметров. Рассматриваются также источники данных для такого исследования в условиях России.

Ключевые слова: информационные технологии, факторная производительность, производственная функция, эффективность ИТ.

Информационные технологии уже несколько десятилетий рассматриваются в качестве важного рычага повышения производительности как на уровне отдельного предприятия, так и на уровне экономики в целом. Но это повышение достигается отнюдь не автоматически — высокий риск проектов в сфере ИТ и трудности измерения экономического эффекта, даже если та-

ковой достигнут, являются сегодня общим местом. В результате вопрос о влиянии вложений в ИТ на производительность предприятия был и остается далеко не очевидным. В то же время за последние 20 лет экономическая наука разработала целый ряд методов для разрешения этой проблемы эмпирическим путем. В настоящей работе демонстрируется, что, по крайней мере, некоторые из этих методов

¹ Работа выполнена при поддержке Национального фонда подготовки кадров в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», Госконтракт №14.740.11.0217

применимы и в условиях России, при всех ограничениях, накладываемых особенностями бухгалтерского учета и недостатком доступных данных.

Введение

Проблема отдачи от вложений в ИТ остается актуальной на протяжении по меньшей мере 30 лет. Первые исследования, как правило, отмечали отсутствие эмпирически наблюдаемой связи между инвестициями в ИТ и производительностью (прибыльностью) фирмы (см., например, [Loveman, 1994], [Roach, 1987], [Strassmann, 1990]). Совокупность этих исследований породила хорошо известный «парадокс производительности ИТ», который Нобелевский лауреат Р.Солоу сформулировал так: «Мы видим компьютерный век везде, кроме статистики производительности» [Solow, 1987]. Новый взгляд на вклад ИТ в производительность фирмы был связан с подходом, сформулированным в Полем Дэвидом в [David, 1990] и получившим позже название «технологии общего назначения» (см., например, [Bresnahan, 2002], [Bresnahan, Trajtenberg, 1995]).

♦ Согласно этому подходу, технологию общего назначения отличают следующие черты [Brynjolfsson, Saunders, 2010, pp.96-97]: Широкое пространство для улучшений и доработок;

♦ Широкий спектр направлений использования;

♦ Потенциал для использования в большом количестве продуктов и процессов;

♦ Сильная комплементарность по отношению к существующим или потенциально возможным в будущем технологиям.

Таким образом, в рамках гипотезы технологии общего назначения, ИТ создают не столько ценность как таковую, сколько определенный *потенциал* для создания ценности. Сама ценность создается в результате предпринимательских инноваций, творчески применяющих ИТ в различных сферах человеческой деятельности. Характерно в этом смысле название работы [Brynjolfsson, Saunders, 2010] *Wired for innovation*, что можно приблизительно перевести на русский язык как «Информационные технологии для инноваций».

Как мы увидим далее, подход технологии общего назначения породил обширный корпус эмпирических работ по оценке влияния ИТ на производительность фирм. Эти работы демонстрируют положительное влияние ИТ на производительность, но вместе с тем и значительный разброс результатов

инвестиций в ИТ, а также обусловленность положительного влияния инвестициями в организационный и человеческий капитал. Именно поэтому решение проблемы «парадокса производительности» для США и других развитых стран оставляет эту проблему открытой, например, для России. Остается открытым вопрос: в какой мере в нашей стране совершились и совершаются, необходимые предпринимательские инновации, подкреплены ли вложения в ИТ необходимыми изменениями организационного и человеческого капитала?

Исследование влияния комплементарных активов достаточно сложно методологически и требует значительных объемов данных. Поэтому прежде, чем предпринимать масштабные исследования этой проблемы, необходимо получить ответ на более простые и фундаментальные вопросы: как формируется ИТ-бюджет и есть ли какая-либо отдача от вложений в ИТ в условиях России. Положительный ответ на второй вопрос придает актуальность исследованию комплементарных активов.

В настоящей работе мы постараемся дать методологические подходы к ответу на вышеперечисленные вопросы, опираясь на результаты, полученные в западной, прежде всего, американской экономической литературе последних десятилетий.

Оценка влияния ИТ на производительность фирмы – основные подходы

Несколько упрощая, в исследованиях влияния ИТ на производительность фирмы можно выделить четыре основных подхода:

♦ Непосредственная оценка вклада ИТ в выпуск фирмы;

♦ Оценка вклада в выпуск фирмы ИТ в сочетании с инвестициями в определенный набор комплементарных активов;

♦ Оценка влияния вложений в ИТ и комплементарные активы на капитализацию фирмы;

♦ Анализ институциональных механизмов влияния ИТ на фирму.

Непосредственная оценка влияния ИТ на выпуск фирмы

Ранние исследования влияния инвестиций в ИТ на результаты фирмы, как правило, использовали довольно простые методы. В частности, П.Страссман исследовал непосредственную корре-

ляцию между показателями прибыли на собственный капитал², с одной стороны, и расходами на ИТ в расчете на одного работника, с другой [Strassmann, 1997, pp.34-39]. Сходным образом, С.Роуч в [Roach, 1987] исследует корреляцию между вложениями в ИТ и производительностью офисных работников³. Показатели рассматривались год в год, без учета лагов (там же). Результат подобного подхода довольно труден для содержательной интерпретации по следующим причинам:

- Вложения в ИТ заведомо не являются единственным фактором, влияющим на прибыльность и производительность соответственно, между тем, влияние прочих факторов не рассматривается;

- Если говорить о работах П.Страссмана, то в них рассматриваются совокупные расходы на ИТ безотносительно деления на инвестиционные и текущие;

- В работах не рассматриваются лаги, особенно важные с учетом концепции технологии общего назначения.

Данные проблемы привели к появлению более сложных методологий, предлагающих для них те или иные решения. Наиболее важной среди них стал аппарат производственных функций (см., например, [Brynjolfsson, Hitt, 2003], обзор работ по данной тематике приведен в [Brynjolfsson, Hitt, 2000]). Производственная функция включала в качестве параметров труд, компьютерный капитал и прочий капитал (сумма активов фирмы за вычетом компьютерного капитала):

$$Q = A(i, j, t) * K^{\beta_k} * L^{\beta_l} * C^{\beta_c} \quad (1)$$

или, в логарифмах,

$$q = \alpha(i, j, t) + \beta_k k + \beta_l l + \beta_c c \quad (2),$$

где K , L и C – обычный капитал, труд и компьютерный капитал соответственно, k , l и c – их логарифмы, β_k , β_l и β_c – степенные коэффициенты при этих переменных, i – индекс фирмы, j – индекс отрасли, t – индекс времени (тренд выпуска). $A(i, j, t)$ – переменная, характеризующая неучтенные факторы производства, такие, как вложения в комплементарные активы (см. следующий раздел), $\alpha(i, j, t)$ – ее логарифм. В данной работе авторы оценивают не абсолютные значения выпуска и затрат ресурсов, а их приросты за различные периоды времени, от 1 до 7 лет. Преобразовывая уравнение (2), авторы

приходят к оценке системы из двух разностных уравнений, для капитала и труда. Тем самым решаются методологические проблемы более ранних исследований, благодаря учету влияния прочих факторов, использованию накопленного компьютерного капитала вместо расходов на ИТ и учету лагов в явном виде. Это обусловило популярность аппарата производственных функций в исследовании производительности ИТ.

Расчеты на выборке 1294 фирм (15% ВВП США) показывают статистически значимые коэффициенты регрессии при компьютерном капитале для любого интервала времени [Brynjolfsson, Hitt, 2003]. Интересно, что с ростом интервала времени коэффициент при компьютерном капитале устойчиво возрастает. Это – косвенное подтверждение того, что экономический эффект от использования ИТ наступает с лагом в несколько лет, что соответствует гипотезе об ИТ как технологии общего назначения.

Таким образом, в данной работе, а также в целом ряде других эмпирически подтверждается положительное влияние компьютерного капитала на выпуск фирмы.

Оценка влияния ИТ во взаимодействии с комплементарными активами

Другим направлением эмпирических работ стала оценка инвестиций в активы, комплементарные ИТ (см. например [Bresnahan et al., 2002]).

В основе этого подхода лежит теория, впервые предложенная в [Milgrom, Roberts, 1990]. Согласно авторам, обрабатывающая промышленность переживает новую революцию. В качестве её основных черт они видят следующие:

1. Замена специализированного оборудования для массового производства гибким программируемым оборудованием, способным выполнять несколько различных задач;
2. Переход от поточного производства ограниченного ассортимента продукции к производству широкой номенклатуры товаров небольшими партиями;
3. Переход к командной работе, причем, команды могут пересекать границы подразделений организации;
4. Гибкая организация рабочих мест и должностных обязанностей;

² Англ. ROE – Return on Equity

³ Англ. Information workers, буквально – «информационные работники»

5. Доминирование в оплате показателей производительности и приобретенных навыков, а также целый ряд других особенностей.

В схематичном виде взаимодействие инвестиций в ИТ и инвестиций в комплементарные активы представлено на рис. 1.

Таким образом, П.Милгром и Дж.Робертс выдвинули гипотезу о том, что экономическая эффективность ИТ в фирме обусловлена подкреплением внедрения ИТ адекватными институциональными изменениями. Эта гипотеза получила эмпирическую проверку в ряде последующих работ.

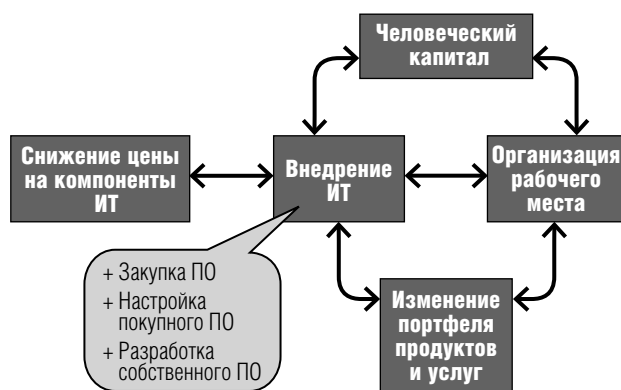


Рис. 1. Взаимодействие инвестиций в ИТ и инвестиций в комплементарные активы.

В [Bresnahan et al., 2002] влияние комплементарных активов оценивалось на основе модифицированной производственной функции, которая кроме труда, «обычного» капитала и «компьютерного» капитала включала в качестве параметров «вложения в человеческий капитал», «организационные изменения» и «квалифицированный труд» (конкретные показатели и методы сбора данных будут описаны ниже). Зависимой переменной выступала добавленная стоимость. В результате были обнаружены значимые корреляции между вложениями в ИТ, «вложениями в человеческий капитал» и «квалифицированным трудом», а также «организационными изменениями». При этом компьютерный капитал обнаруживал наиболее устойчивую значимость, в отличие от комплементарных активов, которые не всегда были значимы даже на 10%-м уровне.

Оценка воздействия инвестиций в ИТ и комплементарных активов на капитализацию фирмы

Наконец, в ряде работ организационный капитал оценивался косвенно, через капитализацию

фирмы на фондовом рынке (см., например, [Brynjolfsson et al., 2002]). В основе данного подхода лежало так называемое «отношение q », предложенное Дж.Тобином. Данное отношение представляет собой отношение капитализации фирмы к бухгалтерской стоимости её активов. Идея Дж.Тобино состоит в том, что фондовый рынок оценивает в качестве актива то, что реально генерирует денежный поток. Соответственно, $q < 1$ означает, что часть активов фирмы не приносят дохода и, следовательно, не являются активами с экономической точки зрения. Сходным образом $q > 1$ означает наличие определенных нематериальных активов, не отражаемых в бухгалтерском балансе, но оцениваемых фондовым рынком наряду с прочими. Это позволяет использовать «отношение q » для проверки гипотезы П.Милгрорма и Дж.Робертса, рассматривая влияние на капитализацию фирмы вложений в ИТ и комплементарные им активы. В [Brynjolfsson et al., 2002] капитализация фирмы рассматривалась как зависимая переменная, а в качестве объясняющих переменных рассматривались «организационный капитал» и «человеческий капитал». Как зависимая, так и объясняющие переменные брались не в абсолютных значениях, а в отклонениях от среднего.

Прежде всего, было оценено простейшее уравнение (3), связывающее рыночную капитализацию фирмы со стоимостью различных групп её активов:

$$MV = \alpha CA + \beta PPE + \gamma OA + \varepsilon, \quad (3)$$

где MV – рыночная капитализация фирмы, CA – компьютерный капитал, PPE – производственный капитал, OA – прочие капитальные активы, α, β, γ – коэффициенты регрессии.

Уравнение (3) оценивалось тремя способами: для абсолютных значений переменных в выборке данных разных лет, для первых разностей значений на периодах от 1 до 10 лет, отдельно для каждого года, представленного в выборке.

Далее, проводился корреляционный анализ между показателями использования определенных организационных практик, с одной стороны, и инвестициями в ИТ, с другой. Для ИТ использовались три различных измерителя: совокупная стоимость установленного оборудования, совокупная вычислительная мощность (MIPS), общее число ПК. Рассчитывался ранговый коэффициент корреляции Спирмена между показателями инвестиций в ИТ и показателями использования определенного

набора организационных практик⁴ в четырех областях организационного дизайна: структурной децентрализации, индивидуальной децентрализации, стимулирования командной работы и получении новых навыков. Сами показатели «организационного капитала» оказались сильно коррелированными между собой, поэтому посредством метода главных компонент отдельные показатели были свернуты в обобщенную переменную – индекс организационного капитала (среднее значение 0, дисперсия 1).

Наконец, полученный индекс организационного капитала был добавлен в регрессионное уравнение для оценки рыночной капитализации фирмы. Чтобы привести все переменные в уравнении к единой размерности, индекс организационного капитала был домножен на труд и на величины отдельных составляющих капитала. Регрессия также проводилась полностью в относительных величинах (нормированных отклонениях от средних значений, как это показано на рис. 2).

Результаты исследований в обобщенном виде представлены на рис. 2.

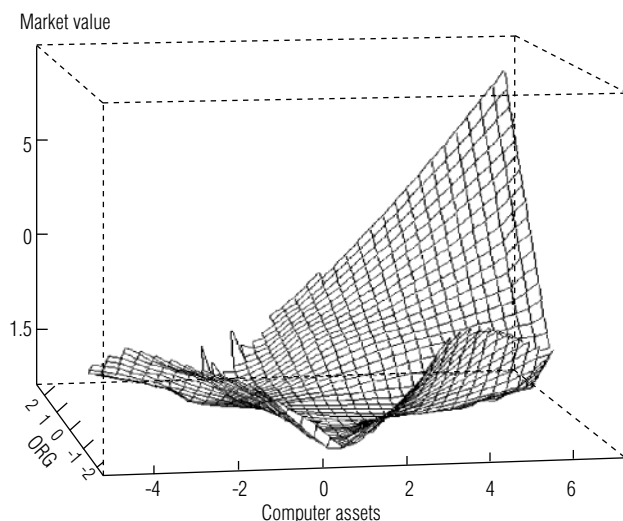


Рис. 2. Компьютерный капитал, организационный капитал и рыночная стоимость фирмы⁵.

◆ Среди результатов отметим следующие. При оценке уравнения (3) в абсолютных значениях коэффициент регрессии при компьютерном капитале без включения организационного и человеческого капитала крайне высок (более 10), тогда как коэффициенты при двух других переменных близки к единице. Все

коэффициенты значимы на однопроцентном уровне. При анализе выборки раздельно по годам за период 1987-1997 коэффициент также превышает 10 (исключение – 9,175 в 1991 г.), выраженного временного тренда в анализе по годам не обнаружено;

◆ У всех переменных, характеризующих «организационный капитал», наблюдалась значимая на 1%-м уровне корреляция с показателями используемой вычислительной мощности;

◆ Обобщенный индекс организационного капитала показал высокую корреляцию с компьютерным капиталом при отсутствии значимой корреляции с производственным капиталом и прочими активами;

◆ При включении в уравнение членов, характеризующих организационный капитал (организационный индекс, домноженный на объем применяемого труда), коэффициент при компьютерном капитале падает с 14,6 до 11,5;

◆ При включении в уравнение членов, характеризующих организационный капитал и его взаимодействие с другими видами капитала (организационный индекс, домноженный на объем применяемого труда, а также на отдельные составляющие применяемого капитала), коэффициент при компьютерном капитале оказывается в диапазоне 9,4 – 1,9 в зависимости от применяемой методики регрессии;

Таким образом, современные эмпирические исследования подтверждают как наличие значимого положительного влияния ИТ на производительность, добавленную стоимость и капитализацию, так и наличие целого ряда комплементарных активов, без которых инвестиции в ИТ не достигают должного результата (см. рис. 1). В то же время, эти результаты подтверждают справедливость подхода «технологии общего назначения», обнаруживая как лаги, так и корреляции, предсказанные данной теорией.

Предпосылки и ограничения зарубежных эмпирических исследований

Вышеописанные результаты получены при определенных предпосылках и ограничениях. Прежде всего, это касается отчетных данных фирм (выручка, прибыль, управленческие и коммерческие

⁴ Связь именно этих организационных практик с инвестициями в ИТ была установлена в более ранних работах, в частности, [Brynjolfsson, Hitt, 1997], [Bresnahan et al., 2002], [Bresnahan, 1997]

⁵ Источник – [Brynjolfsson et al., 2002]

расходы и т.д.), которые ведутся в формате GAAP⁶. В России этим данным примерно соответствуют данные в формате МСФО⁷, которые присутствуют в базах данных СПАРК, БИР-Аналитик и других. К сожалению, эти данные присутствуют только по крупнейшим компаниям, бумаги которых котируются на иностранных финансовых биржах, что резко снижает возможный объем выборки.

Среди российской отчетности наиболее сильно отличается от международной статья прибыли. Последняя для российского предприятия определяется не столько его реальным финансовым состоянием, сколько взаимоотношениями с налоговым ведомством. В результате корреляция показателей прибыли с расходами на ИТ, проверяемая в исследованиях П.Страссмана [Strassmann, 1990], [Strassmann, 1994], фактически теряет смысл. Далее, согласно российским правилам бухгалтерского учета, управленческие, а равно и коммерческие расходы могут отражаться как на соответствующих статьях отчета о прибылях и убытках, так и на статье «Основное производство». В последнем случае любая из этих статей или обе сразу могут быть нулевыми.

Определение компьютерного капитала в западных работах тоже весьма неочевидно. По логике теоретических работ [David, 1990], [Milgrom, Roberts, 1990], под компьютерным капиталом следует понимать все материальные и нематериальные активы, непосредственно входящие в понятие ИТ, как минимум, все оборудование и все программное обеспечение. Между тем, в работах [Bresnahan et al., 2002], [Brynjolfsson, Hitt, 2000], [Brynjolfsson, Hitt, 2003], а также в целом ряде других под компьютерным капиталом понимаются только расходы на оборудование рабочих мест, серверное оборудование и периферийные устройства, не включая ни программного обеспечения, ни коммуникационного оборудования. Противоречие между данным подходом и работами по теории комплементарности состоит в том, что в отсутствие прикладного программного обеспечения⁸ оборудование заведомо не может приносить прибыль, т.е. не является капиталом в экономическом смысле. Аналогичным товаром-комplementом выступает и коммуникационное оборудование,

хотя бы в той мере, в какой интернет интегрирован в ИТ.

Таким образом, из российских показателей прибыли, управленческие и коммерческие расходы совершенно не совпадают с соответствующими статьями западной бухгалтерской отчетности и не могут быть использованы в расчетах. В то же время, учет выручки и активов не отличается качественно от такового в западном учете, так что эти показатели могут быть использованы.

Наконец, нельзя не рассмотреть наличные базы данных. В распоряжении американских исследователей имеются полные базы данных по финансовым показателям 75000 компаний мира (Compustat), по наличию и ценам компьютерного оборудования на 25000 предприятиях США (Computer Intelligence Infocorp). Данные по организационному и человеческому капиталу получены в результате опросов менеджеров фирм. Следует признать, что такое информационное обеспечение значительно превосходит возможности, имеющиеся в распоряжении российского исследователя.

Что и как можно исследовать в России

Итак, мы рассмотрели методологии, применяемые для анализа производительности ИТ в западных работах и выявили существенные ограничения этих методологий в условиях России. В настоящем разделе мы рассмотрим способы преодоления этих ограничений.

Анализ факторов, влияющих на ИТ-бюджет

Для России остается актуальным исследование факторов, влияющих на ИТ-бюджет. В нашей работе проверяется гипотеза, высказанная П.Страссманом в [Strassmann, 1997, pp. 59-61]: расходы на ИТ имеют сильную корреляцию с административными, коммерческими и управленческими расходами⁹. Мы считаем проверку такой гипотезы безусловно необходимой, поскольку данная гипотеза фактически соотносит расходы на ИТ с транзакционными издержками фирмы, по крайней мере,

⁶ GAAP – Generally Accepted Accounting Principles (Общепризнанные принципы бухгалтерского учета), американский стандарт бухгалтерской отчетности.

⁷ Международный стандарт финансовой отчетности, европейский стандарт бухгалтерского учета.

⁸ Мы допускаем, что системное программное обеспечение может, по крайней мере, частично учитываться в составе компьютерного оборудования.

⁹ Англ. SGA – Sales, General and Administrative costs.

их наиболее явной частью, выраженной в административных, управленческих и коммерческих расходах¹⁰.

Наряду с суммой управленческих и коммерческих расходов в качестве факторов, влияющих на величину ИТ-бюджета предлагается рассмотреть еще два:

1. Отраслевой фактор, влияние которого на величину ИТ-расходов хорошо известно¹¹.

2. Фактор формы собственности, государственной или частной. Предполагая, что частные компании имеют более жесткое бюджетное ограничение, частные компании при прочих равных условиях должны тратить на ИТ меньше, чем государственные. Это будет означать отрицательный коэффициент при соответствующей переменной. Также априори можно предположить особые тенденции для филиалов глобальных компаний, действующих в России, т.к. ИТ-бюджеты в них формируются, исходя из общекорпоративной политики.

Таким образом, предполагается оценить следующее уравнение:

$$ITBudg = \alpha * SGA + \sum_{i=1}^n \beta_i Sect_i + \gamma State + \delta Glob + c + \varepsilon \quad (4)$$

где SGA – сумма управленческих и коммерческих расходов по данным Ф.2 «Отчет о прибылях и убытках», $Sect_i$ – псевдопеременная, обозначающая отрасль экономики, представленную соответствующим ОКВЭД, где $i = 1, \dots, n$ – число отраслей согласно ОКВЭД. Если предприятие принадлежит к i -й отрасли, $Sect_i$ принимает значение 1, иначе $Sect_i$ принимает значение 0. $State$ – псевдопеременная, характеризующая принадлежность к государственным предприятиям и принимающая значения 0 или 1. $Glob$ – аналогичная псевдопеременная, обозначающая, что данное предприятие – филиал крупной международной компании. Наконец, α , β_i , γ , δ и c – постоянные коэффициенты.

Методологические подходы к анализу производительности

Как мы уже видели выше, принципиальное ограничение исследований производительности ИТ в России – невозможность использовать показатель

прибыли и любые производные показатели, использующие прибыль.

Тем не менее, возможности российского исследователя позволяют проверить некоторые из вышеописанных гипотез. Прежде всего, это относится к непосредственному измерению влияния инвестиций в ИТ на производительность путем оценки производственных функций, включающих в себя компьютерный капитал. Как было указано выше, выручка и активы российского предприятия не содержат существенных отличий от соответствующих показателей западной фирмы. Наибольшие трудности и сомнения вызывает показатель заработной платы, значительная часть которой может выплачиваться «неофициальным» способом. Однако последний фактор не мешает использованию труда в исследовании производственных функций в России, см., например, [Замков и др., 1998]. В результате основная трудность получения исходных данных – получение разумных оценок компьютерного капитала. В качестве такой оценки в настоящем проекте планируется использовать эксплуатационные расходы на ИТ. Значительная часть расходов на поддержку находится в прямой пропорции к установленной базе оборудования и программного обеспечения (17-20% от объема оборудования и/или программного обеспечения). Затраты на ИТ-персонал тоже находятся в определенной пропорции к установленному оборудованию и программного обеспечения.

Более сложный вопрос – расходы на аутсорсинг ИТ-услуг. Затраты на аутсорсинг входят в эксплуатационные затраты, но не относятся непосредственно к поддержке каких бы то ни было ИТ-активов на балансе предприятия. Однако, любой аутсорсинг представляет собой либо использование внешнего ИТ-персонала для обслуживания активов заказчика, либо использование как персонала, так и активов провайдера. В первом случае естественно предположить, что услуга аутсорсинга представляет собой замену собственного ИТ-персонала заказчика, во втором случае – использование ИТ-активов провайдера. В этом втором случае заказчик использует ИТ-активы третьей стороны, т.е. речь идет о скрытом расширении объема используемых ИТ-активов. Таким образом, можно предположить, что ИТ-активы, используемые предприятием

¹⁰ В институциональной экономической теории транзакционные издержки фирмы включают в себя также снижение производительности работников, недополученную прибыль и другие потери, которые весьма сложно выявить и учесть

¹¹ Правда, остается открытым вопрос о том, в какой мере отраслевые различия в величине ИТ-бюджетов обусловлено отраслевыми различиями в величине SGA

(но не обязательно находящиеся в его собственности), находятся в определенной пропорции с эксплуатационными расходами на ИТ. Коэффициент пропорциональности – величина весьма спорная, однако в регрессионных уравнениях объясняющей переменной выступают эксплуатационные расходы, умноженные на данный коэффициент, поэтому увеличение последнего ведет к пропорциональному снижению коэффициента регрессии. Конкретно, предлагаемое уравнение имеет следующий вид:

$$Q = A(i, j, t) * (S - \gamma e)^{\beta_k} * L^{\beta_L} * \gamma e^{\beta_c} \quad (5)$$

где Q – выпуск предприятия, S – сумма его активов, e – эксплуатационные расходы на ИТ, γ – коэффициент пропорциональности, $\beta_k, \beta_L, \beta_c$ – коэффициенты при «обычном» капитале (т.е. разности активов предприятия и компьютерного капитала), труде и компьютерном капитале соответственно. $A(i, j, t)$, как и в уравнении (1), – коэффициент, описывающий влияние факторов производства (например, комплементарных активов), используемых предприятием, но не учтенных в модели.

Что касается более сложных моделей, учитывающих временные лаги и комплементарные активы, прежде всего, организационный и человеческий капитал, такие модели для российских условий в настоящее время не разрабатываются. Основная причина – имеющиеся данные (подробно описаны в следующем параграфе) пока недостаточны для оценки таких моделей.

Источники данных

В настоящее время авторы располагают значительным объемом данных (321 наблюдение за 3 года) по ИТ-бюджетам российских предприятий за 2008-2010 гг., составленной по опросам руководителей ИТ-служб российских предприятий. Эти данные включают в себя общий объем ИТ-бюджета, а также его распределение на инвестиционные и эксплуатационные расходы. Для расчетов производственных функций, в частности, уравнения (5), эти данные дополняются общеэкономическими показателями предприятий (выручка, активы, заработная плата) из базы данных СПАРК. В результате можно строить оценки компьютерного капитала по приведенной выше схеме и, следовательно, проводить оценку влияния компьютерно-

го капитала на выпуск предприятия путем оценки производственных функций. На момент написания статьи по 185 наблюдениям объем данных (БД по ИТ-бюджетам плюс коммерческая БД СПАРК) был достаточен для проверки гипотез о факторах, определяющих размер ИТ-бюджета. По 154 наблюдениям объем данных достаточен для проверки гипотезы о положительном влиянии ИТ-капитала на выпуск предприятия. При ограниченном числе оцениваемых переменных (см. уравнения (4), (5)), этот объем данных вполне достаточен для проверки обеих гипотез.

Сказанное справедливо при условии однородности выборки. Для выборки по ИТ-бюджетам, собранной по предприятиям любого размера и любой отрасли, однородность оказывается под вопросом. Для проверки однородности данных планируется провести кластерный анализ выборки с целью выявления однородных классов. В случае выявления небольшого числа сравнительно однородных классов, планируется оценка уравнения (4) и уравнения (5) для каждого класса в отдельности. В этом случае уверенность в однородности выборки, а следовательно и в качестве получаемых результатов можно будет значительно повысить.

К сожалению, хотя данные и относятся к трем годам, их крайне сложно использовать для оценки временных лагов. Причина в том, что данные неравномерно распределены по годам и за 2009 год этих данных крайне мало, всего 40 наблюдений, пригодных для расчетов производственных функций. По этой причине все данные рассматриваются как панельные, для учета фактора времени может быть использована фиктивная переменная года.

Что касается данных по организационному и человеческому капиталу, способов получить эти данные пока не найдено. Показатели, которые могли бы измерить тот или другой капитал, находятся вне сферы компетенции ИТ-директоров, участвовавших в проведенных опросах. В базе данных СПАРК эти показатели также отсутствуют. Опрос руководителей предприятий силами социологических служб дал бы анонимные данные, которые невозможно дополнить ни данными по ИТ-бюджетам, ни данными по экономическим показателям. Таким образом, вопрос о проверке влияния организационного и человеческого капитала на производительность ИТ пока остается открытым.

¹² СПАРК – Система Профессионального Анализа Рынков и Компаний, см. по адресу <http://spark.interfax.ru>

Заключение

К настоящему времени экономическая наука значительно продвинулась в объяснении парадокса производительности. Гипотеза об ИТ как технологии общего назначения позволила разработать целый ряд новых методов эмпирического анализа производительности вложений в ИТ, которые позволили в 1990-х – 2000-х гг. установить значимое влияние ИТ на производительность фирмы.

По целому ряду причин в России эти исследования находятся на самой ранней стадии. В то же время ряд гипотез может быть проверен и в условиях России. Прежде всего, речь может идти о двух гипотезах: влиянии управленческих и коммерческих расходов на величину ИТ-бюджета и влиянии компьютерного капитала на величину выпуска фирмы. На данный момент авторы располагают данными, необходимыми для проверки этих гипотез. Результаты проверки будут представлены в дальнейшем. ■

Литература

1. Loveman G. An Assessment of Productivity Impact of Information Technologies, pp. 84-110// Information Technology and the Corporation of 1990 s. – Oxford: Oxford University Press, 1994. 532 p.
2. Roach S. America's Technology Dilemma: a Profile of the Information Economy: Morgan Stanley Special Economic Study, 1987, 29 p.
3. Strassmann P. The Business Value of Computers. New Canaan, Connecticut: The Information Economics Press, 1990. 530 p.
4. Solow R. We'd Better Watch Out// New York Times Book Review. 12 July 1987.
5. David P. The Dynamo and the Computer: An Historical Perspective to the Modern Productivity Paradox // American Economic Review. 1990. V. 80. №2. Pp. 355-361.
6. Bresnahan T. Prospects for the Information-Technology-Led Productivity Surge // Innovation Policy and the Economy. 2002. V. 2. pp.135-161.
7. Bresnahan T., Trajtenberg M. General Purpose Technologies: Engines of Growth? // Journal of Econometrics. 1995. V. 65 №1. Pp.83-108.
8. Brynjolfsson E., Saunders A. Wired for Innovation: How Information Technology is Reshaping Economy, – Cambridge (Massachusetts): MIT Press, 2010. 154 p.
9. Strassmann P. The Squandered Computer: Estimating the Business Alignment of Information Technology. New Canaan, Connecticut : The Information Economics Press, 1997. 402 p.
10. Brynjolfsson E., Hitt L. Computing Productivity: Firm-Level Evidence // Review of Economics and Statistics. – 2003. V. 85. №4. Pp.793-808
11. Brynjolfsson E., Hitt L. Beyond Computation: Information Technology, Organisation Transformation and Business Performance// Journal of Economic Perspectives. – 2000. – V. 14. – №4. – pp.23-48
12. Bresnahan T., Brynjolfsson E., Hitt L. Information Technology, Workplace Organisation and Demand for Skilled Labor: an Empirical Evidence// Quarterly Journal of Economics. – 2002. - V.117 - №1. Pp.339-376
13. P. Milgrom, J. Roberts, The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy and Organization. American Economic Review. 1990. - V.80. - №3. - Pp.511-528.
14. Bresnahan, Timothy F., Computerization and Wage Dispersion: An Analytical Reinterpretation, Working Paper 31, Stanford University, August, 1997
15. Brynjolfsson E., Hitt L., Information Technology and Internal Firm Organization: An Exploratory Analysis, Journal of Management Information Systems. – 2000. – V. 14 №2 - pp. 81-102.
16. Brynjolfsson E., Hitt L., Yang S. Intangible Assets: Computers and Organisation Capital// Brookings Papers on Economic Activity. 2002. № 1. Pp.137-198
17. Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы в экономике: Учебник 2-е изд. – М.: Дело и сервис – 1998 – 368 с.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ДОХОДНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Р.А. Будник,

кандидат юридических наук, ведущий научный сотрудник

*Научно-методического Центра «Кафедра ЮНЕСКО по авторскому праву
и другим правам интеллектуальной собственности» Национального
исследовательского университета «Высшая школа экономики»*

Адрес: г. Москва, ул. Малая Ордынка, д. 17

E-mail: rusbudnik@gmail.com

Предлагается дополнительный критерий классификации информационных объектов – потенциальная доходность. Показано, что потенциальная доходность информационных объектов при увеличении их распространенности может, как расти, так и снижаться. Выявлено, что в системе права отсутствуют нормы для эффективного использования информационных объектов, потенциальная доходность которых увеличивается с ростом распространенности. Эту лагуну предлагается устранить с помощью дополнения системы интеллектуальной собственности методом правового дозволения.

Ключевые слова: доходность информационных объектов, метод дозволения в информационном праве.

1. Введение

В российской системе права информация классифицирована по следующим основаниям. Во-первых, информация в зависимости от категории доступа к ней подразделяется на общедоступную информацию, а также на информацию, доступ к которой ограничен федеральными законами (информация ограниченного доступа). Вторым дифференцирующим критерием выступает порядок предоставления информации. По этому критерию информация делится на: свободно распространяемую информацию; информацию, предоставляемую по соглашению лиц, участвующих в соответствующ-

щих отношениях; информацию, предоставляемую в соответствии с федеральными законами; информацию, распространение которой в Российской Федерации ограничивается или запрещается [1].

Информационным объектом с нашей точки зрения является каждое семантически и синтаксически обособленное подмножество данных. Некоторые устойчивые информационные объекты получили определение в законодательстве и регулируются нормами позитивного права. Когда в законе употребляется термин информация: в Гражданском Кодексе, ФЗ «О СМИ», ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информа-

ции»; то, речь идет не об абстрактном информационном континууме, а о конкретных, дискретно различимых информационных объектах.

В настоящей статье предлагается и обосновывается дополнительный – экономический критерий для классификации информационных объектов. Данный критерий мы определяем как *доходность информационного объекта в зависимости от степени его распространенности*. Под доходностью, как и принято, понимается сравнительная величина, характеризующая отношение полученного дохода к базовому показателю. Для сравнительного анализа выбирается доходность одной из групп информационных объектов по отношению к другой группе. Более детально новый критерий описывается как *рост либо снижение, т.е. направление изменения потенциальной доходности информационного объекта при изменении направления – увеличении либо уменьшении его распространенности* в информационно-коммуникационной инфраструктуре общества, т.е. в киберпространстве. Обнаруженный парадокс заключается в том, что увеличение распространенности сказывается положительно на доходности одних информационных объектов и отрицательно для других. Это явление – дивергенция доходности – обусловлена особенностями различных информационных объектов, которые мы разбили на три самостоятельных класса.

Использование экономического критерия глубоко укоренено в законодательной и правоприменительной практике. Тяжесть преступления и вид наказания определяется в зависимости от размера причиненного экономического ущерба по ряду уголовных преступлений. Величина экономического ущерба служит критерием назначения санкции для наказания виновного в правонарушении при использовании результатов интеллектуальной деятельности. Таким образом, квалификация и классификация объектов, предметов и отношений по экономическому параметру имеет прочные основания в законодательной системе, и значит в равной степени, применима к информационным объектам.

2. Три класса информационных объектов

Для проведения анализа выберем результаты интеллектуальной деятельности как референтную группу информационных объектов, которая с одной стороны, содержит в себе объекты с различными внутригрупповыми свойствами, а с другой

стороны, обладает институциональной правовой определенностью и разработанной нормативной базой их использования.

По характеру зависимости потенциальной доходности от распространенности все информационные объекты с нашей точки зрения делятся на три класса. Первый класс информационных объектов характеризуется ростом потенциальной доходности с увеличением их распространенности. Иными словами, чем более распространен информационный объект, тем больший доход получит правообладатель в результате использования этого объекта. Доход в данном случае извлекается преимущественно постиндустриальными способами через конвертацию популярности, востребованности, публичности информационного объекта в деньги и другие блага. Примером может служить сложившаяся в наши дни практика предоставления свободного доступа к произведениям культуры с целью привлечения наибольшего внимания публики. Далее внимание публики обращается в деньги на смежных с творческими продуктами рынках рекламы, производных произведений, сложных объектов, сопутствующих товаров. Также в качестве примеров можно привести интернет сайты и блоги, владельцы которых стремятся привлечь как можно больше посетителей, поскольку от их количества зависит успешность ресурса и перспективы его монетизации. Характер изменения потенциальной доходности (Y , от yield) информационных объектов первого класса при изменении их распространенности (P , от prevalence) описывается зависимостью:

$$\uparrow P \Rightarrow \uparrow Y \text{ или } \downarrow P \Rightarrow \downarrow Y \quad (1)$$

Потенциальная доходность информационных объектов второго класса, напротив, снижается в случае увеличения их распространенности и остается высокой, когда они удерживаются в режиме тайны. Иными словами, чем меньше людей имеют доступ к информационному объекту, тем больший экономический потенциал он сохраняет, тем больший доход можно извлечь из его использования. В юридической плоскости это оформляется так, что право на использование информационного объекта принадлежит минимальному числу субъектов, в идеальном случае – только одному лицу. Характер изменения доходности информационных объектов второго класса при изменении их распространенности описывается формулой:

$$\uparrow P \Rightarrow \downarrow Y \text{ или } \downarrow P \Rightarrow \uparrow Y \quad (2)$$

Для вычленения признака, который предопределяет деление информационных объектов на первый и второй классы с точки зрения потенциальной доходности, используем известный в теории информации ресурсно-информационный подход. Эта концепция исходит из диалектической оппозиции между ресурсом и информацией, противопоставляет первое начало второму, при этом признает невозможность существования одного субстрата без другого [2]. К ресурсному началу относят вещество, материю и ее количество, а также энергию как движение материи. Для информационного начала характерно абстрагирование от конкретно-вещной природы и опора на структурность материи, меру организации систем, условную вероятность событий различимое отличие, задающие всеобщий порядок. На практике ресурсно-информационный критерий, отграничивающий информационные объекты первого класса от объектов второго класса, работает следующим образом. Если информационный объект удовлетворяет какие-либо потребности человека, несет пользу в виде чистой информации, без воплощения в материальной форме, без овеществления, то такой информационный объект относится к первому классу. Объекты первого класса отделимы от конкретного материала, предмета, вещи, личности, и в случае такого разделения сохраняют свои полезные качества.

Если информационный объект ценен сам по себе, то его потенциальная доходность увеличивается с ростом его распространенности. В этой ситуации работает известный принцип максимума взаимной информации [3] между стимулами-условиями среды и реакциями на них со стороны обитающего в ней организма или социокультурной подсистемы. Закономерность максимума взаимной информации реализуется так, что в ответ на потребности пользователей в информационных объектах, социокультурная подсистема отвечает увеличением их предложения посредством копирования, размножения, повышения доступности с помощью наличествующих в ней технологических средств. Получив положительную обратную связь, среда в соответствии с кибернетической логикой самовоспроизведения [4] генерируют для откликнувшейся социокультурной подсистемы возможности по извлечению востребованных ею благ, в том числе материальных. Так работает закономерность, по которой высокая ценность информационного объекта формируется в результате его наибольшего распространения. Той субстанцией, которая связывает и

позволяет количественно соотнести между собой невещественную ценность информационного объекта с традиционной экономической стоимостью материальных благ и трудовых ресурсов, является внимание людей, членов общества [5]. Недаром текущую стадию развития человечества некоторые исследователи определяют как аттенционализм [6], основанный на экономике внимания [7]. Итак, информационные объекты первого класса отделимы от материалов, предметов и людей, полезны сами по себе и не предполагают овеществления.

К информационным объектам первого класса относятся произведения науки, литературы и искусства, т.е. объекты авторских и смежных прав. В повседневной жизни описанное правило проявляется так, что чем более популярно произведение (исследование, отчет, фильм, книга, песня), чем больше общественного внимания оно привлекает, тем больший доход может быть извлечен из его использования, в том числе опосредованно через монетизацию популярности автора, чьим трудом оно создано.

Если же для того, чтобы удовлетворить какие-либо потребности человека, общества или государства, информационный объект должен найти воплощение в материале, предмете, вещи, то он относится к объектам второго класса. Объекты второго класса существуют в системе координат материального мира, в котором стоимость выступает функцией относительной редкости сырьевых и трудовых ресурсов. Потенциальная доходность информационного объекта второго класса определяется размером спроса, который может быть удовлетворен с его помощью. Наибольшая величина потенциальной доходности такого информационного объекта обуславливается его наименьшей распространенностью, секретностью, поскольку эксклюзивный обладатель имеет возможность наладить на его основе монопольный выпуск востребованного товара, и, удовлетворяя весь рыночный спрос получать максимальный доход, монопольную ренту. Ценность информационного объекта второго класса заключается в его недоступности для тех, кто желал бы им воспользоваться, он может быть приобретен только в обмен на другую редкость. Информационные объекты, которые без овеществления, опредмечивания, материализации, ценности не имеют, относятся ко второму классу информационных объектов. Показательным примером информационных объектов второго класса, требующих опредмечивания, являются патентуе-

мые объекты промышленной собственности, регистрируемые в виде описаний изобретений, промышленных образцов и полезных моделей.

На примере информационных объектов промышленной собственности имеет смысл проверить корректность предложенного критерия. Исторически сложилось так, что институт патентования преимущественно нацелен на материальное производство. Согласно выше сформулированному правилу патентная система для того чтобы не размывать потенциальную доходность должна обеспечивать максимальную секретность, недоступность информационного объекта. Однако де факто мы имеем обратную ситуацию, поскольку патентная система требует опубликования подведомственных информационных объектов, что повышает их доступность и распространенность, хотя бы и в специфической группе заинтересованных промышленников. Казалось бы, предложенный критерий опровергнут. Отнюдь нет. Действительно, институт патентования делает широкодоступным информационный объект, составляющий существо изобретения, промышленного образца, полезной модели, в целях фиксации его содержания, регистрации и охраны. Однако по завершении процедуры регистрации институт патентования вводит запрет на использование информационного объекта в производстве продукции на его основе для всех, кроме правообладателя. Патентный институт работает в соответствии с базовым принципом и правовым воплощением идеи интеллектуальной собственности о запрете на использование произведения против воли правообладателя. В результате, несмотря на увеличение доступности информационного объекта, поскольку теперь каждый может найти формулу изобретения или прочесть описание объекта промышленной собственности, возможности для его легального использования в производстве минимизированы силой закона до единственного зарегистрированного правообладателя с целью защиты его монопольного положения. Таким образом, подтверждается корректность предложенного критерия для членения информационных объектов по величине потенциальной доходности в зависти от распространенности.

Предложенная классификация представляется нам эффективной, в том числе и потому, что она четко указывает место и позволяет объяснить свойства информационных объектов *suì generis* – программ для ЭВМ и баз данных (ПО и БД). Немало специалистов высказывают мнение, что ПО и БД

ошибочно отнесены к объектам авторских прав. Продолжается профессиональное обсуждение вариантов перекалфикации ПО и БД в объекты промышленной собственности с возможностью патентования алгоритмов, исходных текстов и способов организации данных.

ПО и БД представляют собой объекты, в которых ресурсная и информационная составляющие сошлись в идеальном равновесном балансе – пятьдесят на пятьдесят. Программно-аппаратная техносфера устроена так, что ее информационно-логическая часть данных и команд, не существует, не может быть исполнена без аппаратных средств. ПО и БД в равной степени принадлежат обоим мирам: ресурсному (материальному) и информационному. Потенциальная доходность прибывающих в состоянии ресурсно-информационного равновесия ПО и БД может и увеличиваться с ростом распространенности и снижаться, т.е. по данному критерию они могут входить в подмножество информационных объектов, как первого, так и второго класса.

ПО и БД могут создаваться неотделимыми от физических устройств – аппаратно-зависимыми. Аппаратно-зависимое программное обеспечение не обладает самостоятельной потенциальной доходностью. Потенциальная доходность связанного программного обеспечения зависит от цены, которую назначит монопольный покупатель – производитель устройств, для которых оно разработано. При определении цены связанного программного обеспечения покупатель руководствуется тем, насколько широк или узок круг альтернативных разработчиков аналогичных программных средств, и стоимостью их услуг. Зависимая от количества и стоимости альтернатив доходность аппаратно-зависимых программных средств наследует ресурсный характер, выражающийся формулой «чем реже, тем дороже». Аппаратно-зависимые ПО и БД относятся ко второму классу информационных объектов, потенциальная доходность которых снижается с увеличением распространенности ресурсов, необходимых для их создания.

И, наоборот, ПО и БД могут создаваться аппаратно-независимыми, легко переносимыми на различные устройства и распространяться без ограничения доступа, по модели свободного ПО. Целью свободного распространения является максимизация количества пользователей, поощрение разработчиков создавать приложения на открытой платформе тем самым увеличивая ее привле-

кательность, завоевание наибольшей доли рынка, а масштабная клиентская база всегда обладает значительным потенциалом для получения дохода и извлечения прибыли. Аппаратно-независимое программное обеспечение принадлежит первому классу информационных объектов, потенциальная доходность которых растет с увеличением распространенности.

ПО и БД вследствие контрастной обособленности их свойств, заключающейся в равновесной принадлежности ресурсному и информационному началу, и в паритете возможностей для их коммерциализации индустриальным либо информационным способом выделены в третий класс информационных объектов.

3. Дозволение как метод системы интеллектуальных прав

Основываясь на классификации информационных объектов по критерию доходности в зависимости от распространенности, проанализируем возможности, предоставляемые действующим законодательством для коммерциализации информационных объектов двух основных классов. (Потенциальная доходность информационных объектов третьего класса реализуется по схеме характерной для объектов первого либо второго классов.)

Действующая система интеллектуальных прав (копирайт – в англо-американской правовой традиции) основана на идее извлечения прибыли из запрета на использование объекта интеллектуальной собственности без разрешения правообладателя. Запрет преодолевается оплатой разрешения в пользу правообладателя. Соответственно, основным методом, применяемый действующим отечественным и зарубежным законодательством об интеллектуальной собственности – правовой запрет.

Целесообразность использования метода правового запрета в отношении информационных объектов второго класса не вызывает сомнения, поскольку их потенциальная доходность основывается на низкой распространенности, неизвестности и недоступности для широкого использования. В составе результатов интеллектуальной деятельности подмножеству информационных объектов второго класса принадлежат объекты промышленной собственности, селекционные достижения, топологии интегральных микросхем и секреты производства. Потенциальная доходность информационного объекта второго класса

трансформируется в реальный доход через материальное производство полезных вещей на его основе. Наивысшего значения потенциальная доходность таких объектов достигает при условии монопольной принадлежности единственному производителю. Метод правового запрета в данной ситуации справедлив и эффективно защищает интересы правообладателей, поскольку он органичен природе ценности объектов второго класса, основанной на редкости. Итак, действующее законодательство обеспечивает правовой режим, который необходим для реализации потенциальной доходности информационных объектов второго класса.

Но как быть с информационными объектами первого класса, потенциальная доходность которых тем выше, чем больше они распространены? К информационным объектам первого класса, как было показано, относятся объекты авторских и смежных прав, а также средства индивидуализации. Обеспечен ли действующим законодательством адекватный особенностям этих объектов правовой режим, который поощряет их наибольшее распространение? Ведь именно наибольшее распространение информационных объектов первого класса создает экономическую основу для вознаграждения авторов и максимизирует их общественную пользу. Важно и то, что наибольшее распространение порождает принципиально новые источники и формы вознаграждения для творцов, ставшие возможными в информационном обществе, взамен иссякающим источникам уходящей ресурсно-индустриальной эпохи. Все больше авторов осознают выгоду от наибольшего распространения своих произведений и предоставления беспрепятственного доступа к ним. Исследования авторитетных аналитических компаний показывают, что бизнес на основе свободного контента в краткосрочном периоде будет расти взрывообразно, и описывают ряд конкретных бизнес-моделей [8], которые работают уже сегодня. И все же, на поставленные вопросы мы вынуждены ответить отрицательно. Действующее национальное законодательство не сдержит правовых норм, которые позволяют максимизировать потенциальную доходность информационных объектов первого класса. Такое положение объясняется тем, что до недавнего времени даже на уровне идеи не обсуждалось то, что высокая ценность информационного объекта может быть следствием его широкой распространенности, а не секретности.

4. Заключение

Как известно, «свято место пусто не бывает» и вокруг информационных объектов первого класса складываются отношения и бизнесы, основанные на максимизации их потенциальной доходности за счет наибольшей распространенности, которую обеспечивает беспрепятственный доступ к ним. Правовые нормы для регулирования контента освобожденного по инициативе самих авторов, разработаны в рамках системы свободных лицензий Creative Commons. В семидесяти странах мира идет процесс имплементации этой системы в законодательство, поскольку свою востребованность и дееспособность она доказала даже находясь вне официального правового поля. К настоящему моменту известны следующие альтернативные способы извлечения дохода из общественного использования свободно распространяемых информационных объектов. Получение дохода на смежных с творческими продуктами рынках [9], рекомендательные сервисы [10], предоставление доступа к контенту в счет просмотра рекламы [11], интеллектуальный налог при свободном использовании произведений в интернете [12], постиндустриальная рекла-

ма на основе монетизации внимания публики [13]. Если бы закон создавал условия для увеличения распространенности и потенциальной доходности информационных объектов первого класса, то это ускорило бы замещение старых схем, основанных на материальных носителях и ограничении доступа, инновационными способам их коммерциализации. Сегодня, этого, к сожалению, не происходит, поскольку существующий режим базируется на противоположной идее.

Основным методом правового регулирования информационных объектов первого класса, который обеспечит им наибольшую распространенность и доходность, должен стать метод дозволения беспрепятственного доступа и свободного использования по воле правообладателя. Инкорпорация метода правового дозволения является первоочередной задачей модернизации системы интеллектуальных прав. Необходимость применения метода дозволения не декларирована, но выведена, дедуцирована в данной статье с помощью анализа информационных объектов по экономическому основанию – потенциальной доходности, которая в свою очередь зависит от их большей либо меньшей распространенности. ■

Литература

1. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. N 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
2. Кальоти Дж. От восприятия к мысли: о динамике неоднозначного и нарушениях симметрии в науке и искусстве. М.: Мир, 1998. С. 221-226.
3. Голицын Г. А., Петров В. М. Информация. Поведение. Язык. Творчество. М.: ЛКИ, С. 86
4. Von Neumann, J., 1966, The Theory of Self-reproducing Automata, A. Burks, ed., Univ. of Illinois Press, Urbana, IL.; Robert A. Freitas Jr., Ralph C. Merkle, Kinematic Self-Replicating Machines, Landes Bioscience, Georgetown, TX, 2004. P. 251-265.
5. Будник Р. А. Эквивалент стоимости творческих продуктов и постиндустриальная рекламная технология. // Интеллектуальная собственность. Авторское право и смежные права. — 2010. — № 6, 7. С.5-15.
6. Бард А., Зодерквис Я. Нетократия. Новая правящая элита и жизнь после капитализма. Стокгольмская школа экономики в Санкт-Петербурге, 2004. С.200-206.
7. Lanham, Richard. The Economics of Attention: Style and Substance in the Age of Information, The University of Chicago Press, 2006. P.73-85.
8. Отчет аналитического агентства In-Stat. The Digital Entertainment Revolution. [Электронный ресурс] <http://www.instat.com/promos/10/IN1004828WHT.asp>
9. Master new media. [Электронный ресурс] Online Content Monetization: Critical Viewpoints From George Siemens And Gerd Leonhard <http://www.masternewmedia.org/online-content-monetization-critical-viewpoints-from-george-siemens-and-gerd-leonhard>
10. Долгин А. Б. Экономика символического обмена. — М.: Инфра-М, 2006. С.90-95.
11. Китайские песни от Google. [Электронный ресурс] <http://www.google.cn/music/homepage>
12. Fisher W. Promises to keep: Technology, Law, and the Future of Entertainment. Stanford University Press, Stanford, California 2004. P.199-208.
13. Будник Р. А. Контент в обмен на внимание: восхищенный потребитель как альтернативный продукт творческой индустрии. // Право интеллектуальной собственности. — 2010 — № 1 — С. 22–27.

ПРОДУКЦИОННАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ СИСТЕМЫ «1С:ПРЕДПРИЯТИЕ 8»

Т.В. Адуева,

старший преподаватель кафедры автоматизации обработки информации Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

А.В. Ахаев,

аспирант кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

И.А. Ходашинский,

доктор технических наук, профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

Адрес: г. Томск, ул. Ленина, д. 40

E-mail: avt@garant.tomsk.ru; akhaevav@gmail.ru; hodashn@rambler.ru

В статье описан подход к классификации программных продуктов системы «1С:Предприятие 8». На базе предложенной классификации разработана производственная система выбора данных программных продуктов по запросу пользователя. Описан подход к формированию рабочей памяти. Представлен язык описания базы знаний, разработанный для этой системы. На основе полученных результатов реализован прототип производственной системы.

Ключевые слова: производственная система, классификация, программные продукты, система «1С: Предприятие 8», база знаний, язык описания базы знаний.

Постановка задачи

Фирма «1С», ее партнеры и независимые организации представляют на рынок большое количество программных продуктов системы «1С:Предприятие 8» (ППС 1С). Эти программы (конфигурации, решения) предназначены для автоматизации управления и учета на пред-

приятиях различных отраслей, видов деятельности и типов финансирования [1].

Широкий спектр предоставляемых решений, а также популярность фирмы способствует высокому спросу на ППС 1С. Менеджер по продаже данных продуктов должен оперативно подобрать для заказчика такое решение, которое в

наибольшей степени удовлетворяет его потребностям.

На поиск дополнительной информации и анализ каждого продукта уходит много времени. Для того чтобы знать в каком направлении осуществлять поиск, необходимо получить от клиента нужную информацию. То есть одной из задач менеджера является формулировка таких вопросов заказчику, которые помогут получить необходимые данные для поиска ППС 1С. Таким образом, процесс выбора получается сложным, требующим разносторонних знаний и хорошей подготовки менеджера.

На данный момент есть несколько вариантов решения этой проблемы. Во-первых, есть сайты [2], где существуют «помощники» подбора конфигураций, в которых предлагается заполнить 3-5 параметров, характеризующих потребности заказчика. На основе этих параметров определяются подходящие программы. Зачастую таких программ может либо вообще не оказаться, либо их количество будет исчисляться десятками, анализировать которые приходится самостоятельно. Во-вторых, на сайтах создаются каталоги с описанием функционала программ [3]. Но эти каталоги незначительно сужают круг поиска, а описания длинные и требуют дополнительного анализа. И наконец, на официальном сайте фирмы «1С» [1] существует сервис «калькулятор стоимости», работающий примерно как «помощники». С помощью данного сервиса можно определить конкретную конфигурацию и ее стоимость. Однако «калькулятор стоимости» рассматривает только типовые решения, которые составляют не более 10 % от всего перечня продуктов.

Для решения проблемы выбора оптимальной конфигурации необходимо разработать экспертную систему, которая сможет частично или полностью заменить менеджера по продажам. Система должна охватывать весь спектр ППС 1С и предлагать конкретную конфигурацию, наиболее подходящую для клиента.

Для достижения поставленной цели, прежде всего, необходимо извлечь знания о данной предметной области. Выявить структуру этих знаний. Построить формальное описание. После чего, на основе полученных результатов реализовать прототип продукционной системы.

В настоящей статье описан подход к решению указанных задач.

Классификация программных продуктов системы «1С:Предприятие 8»

Извлечение знаний выполнялось с использованием, как коммуникативных, так и текстологических методов [4]. Использовались такие гибкие подходы как, интервью и свободные диалоги с экспертами – сотрудниками ООО «Томское агентство правовой информации «Гарант» (официальный партнер фирмы «1С»). Также изучена литература по данной предметной области. В том числе проведен анализ классификационных признаков автоматизированных систем бухгалтерского учета (АСБУ) [5, 6], изучены особенности программ системы «1С:Предприятие 8».

Одним из наиболее часто применяемых подходов к описанию предметной области является онтологическое моделирование, позволяющее представить предметную область совокупностью «понятий (концептов, терминов) и отношений между ними, которым соответствуют сущности из реального мира» [7]. Онтологии «представляют наиболее общие концептуальные понятия моделируемой области, полностью абстрагированные от конкретных моделей представления знаний и практической реализации» [8]. Стоит отметить, что «применение онтологического подхода при формализации базовых категорий предметной области» обладает рядом преимуществ, среди которых основными являются универсальность, применимость на различных уровнях детализации, адаптируемость и др. [9].

Опираясь на онтологический подход, нами была построена классификация, имеющая следующие основания (в скобках указаны примеры возможных значений):

1. вид решения (типовое решение);
2. тип предприятия (хозрасчетная организация);
3. вид учета (бухгалтерский и налоговый учет);
4. подвид учета (документооборот);
5. вид деятельности (производство);
6. подвид деятельности (молочное производство);
7. версия (ПРОФ).

Рассмотрим каждое основание классификации.

Вид решения. *Вид решения* – это одна из ключевых характеристик ППС 1С, которая определяет подход к автоматизации деятельности на предприятии. Данное основание включает в себя два значения:

◆ типовое или универсальное решение (Т) – это видение разработчика функциональных возможно-

стей программ. Предполагается, что функционала типового решения вполне достаточно для большинства предприятий [3];

♦ отраслевое или специализированное решение (О) – это решение, нацеленное на максимальное соответствие потребностям в автоматизации наиболее важных для предприятий бизнес-процессов; как правило, это разработки партнеров фирмы «1С» или других независимых организаций.

Данное основание позволяет выделить два класса ППС 1С, каждый из которых обладает своими преимуществами [3].

Тип предприятия. Существуют программы, ориентированные на разные *типы предприятий*. Для того чтобы их различать был выделен данный классификационный признак, имеющийся также в [5]. Анализ ППС 1С позволяет выделить три значения:

♦ бюджетное учреждение (Б) – учреждение, финансируемое преимущественно или целиком из средств государственного и местного бюджетов [10];

♦ хозяйственная организация (Х) – коммерческая организация, которая осуществляет свою деятельность без помощи средств государственного бюджета;

♦ корпоративный рынок (К) – условный тип, к нему относятся крупные холдинги, организации, имеющие обособленные подразделения.

Данное основание помогает выделить программы ориентированные на предприятия с разной формой собственности.

Вид и подвид учета. Учет – составная часть управления экономическими процессами и объектами, сущность которого состоит в фиксации их состояния и параметров, сборе и накоплении сведений об экономических объектах и процессах, отражении этих сведений в учетных ведомостях [10]. Этим целям служат разные виды учета: бухгалтерский, налоговый, бухгалтерский управленческий, оперативный. При этом оперативный учет может быть как типовым (с универсальным набором функций), так и отраслевым (со специализированным набором функций).

Программы системы «1С:Предприятие 8», как правило, предназначены для автоматизации нескольких видов учета сразу, то есть в каждой программе присутствует набор *видов учета* (ВУ). Нами было выделено семь таких наборов:

♦ бухгалтерский и налоговый учет (БУиНУ);

♦ управленческий учет;

♦ оперативный учет и элементы управленческого учета (ОУиУУ);

♦ бухгалтерский и налоговый, оперативный и управленческий учет;

♦ отраслевой оперативный учет и элементы управленческого учета (ООУиУУ);

♦ БУиНУ, отраслевой оперативный учет;

♦ БУиНУ, отраслевой оперативный и управленческий учет.

Из названий видно, на автоматизацию каких видов учета ориентированы программы, относящиеся к тому или иному набору.

Для уточнения задач автоматизации некоторые ВУ были декомпозированы на подвиды учета. Например, для вида учета ОУиУУ были выделены следующие подвиды:

♦ документооборот;

♦ управление персоналом и расчет зарплаты (УПРЗ).

Кроме того, каждому ВУ соответствует условный подвид – «Универсальный подвид учета» (УПУ). К нему принадлежат те программы, которые не относятся к выделенным нами подвидам учета.

Данные основания классификации охватывают не только интересующие виды учета, но и включают анализ конкретного состава решаемых учетных задач.

Вид и подвид деятельности. *Вид деятельности* является важной характеристикой предприятия, а значит и продукта, выбираемого для его автоматизации. Здесь определяется прикладная область, для которой подбирается программа. Существует общероссийский классификатор видов экономической деятельности [11], на основе которого были выделены значения. Ниже представлены некоторые из них:

♦ жилищно-коммунальное хозяйство;

♦ образование;

♦ оптовая и розничная торговля;

♦ производство;

♦ услуги (У).

К перечисленным видам деятельности мы добавили условный – «Универсальный вид деятельности» (УВД). Это связано с тем, что существуют универсальные ППС 1С, которые предназначены для автоматизации задач, имеющихся в различных видах деятельности.

Таблица 1.

Соответствие классификационных признаков программным продуктам системы «1С:Предприятие 8»

№	Наименование ППС 1С	Вид решения	Тип предприятия	Вид учета	Подвид учета	Вид деятельности	Подвид деятельности	Версия
1	1С:Бухгалтерия 8. Базовая	Т	Х	БУиНУ	УПУ	УВД	УПД	Базовая
2	1С:Бухгалтерия 8 ПРОФ	Т	Х	БУиНУ	УПУ	УВД	УПД	ПРОФ
3	1С:Бухгалтерия 8 КОРП	Т	К	БУиНУ	УПУ	УВД	УПД	ПРОФ
4	1С:Зарплата и Управление Персоналом 8	Т	Х	ОУиУУ	УПРЗ	УВД	УПД	ПРОФ
5	1С:Предприятие 8. Отель	О	Х	ООУиУУ	УПУ	У	Г	ПРОФ

Некоторые виды деятельности были декомпозированы на подвиды деятельности. Например, для вида деятельности У были выделены следующие подвиды:

- ◆ автосервис;
- ◆ гостиница (Г);
- ◆ кадровое агентство;
- ◆ ломбард;
- ◆ служба технической поддержки;
- ◆ страхование.

Подвиды включают в себя значения, имеющиеся в [1, 2]. Кроме того, по аналогии с ВУ, каждому виду деятельности соответствует условный подвид – «Универсальный подвид деятельности» (УПД). К нему принадлежат те программы, которые не относятся к выделенным нами подвидам деятельности.

Данные основания классификации охватывают не только интересующие виды деятельности, но и их конкретные направления.

Версия. У программ системы «1С:Предприятие 8» также есть характеристика, связанная с размером предприятия. Существуют следующие версии программ [3]:

- ◆ базовая – предназначена для работы одного пользователя, и ориентирована на малые предприятия.
- ◆ ПРОФ – подходят для организаций больших масштабов. Также имеет ряд других преимуществ по сравнению с базовой версией.

Данное основание помогает выделить программы ориентированные на предприятия различного масштаба.

Основная часть имеющихся на данный момент ППС 1С была классифицирована по предложенным основаниям. В таблице 1 приведен фрагмент обобщенных данных о соответствии классификационных признаков данным программным продуктам.

Предложенная классификация и представленные в таблице 1 данные позволяет провести сравнитель-

ный анализ программ и выбрать из них наиболее адекватную для конкретного предприятия. В следующем разделе рассматривается формализованное представление предметной области с использованием полученных результатов.

Продукционная система

Системы обработки знаний, использующие продукционную модель, получили название продукционных систем. Ниже даны основные понятия [12].

Продукционное правило или продукция – это оператор преобразования, представляющий собой выражение следующего вида:

<ситуация> → <заключение>.

Возможна и другая трактовка:

<ситуация> → <действие>.

В состав экспертных систем продукционного типа входит три основных компонента: база правил (знаний), база фактов (рабочая память) и механизм логического вывода (МЛВ).

МЛВ обрабатывает правила в соответствии с содержанием базы фактов, где хранятся входные данные. Основываясь на имеющихся знаниях в базе правил, МЛВ определяет результат, то есть выходные данные. Для работы нашей системы необходимы следующие входные и выходные параметры [13] (таблица 2).

Таблица 2.

Входные и выходные параметры продукционной системы

Вход	Выход
Вид решения	Наименование ППС 1С
Тип организации	
Вид учета	
Подвид учета	Цена ППС 1С
Вид деятельности	
Подвид деятельности	Цена клиентской лицензии
Количество пользователей	

Входные параметры представляют собой значения оснований предложенной классификации. Последний входной параметр не является основанием, но при этом он характеризует основание версия.

Основная часть исходных данных для продукционной системы формируется в режиме диалога с пользователем. Для получения результата нужно иметь базу правил. А для формирования базы правил необходимо иметь классификацию ППС 1С, которую мы уже описали. Теперь рассмотрим рабочую память и правила нашей системы.

Рабочая память. База фактов представляет собой область памяти, где хранятся предпосылки, которые «описывают» текущую ситуацию. В зависимости от ситуации применяются те или иные продукции и выполняются соответствующие решения.

Применение продукции предполагает наличие необходимых фактов, которые система запрашивает у пользователя в режиме «вопрос-ответ». Причем могут задаваться как вопросы, на которые можно ответить, выбрав нужный вариант из представленного списка, так и вопросы, предполагающие утвердительный или отрицательный ответ. В *таблице 3* представлены вопросы задаваемые системой, ответы пользователя и факты, выявленные в процессе диалога.

База правил. Экспертная система формирует определенные гипотезы и выводы, основываясь на тех знаниях, которыми она располагает. Знания в системе представлены на специальном языке и хранятся отдельно от программного кода, который формирует выводы и гипотезы. Этот компонент системы принято называть базой знаний (правил) [12].

Продукционные правила формируются с использованием языка, разработанного специально для рассматриваемой предметной области. В основу данного языка лег язык *OPSS* – представитель семейства *OPS* (средства разработки систем продук-

ций) – язык программирования, ориентированный на правила [14]. Правила имеют вид:

<антецедент> → <консеквент> ,

где антецедент является описанием данных, а консеквент – одно или более действий, которые должны быть выполнены, если антецеденты соответствуют содержимому базы фактов.

Управление осуществляется циклом, в котором ищутся правила с удовлетворяющимися антецедентами, из них выбирается одно правило, затем выполняются действия.

Рассматриваемый язык правил может быть представлен в форме Бэкуса – Наура следующим образом [15]:

```
<правило> ::= ЕСЛИ <антецедент> ТО <консеквент> ИНАЧЕ <консеквент>
<антецедент> ::= (И {<условие>}+)
<консеквент> ::= (И {<действие>}+)
<условие> ::= (<значение> <знак> <значение>)
<действие> ::= (<значение> := <значение>) |
                (<значение> := ф<имя_функции>
                (<значение>)).
```

Под *условием* понимается некоторое предложение, по которому осуществляется поиск в базе знаний, а под *действием* – действия, выполняемые при успешном исходе поиска (они могут быть промежуточными, выступающими далее как условия, или целевыми, завершающими работу системы). *Значениями* в антецеденте и консеквенте могут быть числа, символы (выделяются кавычками «, ») или переменные. *Переменной* называется символ, который заключен в ломаные скобки (например, <А>). *Знак* может быть одним из знаков сравнения: «больше» (<), «меньше» (>), «равно» (=) или «неравно» (<>).

Диалог с пользователем

Таблица 3.

№	Вопрос	Ответ	Факт
1	Ваша организация является коммерческой?	Да	
2	Ваша организация является крупным холдингом, имеет обособленные подразделения?	Нет	Тип предприятия (ТП): «хозрасчетная организация»
3	Вы ищете решение для автоматизации бухгалтерского учета?	Нет	
4	Какое решение Вы ищете?	Специализированное	Вид решения (ВР): «отраслевое решение»; Вид учета (ВУ): «ООУиУУ»
5	Уточните направление автоматизации	Другое	Подвид учета (ПВУ): «УПУ»
6	Укажите вид деятельности Вашей организации	Услуги	Вид деятельности (ВД): «услуги»
7	Уточните направление Вашей деятельности	Гостиница	Подвид деятельности (ПВД): «гостиница»
8	Сколько пользователей будет работать с программой	4	Количество пользователей (К): 4

Наиболее важными элементами языка являются функции (название начинается на букву *ф*), которые выполняют назначенное им задание и возвращают значение в переменную.

В языке используются следующие виды переменных (в скобках указаны их обозначения, которые будут использоваться в примере представленном ниже):

входные безусловные (<К>) – факты, собранные при первоначальном опросе пользователя;

♦ входные условные (<#ПВД>) – содержат дополнительные данные, необходимость в которых возникла при определенном условии (наборе фактов);

♦ определяемые (<Версия>) – факты, выясненные в процессе работы машины вывода;

♦ выходные (<Конф>) – получают данные, являющиеся результатом работы системы.

Интерпретатор данного языка исполняет систему продукций, делая следующие операции [14]:

1. шаг сопоставление – определить, какие правила имеют удовлетворительные antecedentes;
2. шаг действие – выполнить действия выбранного правила;
3. возврат к первому шагу.

Эту последовательность действий можно рассматривать, как общую схему структуры управления, которую пользователь наполняет по своему усмотрению.

Рассмотрим пример, в котором представлены наиболее характерные правила языка описания

базы знаний производственной системы выбора ППС 1С (таблица 4).

Данные правила, связаны с приведенным в таблице 3 диалогом. То есть, в примере представлены правила, которые имеют удовлетворительные antecedentes относительно полученных в ходе диалога фактов.

В результате выполнения данных правил определяются дополнительные факты (правило 1), определяется необходимость в уточнении информации (правила 2, 3), и в итоге принимается решение о том, какая программа является наиболее подходящей (правило 4). Также определяется цена программы (правило 4) и цена на клиентские лицензии (правило 5).

Основная часть базы знаний содержит правила схожие с правилом 4 (таблица 4). Antecedent этого правила состоит из оснований предложенной классификации. Остальные правила, являются вспомогательными или уточняющими. Таким образом, база правил опирается на классификацию.

Программная реализация

Известно, что при построении экспертных систем возможно применение как языков программирования различного уровня, так и оболочек (пустых, скелетных) экспертных систем. Оболочки имеют общую направленность и не учитывают особенности исследуемой предметной области. В то время как языки программирования предостав-

Правила производственной системы

Таблица 4.

№	Правило	Пояснение
1	ЕСЛИ (<К> = 1) ТО (<Версия> := «Базовая») ИНАЧЕ (<Версия> := «ПРОФ»)	Если количество пользователей равно 1, то версия – базовая, иначе версия – ПРОФ
2	ЕСЛИ (<ВУ> = «ООУиУУ») ТО <#ПВУ> := фУточнитьПВУ(<ВУ>)	Если вид учета – отраслевой оперативный учет с элементами управленческого, то необходимо уточнить подвид учета для данного вида учета
3	ЕСЛИ (<ВД> = «услуги») ТО <#ПВД> := фУточнитьПВД(<ВД>)	Если вид деятельности – услуги, то необходимо уточнить подвид деятельности для данного вида деятельности
4	ЕСЛИ (<ВР> = «отраслевое решение») И (<ТП> = «хозрасчетная организация») И (<ВУ> = «ООУиУУ») И (<#ПВУ> = «УПУ») И (<Версия> = «ПРОФ») И (<ВД> = «услуги») И (<#ПВД> = «гостиница») ТО (<Конф> := «1С:Предприятие 8. Отель») И (<ЦенаКонф> := фЦКонф(<Конф>))	Если вид решения – отраслевое решение и тип предприятия – хозрасчетная организация, и вид учета – отраслевой оперативный учет с элементами управленческого, и подвид учета – универсальный подвид учета, и версия – ПРОФ, и вид деятельности – услуги, и подвид деятельности – гостиница, то конфигурация – «1С:Предприятие 8. Отель» и определить цену данной конфигурации
5	ЕСЛИ (<К> > 1) ТО (<ЦенаКЛ> := фЦенаКЛ(<К>))	Если количество пользователей больше 1, то определить цену клиентской лицензии для данного количества пользователей

ляют разработчику максимальную свободу выбора в представлении знаний и механизмах вывода [14].

Прототип производственной системы реализован на платформе «1С:Предприятие 8» с использованием предложенного в работе языка описания базы знаний. Одно из преимуществ этого варианта состоит в том, что можно учесть специфические особенности предметной области и настроить систему для максимально эффективного представления знаний. Кроме того, представленный язык описания в некотором роде является подмножеством языка программирования «1С» и без каких-либо надстроек может быть реализован на платформе «1С:Предприятие 8».

Разработка и тестирование прототипа системы проводились на базе ООО «Томское агентство правовой информации «Гарант» – официального партнера фирмы «1С».

Тестирование показало, что разработанная производственная система в 34 % случаев предлагает две

конфигурации. Пользователю при этом остается выбрать нужную программу по цене или предложенному описанию. В остальных 66 % случаев система предлагает одну оптимальную конфигурацию.

Заключение

В работе получены следующие результаты:

- ♦ предложен вариант классификации программ системы «1С:Предприятие 8»;
- ♦ описан подход к формированию рабочей памяти производственной системы;
- ♦ разработан язык описания базы знаний производственной системы;
- ♦ сформированы правила с использованием предложенной классификации и на основе разработанного языка описания.

Созданный прототип системы позволяет определить не более двух конфигураций программ системы «1С:Предприятие 8». ■

Литература

1. Фирма «1С» [Электронный ресурс]. – <http://www.1c.ru>
2. Программы 1С [Электронный ресурс]. – <http://www.1c77.ru>
3. БТРК: Выбрать 1С программу [Электронный ресурс]. – <http://www.btr-k.ru/content>
4. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб: Питер, 2000. – 384 с.
5. Зырянова Т.В., Скребкова Ж.Р. Моделирование учетного процесса в условиях автоматизации // Все для бухгалтера. 2007. № 23(215); № 24(216).
6. Харитонов С.А. Информационные системы бухгалтерского учета: Учебное пособие / С.А. Харитонов, Д.В. Чистов, Е.Л. Шуремов. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 160 с.
7. Мальцева С.В. Применение онтологических моделей для решения задач идентификации и мониторинга предметных областей // Бизнес-информатика. 2008. №3.
8. Загорюлько Ю.А., Загорюлько Г.Б. Онтологии и их практическое применение в системах, основанных на знаниях // Знания-Онтологии-Теории. Т. 1. – Новосибирск, Институт математики СО РАН, 2011. - С. 132-141.
9. Лычкина Н.Н., Идиатуллин А.Р. Инструментальная реализация архитектурных моделей предприятия на основе онтологий // Бизнес-информатика. 2010. №1.
10. Райзберг Б.А. Современный экономический словарь / Б.А. Райзберг, Л.Ш. Лозовский, Е.Б. Стародубцева – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 495 с.
11. Классификатор видов деятельности [Электронный ресурс]. – <http://www.okvad.ru>
12. Ходашинский И.А. Методы искусственного интеллекта, базы знаний, экспертные системы: Учебное пособие / И.А. Ходашинский. – Томск: ТУСУР, 2002. – 138 с.
13. Ахаев А.В. Классификация программных продуктов «1С:Предприятие 8» // Научная сессия ТУСУР 2011, Томск, 4–6 мая 2011 г. – Томск: В-Спектр, 2011. – ч.2. - С. 165-168.
14. Хейес-Рот Ф. Построение экспертных систем / Ф. Хейес-Рот, Д. Уотерман, Д. Ленат. – М.: Мир, 1987. – 441 с.
15. Ахаев А.В. Язык описания базы знаний производственной системы выбора конфигураций программных продуктов «1С:Предприятие 8» // Молодежь и современные информационные технологии, Томск, 11–13 мая 2011 г. – Томск: СПБ Графикс, 2011. – ч.1. - С. 260-261.

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

А.А. Островерх,

зам. начальника отдела ГКНПЦ имени М.В. Хруничева

А.В. Цырков,

доктор технических наук, профессор, начальник комплекса ГКНПЦ им. М.В. Хруничева

А. А. Криштон,

заведующий лабораторией, ГОУ ВПО «МАТИ» – РГТУ имени К.Э. Циолковского

Г.А. Цырков,

доцент, кандидат технических наук, ГОУ ВПО «МАТИ» – РГТУ им. К.Э. Циолковского

Адрес: г. Москва, ул. Новозаводская, д. 18, корп. 39Б

E-mail: tias@matias.ru

В статье рассматривается комплексное решение в области построения высокопроизводительной вычислительной среды для управления производством сложной технической продукции. Определены требования к формированию решения, а также методы решения задач, обеспечивающие достижение цели модернизации производства

Ключевые слова: межфункциональные организационные структуры, технико-экономическое прогнозирование, интеллектуальная коммуникационная среда, инвариантная информационная модель, параллельные вычислительные процессы.

Одной из задач модернизации современного производства является выпуск изделий, обладающих определенными преимуществами, включая приемлемую себестоимость производства и, соответственно, цену. Также имеет

важное значение такая характеристика, как срок выхода продукта на рынок. Для достижения этих и ряда других целей модернизации необходима рациональная организация производства и управление жизненным циклом изделия.

В решении этих задач существенным звеном является выбор эффективной организационной структуры предприятия и методов управления производственными процессами. Современное развитие информационно-коммуникационных технологий подняло на новый уровень идеи и методы матричного управления предприятием. Но простой перенос старых методов управления на новую технологическую платформу не дает должного эффекта. Необходима комплексная перестройка всего механизма управления производственными процессами. В качестве направлений интенсификации можно выделить создание интеллектуальной коммуникационной среды, обеспечивающей многонаправленные и самоорганизующиеся информационные потоки, а также применение средств активного представления знаний, создающее предпосылки формирования обучающейся организационной структуры. Одной из основных методологических основ построения автоматизированных систем создания продукции, основанных на технологиях информационной поддержки (ИПИ/CALS), являются принципы и идеи организационной и информационной интеграции этапов жизненного цикла (ЖЦ). К ключевым направлениям развития ИПИ-технологий относят реорганизацию производственной деятельности, построение систем менеджмента качества, электронный документооборот и обмен данными, интегрированную логистическую поддержку, параллельное проектирование и применение многопользовательских баз данных. В конфигурацию ИПИ/CALS встраивается сопровождение цикла разработки и производства на уровне технико-экономического анализа и принятия решений в рамках всего предприятия.

При этом существенным моментом является то, что ни одно из перечисленных направлений нельзя рассматривать в отрыве от других [1, 2]. В таких условиях новый импульс развития получают идеи проектного управления и межфункциональных организационных структур на промышленных предприятиях.

Современные условия производства характеризуются ужесточением ограничений на ресурсы в условиях быстро и агрессивно изменяющейся внешней среды. В этих условиях одна из задач глубокой реорганизации производства на базе матричной схемы управления заключается в привязке нового облика бизнес-процессов к контролю бюджетных ограничений и целевому управлению. При этом

все процедуры контроля должны осуществляться в режиме реального времени, поддерживая практику динамического принятия решений (dynamic decision making).

Все сказанное представляется особенно актуальным для управления проектами, посредством которых реализуется программа стратегического развития организации в соответствии с поставленными целями, рыночными требованиями, установленными сроками и выделенного бюджета.

Компьютеризация сопровождения производственных процессов на отечественных предприятиях в последнее время набрала высокие темпы, но если рассматривать в целом проблемы конкурентоспособных производств, создающих сложную техническую продукцию, то можно выделить направления, комплексное решение которых позволит достичь наибольшего эффекта при модернизации. К таким направлениям, в частности, относятся:

- ◆ выбор гибкой, легко перестраиваемой организационной структуры;
- ◆ обеспечение непрерывного технико-экономического прогнозирования, построение интеллектуальной коммуникационной среды;
- ◆ создание унифицированной модельной платформы и организация параллельных вычислительных процессов.

Межфункциональные организационные структуры

Ключевое значение для удовлетворения выдвинутых условий имеет повышение гибкости структуры организаций. В настоящее время одной из наиболее гибких и перспективных организационных структур является межфункциональная организационная структура, позволяющая компаниям получать преимущества традиционной функциональной схемы управления при сохранении гибкости, характерной для проектной и матричной структур.

Межфункциональные формы организации (матричные и проектные структуры) позволяют быстро перераспределять человеческие и финансовые ресурсы, для того чтобы наилучшим образом реагировать на постоянно изменяющиеся условия рыночной конкуренции, технологические новшества, политическую обстановку и ожидания потребителей.

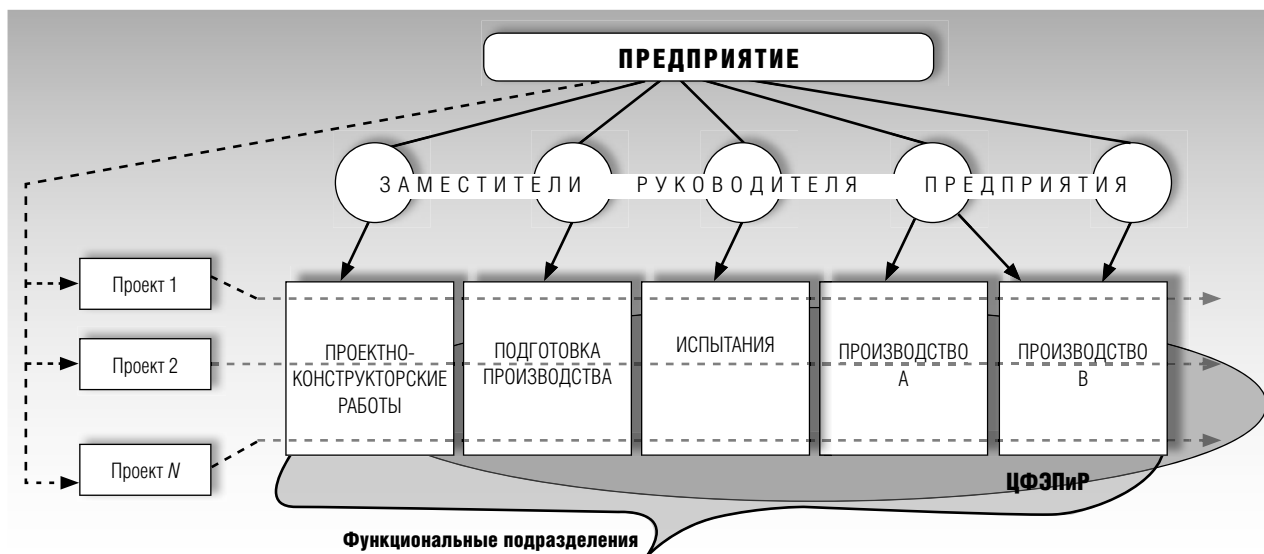


Рис. 1. Матричная организационная структура.

Традиционные иерархические, функционально организованные структуры становятся все менее способными реагировать на тенденции, формирующие современные комплексные и динамичные условия ведения бизнеса, требующими учета требований потребителей, усиления конкуренции и роста количества изменений. Потребители начинают диктовать не только условия поставок, но и цену продукции, побуждая к созданию изделий, обладающих определенными стоимостными параметрами.

Изменения приходится вносить и в изделия, и в процессы, и в структуру организаций. Компании непрерывно стремятся искать и реализовывать возможности проведения изменений в технологиях производства товаров, в технических характеристиках изделий и даже в способах их продаж конечному потребителю.

Новая система управления и организации производства должна поддерживать производственный процесс с поставками «точно в срок» (just-in-time) для сокращения издержек и повышения качества, она должна быть организована более гибко, чем производственная структура, применяющая традиционные методы работы.

При создании межфункциональных форм организации традиционная вертикальная иерархия дополняется определенными типами поперечных, горизонтальных полномочий, влияний и коммуникаций [3]. Горизонтальная составляющая обычно формируется из проектных или продуктовых форм (рис. 1). Таким образом, в матричной фор-

ме межфункциональной структуры формируется наиболее существенная особенность – двойная схема полномочий, ответственности и подотчетности, нарушающая традиционный принцип единоначалия, причем именно эта особенность является ключевой характеристикой матричного управления.

Центр финансово-экономического прогнозирования и рисков

Исследования производственных процессов создания сложных технических систем (СТС) показывают, что при неизменной конструкции, технологии и трудоемкости изготовления длительность производственного процесса может изменяться почти в три раза. По мере изменения длительности изменяются объемы незавершенного производства, а, следовательно, и объемы финансовых кредитов, необходимых для производства [1].

При создании новых изделий ракетно-космической техники (РКТ), освоении производства, а также эксплуатации РКТ необходимо управление всеми основными группами рисков. Критические риски связаны со снижением спроса или даже отказа от изделия, например, в результате финансово-политических потрясений или стихийного бедствия. Что же касается некритических рисков, то они могут повлиять на сроки и качество производства, вызвать нарушение сроков поставки, невыплату процентов по кредитам и займам. Также

имеют место риски, связанные с прочими финансовыми инструментами, вплоть до рисков по проекту в целом.

Решением проблемы может стать создание подразделения, осуществляющего непрерывное технико-экономическое прогнозирование всей цепочки процессов создания СТС. Вариантом решения является создание специализированного подразделения – центра финансово-экономического прогнозирования и рисков (ЦФЭПиР, *рис. 1*). Принципы и схема работы ЦФЭПиР во взаимодействии с функциональными подразделениями предприятия рассмотрены в [5]. Внедрение ЦФЭПиР позволит не только правильно оценить технические и финансовые риски, что, в свою очередь, приведет к грамотному управлению ими по нескольким направлениям (таким как физические и технические модели снижения рисков), но и даст возможность со временем организовать единый централизованный фонд, из которого будут покрываться затраты в случае происшествий различного характера, что позволит финансировать производство. Основными элементами структуры (подразделения) являются координационный модуль, модуль аналитического учета, прогнозный модуль и модуль управления риск-активами.

ЦФЭПиР органично входит в состав межфункциональной матричной структуры, ориентированной на сочетание в себе достоинств функциональной и продуктовой структур за счет обеспечения надлежащей координации проектных работ и в то же время сохранения непрерывности связей с достижениями в отдельных функциональных областях.

Можно считать, что матричная структура приведет к синергетическому эффекту, благодаря объединению программной ориентации проектной группы с узкоспециальной ориентацией персонала функциональных подразделений в форме новых взаимоотношений.

Наиболее существенным недостатком матричных организационных структур являются значительные затраты на обеспечение расширенной структуры коммуникаций. Элементом уменьшающим, либо устраняющим воздействие этого фактора, может стать построение *интеллектуальной коммуникационной среды*, организующей:

- ◆ мультиплексный обмен данными между функциональными подразделениями;
- ◆ накопление и последующее применение зна-

ний о процессах и формируемых решениях на основе унифицированной модельной платформы;

- ◆ элементы самообучения системы;
- ◆ высокую скорость выполнения расчетов функциональных задач.

Мультиплексная информационная среда

Термин «мультиплексная информационная среда» (МИС) определен в ряде работ [2, 6] как образ организации многосвязанного пространства с изменяемым направлением информационных потоков. Эта технология может охватывать весь процесс становления и развития определенной технической системы, в рамках которой создается изделие, и предназначена для управления этим процессом с целью обеспечения наибольшей эффективности использования сил и средств при решении поставленных задач на каждом этапе жизненного цикла изделия.

Процесс естественного накопления информации об объекте анализа требует создания эволюционных моделей, фиксирующих последовательные улучшения (усложнения) системы. Этапами изменения такой производственно-технологической модели для летательного аппарата могут быть:

- учет функциональных характеристик на уровне весового расчета и анализ производственно-технологических показателей (ПТП) на единицу массы летательного аппарата;
- учет конструктивных характеристик на уровне спецификаций и анализ ПТП для процессов сборки и изготовления агрегатов по количеству деталей и нормалей (длине швов);
- учет геометрических характеристик конструкции и анализ ПТП по маршрутным и операционным процессам сборки и изготовления деталей и расчет потребности основных и вспомогательных материальных ресурсов.

Поддержка таких сложных и развивающихся объектов, способных реагировать на изменение входных структурных, логических и количественных характеристик, показывает комплексность и многоплановость рассматриваемой проблемы, что объясняет необходимость применения соответствующих моделей, основанных на общей теории систем и математическом аппарате.

Другая проблема МИС состоит в том, что современный уровень развития информационных про-

изводственных технологий требует поддержки и развития решений по управлению знаниями. Такие решения должны:

♦ способствовать приобретению знаний, способствовать применению знаний, повышающих эффективность деятельности организации;

♦ обеспечивать их хранение, распределение и преобразование в форму, удобную для внутрифирменного пользования.

Эта проблема решается путем тщательной проработки концепции централизации и практического использования накопленных знаний. В интересах управления знаниями для образованных межфункциональных проектных групп могут создаваться специальные компьютерные системы, однако более эффективным решением представляется создание унифицированной модельной платформы, обеспечивающей построение интеллектуальной коммуникационной среды.

Унифицированная модельная платформа

Для организации мультиплексной информационной среды может быть использован аппарат структурно-параметрического моделирования [2, 6]. Следует отметить, что этот аппарат прошел разностороннюю апробацию и признан полезным для решения многих практических инженерных задач. Ядро моделирующего комплекса, – структурно-параметрический моделлер (СП-моделлер), – ориентировано на построение моделей объектов корпоративной информационной системы. Его функциональность апробирована при решении задач формирования и обработки объектов проектно-производственных стадий ЖЦ сложных технических систем: конструкторских и технологических спецификациях, производственных системах, маршрутных и операционных технологических процессах, производственных сетях, комплексах ресурсных характеристик [7]. В основу СП-моделлера положена инвариантная информационная модель (ИИМ). Концепция ИИМ определяет модель объекта проектирования следующим образом:

$$S(A) = \{ A, \Phi, R \}, \quad (1)$$

где A – отображение элементов объекта;
 Φ – отображение свойств (свойство является экспликацией таких понятий, как признак, характеристика, параметр, контур и т.п.);

R – отображение отношений между элементами, элементами и свойствами.

Элементы реальной системы, будучи материальными объектами, обладают разнородными, но органически связанными друг с другом свойствами. Эти связи различаются по их роли в назначении и функционировании объекта, по природе, по уровню абстрагирования при математическом моделировании и т.д. Основными связями являются структурные и причинно-следственные связи, характеризующие взаимосвязь объектов и параметров.

Структурные связи обусловлены отношениями принадлежности объектов, их элементов и свойств к определенным множествам, отношениями иерархической подчиненности, а также отношениями инцидентности, смежности и порядка. В ИИМ определяются: связи, отражающие конструктивную, либо функциональную иерархию объекта; функциональные взаимосвязи; пространственные и временные связи; причинно-следственные связи, отражающие последовательность изменения состояний объекта или его свойств; с учетом состояния других, не обязательно смежных с ним объектов. Для моделирования причинно-следственных связей множество свойств объекта моделирования разделены на два подмножества F и N

$$\Phi = F \cup N, \quad (2)$$

где: $F = \{ f_1, \dots, f_m \}$ – множество контуров (свойств) элементов на логическом уровне представления; $N = \{ n_1, \dots, n_n \}$ – множество параметров (свойств) элементов на количественном уровне представления. Между множествами F и N также устанавливается связь.

Применение ИИМ и структурно-параметрического моделлера позволяет строить распределенную систему расчета технических и организационно-экономических характеристик моделируемых объектов.

Параллельные вычислительные процессы

В ходе организации матричной платформы организации и производства на базе ЦФЭПиР планируется разработка параллельных методов и алгоритмов обработки информации.

Распараллеливание решения любой задачи многовариантно: для одной и той же математической модели можно построить различные параллельные

алгоритмы, а для каждого из этих алгоритмов – различные параллельные программы. В связи с этой многовариантностью одной из центральных проблем в области параллельных вычислений является проблема оценки эффективности алгоритмов для данной параллельной вычислительной системы или для класса таких систем. Выделяют следующие типы параллелизма [8, 9]: параллелизм данных, функциональный параллелизм, геометрический параллелизм, алгоритмический параллелизм, конвейерный параллелизм, «беспорядочный» параллелизм.

Параллелизмом данных обладают задачи, которые включают в себя неоднократное выполнение одного и того же алгоритма с различными исходными данными. Такие вычисления могут производиться параллельно. Распараллеливание на основе параллелизма данных называется декомпозицией по данным.

Функциональный параллелизм – это параллелизм групп операций, объединенных по функциональному признаку. Тривиальным примером функциональной декомпозиции является декомпозиция задачи на три следующих подзадачи: ввод исходных данных, обработка, вывод результатов, визуализация результатов. Параллелизм при этом достигается параллельным выполнением трех указанных подзадач и созданием «конвейера» (последовательного или последовательно параллельного) между ними. При моделировании летательного аппарата декомпозиции и выделению подлежат все основные подзадачи по его конструкции, условиям эксплуатации и полета. Одновременно в цикл моделирования включаются компоненты технико-экономического характера. Важно следующее обстоятельство: при функциональной декомпозиции задачи число используемых процессоров определяется числом подзадач. Увеличить число процессоров с целью увеличения скорости решения задачи при таком подходе затруднительно. Фактически, программа, использующая функциональный параллелизм, не является масштабируемой.

Для построения эффективной вычислительно-коммуникационной среды СП-моделлер обеспечивает: организацию распределенной высокопроизводительной вычислительной среды; управление информационными потоками.

Наиболее естественным решением при организации построения структуры взаимосвязи развиваю-

щихся элементов МИС является использование функциональной иерархии моделируемого объекта (рис. 2). Ветви структуры соответствуют основным потокам данных в процедурах параметрических расчетов. Это свойство структуры позволяет организовывать базовое распараллеливание процесса обработки ИИМ. Началом расчетов может являться обработка параметрической модели объекта «А», при которой задействуется процессор 1. Последовательная обработка элементов этого объекта открывает возможность передачи на обработку процессору 2 подчиненного объекта «Б». По завершении обработки объекта «А» процессор 1 может быть переключен на обработку объекта «В» и т.д. Максимальное количество параллельных процессов обработки при реализации такой схемы вычислений ограничивается лишь мощностью структуры моделируемого объекта.

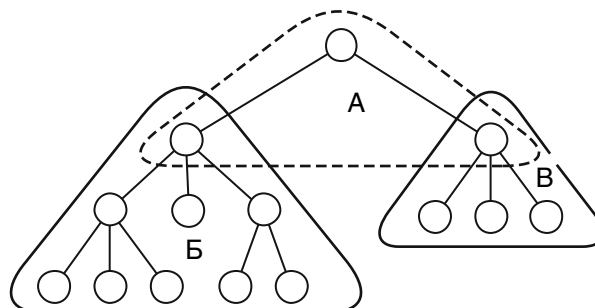


Рис. 2. Структура взаимосвязи объектов МИС.

В такой постановке задача обладает параллелизмом данных. Соответствующую параллельную программу целесообразно организовать в виде совокупности одинаковых программ, каждая из которых выполняется на своем подчиненном процессоре, и из основной программы, которая выполняется на мастер-процессоре. Декомпозиция по данным может быть статической и динамической. При статической декомпозиции по данным каждому процессу заранее назначается его доля данных. При динамической декомпозиции по данным мастер-процесс распределяет блоки данных по процессам в ходе решения задачи по мере появления данных и освобождения соответствующих процессоров [8].

Для повышения производительности вычислительной среды при обработке моделей системы управления производственными процессами возможна реорганизация взаимосвязей объектов МИС.

Например, информационный элемент (рис. 3), образуемый процедурой «Сечение» [3] формирует дополнительную «точку входа» для обработки ИИМ, объединяя (комплексирова) для обработки изначально не связанные элементы объекта. При использовании вновь включенного элемента и построенных отношений в качестве нового корня (точки входа) структуры можно изменить первоначально установленный порядок обработки модели. Такое новое образование можно использовать для согласования результатов обработки однотипных задач при управлении производственными процессами по различным элементам.

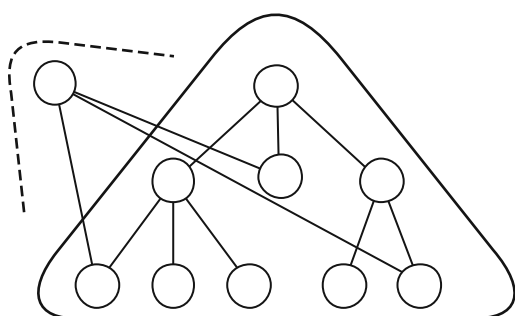


Рис. 3. Формирование дополнительных «точек входа» для обработки.

Другим способом распараллеливания процесса можно является размещение модели системы в распределенной информационной среде. Основой построения таких объектов МИС является процедура «Управляемая декомпозиция» [3]. Процедура осуществляет выделение объекта «А», его размещение как самостоятельно обрабатываемого элемента МИС и установление связей с объектом «Б» посредством образования новой модели «В», выполняющей функции согласования (рис. 4). Это позволяет строить распределенную информационную среду. Выделение моделей, выполняющих функции согласования, приводит к необходимости создания специальных процедур обработки. Согласующие модели (модели-коннекторы) строятся также на основе ИИМ, а процедуры обработки организуют доступ к обособленным объектам в распределенных вычислительных сетях. Таким образом, во множестве A элементов МИС можно выделить подмножество элементов-коннекторов, решающих задачи согласования информации в распределенной среде

$$A = A' \cup B. \quad (2)$$

Здесь A' – собственные элементы моделей задач системы; B – элементы-коннекторы.

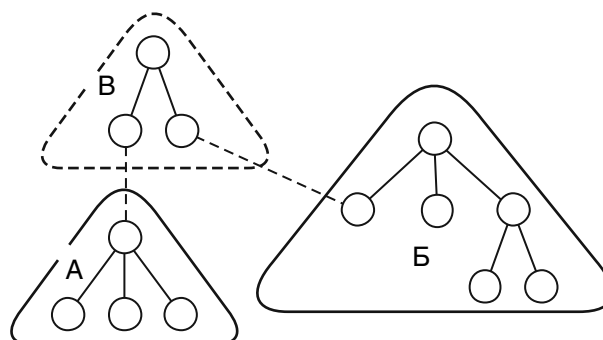


Рис. 4. Декомпозиция информационной среды.

Задача поддержки мультиплексной информационной среды требует разработки механизма управления информационными потоками при выполнении, прежде всего, вычислительных процедур. Установить заранее приоритеты в этом процессе, и тем самым предопределить структуру и направления потоков, сложно. Неопределенность состояния системы побуждается следующими факторами:

А). Процесс разработки моделей СТС предполагает постепенное наращивание возможностей, закладываемых в модели, что приводит к необходимости распределения технических знаний и связанных с ними вычислений в различных фрагментах модели объекта.

Б). Работу системы управления производственными процессами создания СТС трудно прогнозировать, вследствие возникновения множества нештатных ситуаций, связанных с устранениями несоответствий продукции. Поэтому можно принять, что появление информации подчиняется вероятностным законам распределения.

В). В структуру параметрической модели включаются параметры элементов-коннекторов, т.е. вычислительная среда становится распределенной, что также усложняет процесс решения задачи.

Перечисленные факторы требуют создания механизма согласования локальных решений. Базовые алгоритмы обработки ИИМ удовлетворяют этим требованиям, обрабатывая отношения взаимосвязей параметров таким образом, что распространение значений (информационные потоки) направляются не только от корней структуры, но и в противоположенном направлении. Система параметризации ИИМ ориентирована на построение параллельной вычислительной среды: она построена на принципах выделения функционального подобия процессов и определяет возможность

организации многосторонней направленности информационных потоков, а также инициирует итерации в процессе обработки модели.

На примерах решения задач подготовки и управления производством в масштабах распределенной производственной структуры машиностроительного холдинга, показана принципиальная возможность построения высокопроизводительной вычислительной среды системы организационно-технологического сопровождения процессов создания сложной технической продукции [1, 2, 7]. Следующий шаг развития направлен на повышение эффективности работы системы. Немаловажным аспектом в этом отношении является повышение скорости расчетов при решении задач, которая может быть повышена как за счет применения элементов современной вычислительной архитектуры, так и за счет построения распределенного информационного пространства.

В вычислительных системах параллельной архитектуры время решения задач в значительной степени зависит от того, какова внутренняя структура алгоритма и в каком порядке выполняются его операции. Дополнительное ускорение обработки прикладных задач на таких системах может быть достигнуто за счет анализа и выявления параллелизма данных и функциональных структур объектов, определения элементов модели объекта, которые могут одновременно обрабатываться. Формирование распределенной системы вычислений на предприятии позволяет проводить исследования относительно структуры алгоритмов и информационных взаимосвязей между моделями объектов, а также осуществлять разработку оптимальной архитектуры и компоновки программно-аппаратных средств с учетом технологий управления базами данных и аналитических экспертных систем и основных стандартов комплексной автоматизации предприятия. ■

Литература

1. Сычев В.Н., Цырков А.В. Моделирование организационно-технологических решений в производстве технических систем. Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн. / ФГУП «ВИМИ», 2009, №2. — С. 12-18.
2. Островерх А.И., Цырков Г.А. Информационно-алгоритмическая среда системы подготовки производства. Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн. / ФГУП «ВИМИ», 2009, №2. — С. 3-12.
3. Мильнер Б.З. Теория организации: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2000. — 480с.
4. Капустин Н.М., Дьяконова Н.П., Кузнецов П.М. Комплексная автоматизация в машиностроении: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Под ред. Н.М. Капустина. — М.: издательский центр Академия, 2005. — 368 с.
5. Цырков А.В., Островерх А.А., Мокеев М.А. Механизмы организационно-технологической поддержки комплексных проектов создания сложных технических систем. Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журн. / ФГУП «ВИМИ», 2010, №4. — С. 9-16.
6. Цырков А.В. Методология проектирования в мультиплексной информационной среде. — М.: ВИМИ, 1998. — 281 с.
7. Технологии интегрированных автоматизированных систем в науке, производстве и образовании: Сборник статей. Выпуски №№1-4 / Под ред. проф. Цыркова А.В. — М.: Издательско-типографский центр МАТИ, 2005 — 240 с., 2006 — 186 с., 2007 — 236 с., 2010 — 44 с.
8. Богачев Н.Ю. Основы параллельного программирования. — М.: Бином, 2003.
9. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005.

МЕТОД ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ БЕСПРОВОДНОЙ СТАЦИОНАРНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С АВТОНОМНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ

*Л.С. Восков, кандидат технических наук, профессор кафедры
вычислительных систем и сетей Московского государственного
института электроники и математики (технического университета)*

*М.М. Комаров,
аспирант кафедры вычислительных систем и сетей Московского государственного
института электроники и математики (технического университета)*

Адрес: г. Москва, ул. Стартовая, д. 33
E-mail: voskov@narod.ru; michmank@mail.ru

Дано обоснование актуальности задачи энергетической балансировки беспроводной стационарной сенсорной сети, приведена модель стационарной БСС с автономными источниками питания, учитывающая влияние внешних факторов. Предложен метод энергетической балансировки беспроводной стационарной сенсорной сети с автономными источниками питания. Приведены экспериментальные данные, подтверждающие повышение эффективности функционирования стационарной БСС с автономными источниками питания за счет применения разработанного метода.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, энергетическая балансировка, автономные сети, стационарные сети.

Введение

Беспроводная сенсорная сеть (БСС) – класс беспроводных систем, предоставляющих собой распределённую, самоорганизующуюся и устойчивую к отказу отдельных элементов сеть миниатюрных электронных устройств с автономным источником питания. Узлы такой сети ретранслируют сообщения по цепи, обеспечивая значительную площадь покрытия системы при малой мощности.

Качество обслуживания в беспроводных сенсорных сетях (QoS) основывается на специфике технологии беспроводных сенсорных сетей.[1,2]

Базовым стандартом для беспроводных сенсорных сетей на сегодняшний день служит IEEE 802.15.4 (ZigBee).

В то время как множество исследований проведены на тему некоторых важных аспектов беспроводных сенсорных сетей, таких как архитектура или проектирование протокола, сохранение энергии и позиционирование, поддержка качества предоставления услуг в беспроводных сенсорных сетях является до сих пор огромным неисследованным полем для деятельности. Это связано с тем, что беспроводные сенсорные сети очень от-

личаются от традиционных сетей. До сих пор не совсем понятно как правильно описать услуги в беспроводных сенсорных сетях тем более для того, чтобы разработать подходы для поддержки качества предоставления услуг.

Так как беспроводные сенсорные сети взаимодействуют с окружающей средой, их характеристики могут очень сильно отличаться от характеристик других обычных информационных сетей. Таким образом, их характеристики порождают новые проблемы [1,2,3]. Проблема энергетической балансировки означает, что для достижения долгого времени жизни сети энергия должна быть равномерно распределена между всеми сенсорными узлами так, чтобы энергия одного узла или группы узлов не закончилась довольно быстро. Поддержка качества предоставляемых услуг должна учитывать этот фактор.

Энергопотребление является одним из важных показателей беспроводной сенсорной сети [4,5,6,7]. Нужно отметить, что в рамках поддержки качества предлагаемых услуг в беспроводной сенсорной сети, как уже было рассмотрено ранее, одной из проблем называется проблема энергетической балансировки сети. Энергетическая балансировка позволяет обеспечить гарантированное время автономной работы узлов сети. Для решения задачи энергетической балансировки требуется разработать метод энергетической балансировки беспроводной стационарной сенсорной сети с автономными источниками питания, что позволит повысить эффективность работы беспроводной стационарной сенсорной сети с автономными источниками питания за счет увеличения времени автономной работы и уменьшения энергопотребления узлов сети.

Предлагаемый метод энергетической балансировки основывается на разработанной модели беспроводной стационарной сенсорной сети с автономными источниками питания, учитывающей влияние внешних факторов.

**Модель беспроводной
стационарной сенсорной сети
с автономными источниками питания**

В структуре сети с единой зоной покрытия узлами сбора данных (рис. 1) имеются M беспроводных узлов сбора данных (маршрутизаторов) с автономными источниками питания с емкостью батареи C . Они находятся в одной точке и имеют

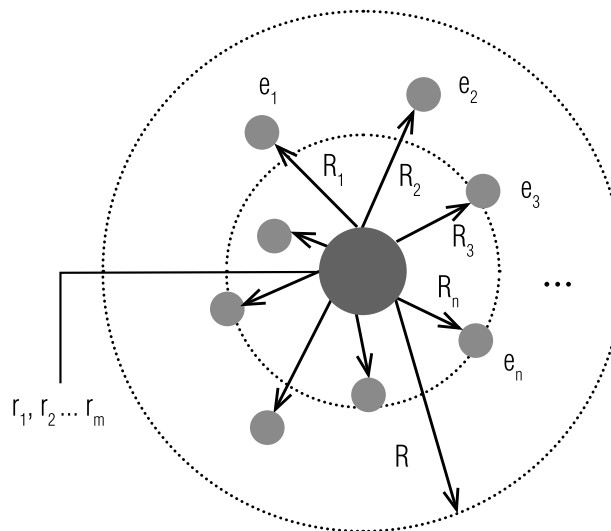


Рис. 1. Структура сети с единой зоной покрытия.

одинаковую зону покрытия R_m , максимальную мощность приемника P_{rx} и передатчика P_{tx} . Узлы подключены к центральному устройству сети проводной шиной. Энергопотребление на передачу данных на центральное устройство сети по проводной шине не учитываем.

В зону покрытия устройствами сбора данных случайным образом установлены n типов оконечных узлов на различных расстояниях r_1, \dots, r_n . Энергопотребление каждого оконечного узла e_1, e_2, \dots, e_n , количество устройств различных типов, соответственно b_1, b_2, \dots, b_n . Каждое из оконечных устройств имеет известный регулярный информационный поток, соответствующий заданному энергопотреблению, с определенной интенсивностью заявок от оконечных устройств. Максимальная мощность приемника и передатчика совпадает с мощностями устройства сбора данных – P_{rx}, P_{tx} . Каждое оконечное устройство может один раз подключиться к тому или иному устройству сбора данных.

Функциональным отказом сети мы будем считать выход из строя хотя бы одного устройства сбора данных.

Требуется так распределить оконечные узлы по устройствам (узлам) сбора данных, чтобы моменты времени выхода из строя всех узлов сбора данных за счет исчерпания энергии автономных источников питания совпадали в максимальной степени. Такой процесс распределения оконечных устройств по устройствам сбора данных назовем энергетической балансировкой сети.

Для корректности приводимых ниже рассуждений и выкладок учтем, что потребляемая некоторым устройством от автономных источников питания с постоянным напряжением $U=const$ за время T энергия ε пропорциональна развиваемой источником мощности P и потребляемым устройством током e , т.е.

$$\varepsilon = PT = eUT = EU,$$

где величина E имеет размерность (Ачас) и при постоянном U может характеризовать энергопотреблением устройства. Этот показатель и будем использовать в дальнейшем. А интервал времени T пропорционален объёму передаваемых данных $V=V_s+V_{ack}$ (бит), при скорости передачи данных $B = const$ (бит/с), где V_s – объем передаваемых данных (бит), V_{ack} –объем данных подтверждения (бит).

Запишем энергопотребление i -го устройства сбора данных (e_i) за 1 цикл передачи данных за интервал времени T (1) и определим потребляемую устройством сбора данных энергию при передаче и приеме данных (E_i) (2):

$$e_i = e_{txj} + e_{rxj},$$

$$E_i = \sum_{j=1}^n (x_{ij} e_{txj} \frac{V_{sj}}{B} + x_{ij} e_{rxj} \frac{V_{ackj}}{B}), i = \overline{1, m} \quad (1)$$

$$x_{ij} \geq 0;$$

$$E_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} \frac{1}{U} (P_{txj} \frac{V_{sj}}{B} + k_{ij} \cdot P_{rxj} \frac{V_{ackj}}{B}), E_i = E \quad (2)$$

Здесь

x_{ij} – количество узлов j -го типа, подключенных или не подключенный к i -му устройству сбора данных;

e_i – энергопотребление i -го устройства сбора данных;

e_{txj} – потребляемая энергия при приеме данных i -м устройством сбора данных от j -го оконечного узла;

V_{sj} – объем данных от j -го узла, которые необходимо принять i -му устройству сбора данных;

e_{rxj} – потребляемая энергия при передаче подтверждения i -м устройством сбора данных на j -й оконечный узел;

V_{acki} – объем данных подтверждения от i -го устройства сбора данных, переданных на j -й оконечный узел;

U – напряжение на аккумуляторной батарее устройства сбора данных;

B – скорость обмена данными по радиоканалу;
 P_{txi} – максимальная потребляемая мощность при приеме i -м устройством сбора данных равна максимальной потребляемая мощности от источника питания при передаче j -м оконечным узлом);

P_{rxj} – максимальная потребляемая мощность при передаче i -м устройством сбора данных равна максимальной потребляемой мощности при приеме j -м оконечным узлом);

k_{ij} – коэффициент энергетического состояния канала передачи данных от i -го устройства сбора данных к j -му оконечному узлу.

При рассмотрении передачи подтверждения от i -го устройства сбора данных можно уменьшить мощность сигнала передаваемого на приемник j -го оконечного узла, с учетом состояния канала (энергетического состояния канала передачи данных от i -го устройства сбора данных к j -му оконечному узлу), что и учитывает коэффициент энергетического состояния канала передачи k_{ij} . Данный коэффициент показывает, с какой потребляемой мощностью от источника питания (или на какой излучаемой мощности) можно вести передачу подтверждения от i -го устройства сбора данных, что позволит, в случае уменьшения потребляемой мощности от источника питания при уменьшении излучаемой мощности, сохранить энергию батареи и увеличить продолжительность функционирования устройства.

Метод энергетической балансировки беспроводной стационарной сенсорной сети с автономными источниками питания

Метод энергетической балансировки состоит в распределении нагрузки на устройства сбора данных таким образом, чтобы обеспечить гарантированное время автономной работы устройств сбора данных и, тем самым, всей сети в целом. При распределении нагрузки, мы подключаем оконечные узлы к устройствам сбора данных (ретрансляторам) определенным образом.

Пусть в системе сбора данных необходимо передать трафик от оконечных устройств n типов через m ретрансляторов. Канал связи между различными типами устройств и ретрансляторами с точки зрения энергетики характеризуется собственным значением коэффициента энергетического состояния канала k_{ij} , где $i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n$.

Ретрансляторы r_1, r_2, \dots, r_m передают информацию последовательно через определенные промежутки времени. Последовательность передачи определяется условием предшествования: $r_1 \prec r_2 \prec r_3 \prec \dots \prec r_m$, т.е. ретранслятор r_2 передаст информацию только после того, как информацию передал ретранслятор r_1 , ретранслятор r_3 передаст информацию только после того, как информацию передаст ретранслятор r_2 и т.д.

Требуется так распределить оконечные устройства n -типов между m ретрансляторами, чтобы:

- ◆ соблюдалось условие предшествования;
- ◆ энергопотребление i -ого ретранслятора не превышало E ;
- ◆ энергопотребление E было минимальным.

При выполнении этих условий общее энергопотребление сети не будет превышать $m * E$.

Обозначим через x_{ij} неизвестные величины, принимающие натуральные значения $0, 1, 2, \dots$ и будем считать, что к i -ому ретранслятору подключены x_{ij} оконечных устройств j -ого типа. При $x_{ij} = 0$, к i -ому ретранслятору оконечные устройства j -ого типа не подключены.

Все оконечные устройства обязательно должны быть подключены к ретрансляторам, поэтому

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \text{ где } j = 1, 2, \dots, n.$$

Суммы вида

$$\sum_{j=1}^n e_j x_{ij}, \text{ где } i = 1, 2, \dots, m$$

численно равны суммарному энергопотреблению оконечных устройств всех типов, подключенных к i -ому ретранслятору. На эти суммы накладываются ограничения:

$$\sum_{j=1}^n e_j x_{ij} \leq E, \text{ где } i = 1, 2, \dots, m.$$

Из отношения предшествования, если j -й ретранслятор передает данные раньше k -ого ретранслятора, $j \prec k$ следует, что

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} = 0, \text{ при } b_j - \sum_{i=1}^m x_{ij} > 0$$

для всех j и k , для которых $j \prec k$, где $j = 1, 2, \dots, k-1$

Т.е. к k -ому ретранслятору оконечные устройства не подключаются только в том случае, если они уже подключены к j -ому ретранслятору.

Учитывая все ограничения, можно сделать следу-

ющую постановку задачи в терминах целочисленного линейного программирования.

Минимизировать

$$L = E - \sum_{i=1}^n e_j x_{ij} \text{ при ограничениях:}$$

$$E - \sum_{i=1}^n e_j x_{ij} \geq 0, \text{ где } i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \text{ где } j = 1, 2, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 0, \text{ при } b_j - \sum_{i=1}^m x_{ij} > 0$$

для всех j и k , для которых $j \prec k$, где $j = 1, 2, \dots, k-1$, $x_{ij} \geq 0; e_j \geq 0; b_j \geq 0$, где $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$, x_{ij}, b_j, e_j – целые, где $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$.

Задача является NP полной, решается методом ветвей и границ с предлагаемыми нами эвристиками направленного перебора, которые позволяют решать практические задачи за допустимое время. Решением задачи являются наборы оконечных узлов, подключаемых к каждому ретранслятору.

Следующим этапом метода энергетической балансировки является учет влияния внешних факторов на передачу подтверждения от устройства сбора данных до оконечного узла. Предлагается определять и учитывать расстояние между оконечным узлом и узлом сбора данных и регулировать мощность передачи подтверждения в зависимости от расстояния. С использованием механизма позиционирования вычисляются расстояния от устройства сбора данных до каждого оконечного узла и, для заданного набора оконечных узлов регулируется мощность приемопередатчика при передаче подтверждения о приеме данных от оконечного узла устройством сбора данных.

Подобный подход использования механизма позиционирования как метода энергосбережения позволяет уменьшить общее энергопотребление устройства сбора данных и тем самым увеличить время его работы.

В качестве механизма позиционирования предлагается использовать «фингерпринтинг» с весовыми функциями [9, 10, 11]. Основная идея заключается в использовании уровня принятого сигнала как основного параметра местоположения.

Метод состоит из двух этапов. Первый этап – предварительное построение карты «фингерпринтинга» (карты помещения), запись набора полученных уровней сигналов от стационарных

узлов для каждой отдельной позиции в помещении. Вторым этапом – этап позиционирования заключается в сравнении получаемых данных уровней сигналов с данными, которые хранятся в базе данных и определение позиции с наименьшим отклонением.

Для этапа позиционирования в классическом методе «фингерпринтинга» используется алгоритм сравнения с ближайшим соседом. Основная идея данного алгоритма заключается в определении минимального расстояния между измеренными значениями расстояний и записанными в базу данных. Минимальное расстояние вычисляется следующим образом (3):

$$D_i = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N |r_i - dbr_i|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (3)$$

где N – число узлов, r_i – полученный уровень сигнала дБ, dbr_i – уровень сигнала в базе данных. Значение p равно 2 и при этом расстояние называется расстоянием Евклида [11]. После проведения расчетов, выбирается набор с минимальным расстоянием. Данная позиция считается искомым местонахождением узла. Поскольку уровень сигнала может быть подвержен влиянию внешних факторов (помех и т.д.), то алгоритм позиционирования классического метода «фингерпринтинга» может выдавать неверные результаты.

В предлагаемом методе «фингерпринтинга» с весовыми функциями используется алгоритм с весовыми функциями для ближайших соседей. Это означает, что если мы знаем, что данные от одного из узлов являются надежными, т.е. не подвержены влиянию внешних факторов, то мы вычисляем расстояние между мобильным узлом и стационарным узлом (узлом, чья позиция известна) согласно следующему выражению (4):

$$d = \sum_{i=1}^k w_i d_i \quad (4)$$

где w_i – это весовая функция узла i , d_i – это рассчитанное расстояние от узла i .

Весовая функция w_i определяется согласно выражению (5):

$$w_i = \frac{1/d_i}{\sum_{i=1}^k 1/d_i} \quad (5)$$

где d_i – это расстояние до точки i карты «фингерпринтинга», k – общее число точек на карте «фингерпринтинга».

Для того, чтобы сделать данные более точными используется медианная фильтрация с использованием доверительных вероятностей полученным значениям (6):

$$RSS = RSS_i \cdot P_{cur} + RSS_k \cdot P_{prev} \quad (6)$$

где RSS_i – текущее значение уровня сигнала (дБ), P_{cur} – доверительная вероятность полученного значения уровня сигнала, RSS_k – предыдущее значение уровня сигнала (дБ), P_{prev} – доверительная вероятность предыдущего значения уровня сигнала.

Заключение

В рамках экспериментальной реализации метода, мы получили следующие результаты (табл. 1).

Таблица 1.

Результаты экспериментального исследования

Показатель	Значение «До»	Значение «После»
Мощность приемопередатчика	10 мВт	3 мВт
Энергопотребление при передаче подтверждения о приеме данных	0,927 мА	0,278 мА
Среднее потребление тока при отправке данных	14,19 мА	13,54 мА
Общий объем энергии, затрачиваемый на передачу подтверждения о приеме данных	521,48 мА	515,46 мА
Время автономной работы	36 часов 31 минута	37 часов 5 минут

Проведенные экспериментальные данные подтверждают повышение эффективности функционирования беспроводной стационарной сенсорной сети с автономными источниками питания за счет применения разработанного метода. Так, из таблицы видно, что после применения метода, мы сможем сэкономить 20,8% (10,85 мА) от общей затрачиваемой энергии на передачу подтверждения о приеме данных от оконечных узлов в рамках проведенного эксперимента (что эквивалентно 10,85 мА) и увеличить время автономной работы датчика на 34 минуты (на 1,5%).

Предлагаемый метод энергетической балансировки так же позволяет учитывать другие внешние факторы: приоритетность передаваемого трафика и помехообстановку [12,13]. Комплексный учет влияния всех предлагаемых внешних факторов является задачей будущих исследований. ■

Литература:

1. Chen D., Varshney P. K. QoS Support in Wireless Sensor Networks: A Survey. In Proc. of the 2004 International Conference on Wireless Networks (ICWN 2004), Las Vegas, Nevada, USA (June 2004).
2. Holger K. Quality of service in wireless sensor networks: mechanisms for a new concept. ESF Exploratory Workshop on Wireless Sensor Networks, ETH Zurich, April 1-2, 2004.
3. Восков Л.С., Цыганов С.В. Повышение качества обслуживания в интеллектуальной публичной беспроводной гетерогенной сети // «Качество. Инновации. Образование», №5-2010. М. : Европейский центр по качеству, 2010.
4. Вишневецкий В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. «Широкополосные беспроводные сети передачи информации». Москва: Техносфера, 2005
5. «Sensor Networks» / Thomas Haenselmann, 5th April 2006.
6. Descleves C. Understanding ZigBee transmission [Электронный ресурс] // RF Design Magazine. – March, 2006. URL: <http://rfdesign.com> (дата обращения 03.2011)
7. Семенов Ю.А. Беспроводные сети ZigBee и IEEE 802.15.4 [Электронный ресурс]. URL: <http://book.itер.ru/4/41/zigbee.htm> (дата обращения 03.2011)
8. «Sensor Networks» / Thomas Haenselmann, 5th April 2006.
9. Lionel M. NI and Yunhao, Liu Yiu Cho Lau and Abhishek P. Patil; LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID, Wireless Networks 10, 701-710, 2004.
10. Krishnakumar A.S, Krishnan P. Theory and Practice of Signal Strength-Based Localization in Indoor Environments, Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks, Chapter X, Information Science Reference, Hershey, 2009.
11. Lloret J., Tomas J., Garcia M., Canovas A. A hybrid stochastic approach for self-location of wireless sensors in indoor environments. Sensors 9, 3695–3712, 2009.
12. Mansouri M., Rahim-Amoud R., Richard C. Factors that may influence the performance of wireless sensor networks. Smart wireless sensor networks, Chapter 2, 29-48, Intech, 2010.
13. Восков Л.С., Цыганов С.В. Проблема взаимного влияния беспроводных сетей связи в системах автоматизации промышленных предприятия и способ ее решения // «Датчики и системы», №8.2010. – М. : ООО «СенСиДат-Контрол», 2010. - С. 46-51.

◆

THE CYBERNETIC APPROACH TO COMPANIES INFORMATION RESOURCES MANAGEMENT

V. Abrosimov

Annotation

In article is viewing to use a method of analogies for construction of information resources control system of the organization. The principles of the classical theory of controlling are used as analog. Concepts «object», «controls», «program» of control, «feedback», operating «signals» and «influences» for information resources of the organizations are offered. Problems and functions of information resources control system of organizations are also described.

Key words: information resources, control, efficiency, monitoring, optimization.

MULTIVARIATE ABC-CLASSIFICATION. CRITERIA OF QUALITY AND INITIAL ALGORITHMS

V. Belov, J. Koritchneva

Annotation

The initial algorithms of multivariate ABC-classification intended for the decision of a problem of reduction of information space of management by commodity-material resources of business entity are offered.

Key words: ABC-classification, scalar classification, multivariate classification, criteria of quality, initial algorithms.

◆

BI-CRITERIA MODELS AND PARETO-OPTIMAL STRATEGIES SYNTHESIS ALGORITHMS OF LINEAR-DISTRIBUTED OBJECTS GROUP

N. Dunichkina

Annotation

The single-stage servicing model of the stationary objects group which located along one-dimensional working zone is considered. The servicing is realized by two processors moving in the working zone in the same direction. Two individual penalties are associated with every object. Every penalty is a monotonically increasing function of the servicing completion time. Complete Pareto-set synthesis problems of optimal strategies are considered. The solving recurrent formulas of dynamic programming approach are worked out, the implementation algorithms and servicing strategies generation methods are described.

Key words: scheduling theory, dynamic programming, pareto-optimality, NP-complexity.

◆

MULTIPLE DECISION PROCEDURES FOR THE ANALYSIS OF HIGHER SCHOOL ENTRY SELECTION RESULTS

A. Koldanov, P. Koldanov

Annotation

Problem of multiple comparisons of several populations on small samples and specificity of the method of it solution are analyzed. It is proposed to extend a classical method for constructing statistical tests by the use of information preprocessing. Examples of the application of the proposed method are given.

Key words: multiple decision statistical procedures, generating hypotheses, homogeneity groups, unbiased tests of pair wise comparisons.

◆

ALGORITHMS FOR A RECOMMENDER SYSTEM: LENKOR TECHNOLOGY

D'yakonov A. G.

Annotation

This paper presents the algorithms which ranked 1st in the ECML/PKDD 2011 discovery challenge (VideoLectures.Net Recommender System Challenge) focused on recommendation tasks for VideoLectures.net website. The challenge included two tasks. In the first task participants had to recommend new lectures (for which complete descriptions were only available, but there was no statistical information on popularity) to new users (who had watched only one lecture). In the second task there was statistical information presented in non-classical aggregated format.

Key words: recommender systems, estimations of popularity, LENKOR technology for problem solving, content-based methods, data mining, lecture recommendation.

◆

IT IMPACT ON THE FIRM PRODUCTIVITY IN RUSSIA: METHODOLOGY OF EMPIRICAL INVESTIGATION

K. Zimin, A. Markin, K. Skripkin

Annotation

The paper considers methodology of information technology productivity effects in Russian business empirical investigation. It focuses on two problems: factors, determining IT-budget of a Russian firm, and the impact of IT investment on the productivity of the latter. Answer to the first question is based on a regression analysis of Russian firms IT budgets, to the second question – on a production functions, using IT capital as a parameter. Data sources for such an investigation are also considered.

Key words: information technology, factor productivity, production function, IT efficiency.

◆

POTENTIAL PROFITABILITY OF INFORMATIONAL OBJECTS

R. Budnik

Annotation

In this work the potential profitability is considered as additional criteria for classification of informational objects. It is discovered that potential profitability of the one part of information objects grows along with increase of its prevalence and drop for another part. In the article is revealed a regulatory gap of actual legislation for effective use of information objects with growing profitability along with its prevalence increase. It is offered to bridge the gap with the legal method of access encouragement for the specific class of information objects added into intellectual property law.

Key words: profitability of informational objects, access encouragement method, intellectual property law.

◆

**PRODUCTION RULE SYSTEM
FOR THE CHOICE OF SOFTWARE PRODUCTS
OF SYSTEM «1C:ENTERPRISE 8»**

T. Adueva, A. Akhaev, I. Khodashinsky

Annotation

In this article the approach to classification of software products of system «1C:Enterprise 8» is described. Production rule system for the choice of these programs is developed on the basis of the offered classification. The approach to formation of working memory is described. Knowledge base description language developed for this system is presented. On the basis of the received results the prototype production rule systems is realized.

Key words: production rule system, classification software products of system «1C:Enterprise 8», working memory, knowledge base, knowledge base description language.

◆

**METHODS OF CONSTRUCTION HIGH
PERFORMANCE COMPUTING
ENVIRONMENT PROCESS
CONTROL SYSTEMS**

A. Ostroverh, A. Tsyrvkov, A. Krishtop, G. Tsyrvkov

Annotation

In the paper an integrated solution for establishing a high-performance computing environment for production control of complex technical products is considered. The requirements to the solutions, and methods for production improvement are proposed.

Key words: cross-functional organizational structure, technical and economic forecasting, intelligent communications medium, invariant information model, parallel computing processes.

◆

**METHOD OF ENERGY BALANCING
IN A STATIC WIRELESS SENSOR NETWORKS
WITH AUTONOMOUS ENERGY SOURCES**

L. Voskov, M. Komarov

Annotation

In this work it was explained why the energy balancing in a static wireless sensor networks with autonomous energy sources is actual nowadays. We presented mathematical model of static wireless sensor network which considers external influence. We presented method of energy balancing in a static wireless sensor networks with autonomous energy sources and experimental results which show increasing work efficiency of static WSN with autonomous energy sources by increasing nodes lifetime and decreasing nodes energy consumption.

Key words: wireless sensor networks, energy balancing, autonomous network, stationary network.

**ЖУРНАЛ «БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА»
ОСУЩЕСТВЛЯЕТ РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМНЫХ
И РЕКЛАМНО-ИНФОРМАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Расценки:

Обложка: 2, 3, 4 страница обложки, полноцветная печать, полоса 210×290 мм (A4) – 40 тыс. руб.

Текстовый блок, чёрно-белая печать:

- ◆ полоса – 20 тыс. руб.;
- ◆ 1/2 полосы – 15 тыс. руб.;
- ◆ 1/4 полосы – 10 тыс. руб.;
- ◆ меньший объём – 7 тыс. руб.

Вставка (4 полосы, полноцветная печать – 60 тыс. руб.).

Рекламно-информационный блок (8 полос, полноцветная печать) – 80 тыс. руб.

Рекламно-информационный блок (16 полос, полноцветная печать) – 90 тыс. руб.

Корпоративный специальный выпуск –
по договоренности.

Материалы принимаются с учётом следующих параметров:

- ◆ дообрезной формат – 215×300 мм;
- ◆ обрезной формат – 210×290 мм;
- ◆ поле набора полосной рекламы – 190×270 мм – с отступом от границ обрезного формата по 10 мм с каждой стороны;
- ◆ файл TIF, EPS, PDF – разрешение не менее 300 dpi.

Тематические рубрики журнала
«БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА»

№	Рубрика
1	Математические модели социальных и экономических систем
2	Программная инженерия
3	Анализ данных и интеллектуальные системы
4	Математические методы и алгоритмы решения задач бизнес-информатики
5	Моделирование и анализ бизнес-процессов
6	Информационные системы и технологии в бизнесе
7	Электронный бизнес
8	Интернет-технологии
Дополнительные рубрики вне номенклатуры	
9	Тематические обзоры
10	Правовые вопросы бизнес-информатики
11	Стандартизация, сертификация, качество, инновации
12	Дискуссионный клуб / Опыт бизнеса

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Редакция просит авторов при оформлении статей и тематических обзоров придерживаться следующих правил и рекомендаций:

1. Предоставляемый авторами материал должен соответствовать рекомендуемой структуре статей журнала.

2. Статья направляется в редакцию в электронном виде (в формате MS WORD версия 2003) и в виде бумажной копии, распечатанной на одной стороне листов А4. Первая страница оригинала подписывается всеми авторами статьи.

3. Ориентировочный объём статьи, предлагаемой к публикации, – 20–25 тыс. знаков (с пробелами) или 30–35 тыс. знаков – для обзорных статей по направлениям.

4. Кегль набора – 12 пунктов с полуторным интервалом. Нумерация страниц – сверху по центру. Поля: левое – 2,5 см, верхнее, нижнее и правое – по 1,5 см.

5. При наборе выключных и строчных формул должен быть использован редактор формул MS Equation. В формульных и символических записях греческие (русские) символы, а также математические функции записываются прямыми шрифтами, переменные аргументы функций в виде английских (латинских) букв записываются наклонным начертанием (курсивом), например, « $\cos a$ », « $\sin b$ », « \min », « \max ».

6. Формулы, таблицы и сноски (не концевые) оформляются стандартными средствами редактора MS WORD. Нумерация формул, рисунков и таблиц – сквозная, по желанию авторов допускается двойная нумерация формул с указанием структурного номера раздела статьи и – через точку – номера формулы в разделе.

7. Рисунки (графики, диаграммы и т.п.) оформляются средствами Word, Excel, Illustrator. Ссылки на рисунки в тексте обязательны и должны предшествовать позиции размещения рисунка. Допускается использование графического векторного файла в формате wmf/emf или cdr v.10. Фотографические материалы представляются в формате TIF или JPEG с разрешением не менее 300 dpi.

8. Библиографический список составляется в соответствии с требованиями ГОСТ. Нумерация библиографических источников – в порядке цитирования. Ссылки на иностранную литературу – на языке оригинала без сокращений.

Структура статей строится по правилам, рекомендованным журналом «Бизнес-информатика».

**Плата с аспирантов
за публикацию рукописей не взимается.**

Журнал «БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА»
Рекомендуемая структура статей

Журнал публикует исследовательские научные статьи, размещаемые в рубриках журнала, тематические обзоры, отражающие современное состояние проблем в области бизнес-информатики и сообщения, размещаемые в рубриках «Дискуссионный клуб» и «Опыт бизнеса».

Титульный лист рукописи начинается с указания Ф.И.О. авторов публикации с обязательным указанием учёной степени, учёного звания, должности, основного места работы и e-mail. Титульный лист должен быть подписан всеми авторами статьи.

**I. Исследовательские научные статьи
(для размещения в тематических рубриках)**

Редколлегия рекомендует авторам после названия статьи приводить **аннотацию**, в которой излагается краткое содержание статьи, её основные результаты и область применения. Авторам рекомендуется структурировать статью, выделяя **введение**, содержащее описание проблемы или задачи, обзор существующих подходов или методов решения, их недостатки, и основную цель статьи; **постановку задачи**, включающую допущения и ограничения; **содержательную часть** статьи, в которой предлагаемые решения должны быть аргументированы и сравниваться с существующими подходами или решениями; **заключение**, содержащее краткое изложение новых результатов, полученных в статье и область их применения; **библиографический список**, оформленный в соответствии с ГОСТ. Текст статьи должен содержать нумерованные ссылки на все указанные библиографические источники. Структурирование статьи и нумерация её разделов проводится по усмотрению авторов.

Возможный вариант структуры статьи:

- ◆ Ф.И.О.;
- ◆ учёная степень, учёное звание, должность, основное место работы, e-mail;
- ◆ название статьи.
- ◆ аннотация;
- ◆ 1. Введение.
- ◆ 2. Постановка задачи.
- ◆ 3. Основная содержательная часть статьи.
- ◆ 4. Экспериментальные результаты (опционально).
- ◆ 5. Заключение.
- ◆ 6. Библиографический список.

II. Тематические обзоры по направлениям

Редколлегия рекомендует авторам структурировать обзор, выделяя аннотацию, содержащую тематику, краткое содержание обзора и область применения; **введение**, в котором даётся краткий исторический обзор тематики; **содержательную часть** обзора с критическим анализом существующих направлений; **заключение**, в котором отражаются перспективы развития в рамках обзора тематики и наиболее интересные направления с точки зрения научных и практических разработок и методов; **библиографический список**, оформленный в соответствии с ГОСТ.

Текст обзора должен содержать нумерованные ссылки на все указанные библиографические источники. Структурирование обзора и нумерация его разделов проводится по усмотрению авторов.

Возможный вариант структуры обзора:

- ◆ Ф.И.О.;
- ◆ учёная степень, учёное звание, должность, основное место работы, e-mail;
- ◆ название обзора;
- ◆ аннотация;
- ◆ 1. Введение.
- ◆ 2. Основная содержательная часть обзора.
- ◆ 3. Заключение.
- ◆ 4. Библиографический список.

Редколлегия журнала проводит обязательное рецензирование рукописей. Статья принимается к публикации только после получения положительного заключения рецензента и одобрения на заседании редакционной коллегии журнала.