

# Информационные и математические модели в управлении крупным научно-образовательным учреждением

О. А. Граничина  
olga\_granichina@mail.ru

С. Н. Комаров  
stas@eye.spbu.ru

Д. С. Федин  
DmitryFedin@rambler.ru

В работе рассматриваются возможные подходы к построению информационной и математической моделей организации контроля учебного процесса в вузе. Вначале дается определение цикла управления вузом и формулируются основные задачи. Для основы принятия управленческих решений обсуждаются проблемы выбора математической модели организации контроля учебного процесса. Анализируется сложность задачи оценки качества учебного процесса, которая трудноразрешима стандартными методами. Далее предлагается и обосновывается концепция интегрированно-распределенного информационного пространства вуза и формулируются основные проблемы, которые необходимо преодолеть при реализации. Приведен пример реализации такой системы.

## Введение

В научно-образовательных учреждениях, к которым можно отнести вузы, повседневная деятельность руководителей, сотрудников, преподавателей по организации учебного процесса и управлению им сопряжена с необходимостью решения большого числа тесно взаимосвязанных задач. В высших учебных заведениях к таким

---

© О. А. Граничина, С. Н. Комаров, Д. С. Федин, 2005

задачам относятся обслуживание приемной кампании, учет контингента студентов, отслеживание выполнения студентами учебной программы и мониторинг успеваемости, начисление стипендии, учет данных об оплате обучения, формирование учебных планов в соответствии с государственными стандартами, расчет учебной нагрузки и пр.

Управление — это циклически повторяющийся процесс воздействия органа управления на управляемый объект, в котором последовательно, в реальном масштабе времени, на основании обработки исходной информации и оценки обстановки вырабатываются план достижения цели и меры для его реализации. Осуществляются передача воздействий и контроль их исполнения, производится корректировка плана в зависимости от изменения условий обстановки, вырабатываются и передаются новые воздействия, выбранные из множества возможных альтернативных вариантов, обеспечивающих достижение конкретной конечной цели при оптимальных затратах ресурсов [4].

Цикл управления состоит из следующих этапов:

- оценки обстановки,
- выработки плана (замысла управления),
- принятия решения,
- доведения решения до управляемых элементов.

На этапе оценки обстановки необходимо произвести обработку и анализ информации. Конечной целью анализа является определение момента выработки управляющего воздействия. Чем больше объем информации, тем точнее можно определить критичное время.

На этапе выработки плана определяются необходимые ресурсы, способы их использования и достижимые цели (рождается замысел).

На этапе принятия решения вырабатываются гипотезы, т. е. альтернативные варианты достижения конечной цели, производятся сравнение различных альтернативных вариантов достижения цели по концептуальным критериям, т. е. критериям, формируемым на основании идеологии, знаний и личного накопленного опыта, и выбор одного из вариантов, который более других удовлетворяет концептуальным критериям.

Чтобы управляющее воздействие могло направлять поведение управляемого объекта на достижение поставленной цели, оно должно удовлетворять трем основным требованиям:

- своевременности передачи управления на управляемый объект (оперативность);
- точности определения характера действия, которое должен выполнять управляемый объект (обоснованность);
- однозначности понимания того, какое именно действие должен выполнить управляемый объект (категоричность).

ВУЗ является динамической, саморазвивающейся и адаптирующейся системой, управление в которой построено по традиционному иерархическому принципу, предполагающему относительно демократическое согласование основных решений. При выборе модели управления необходимо учитывать многие закономерности, случайные и неопределенные факторы. Эффективность деятельности вуза оценивается многими характеристиками. В частности, можно использовать методику определения рейтинга вуза и специальности. Методику можно применять и для оценки внутривузовской деятельности, но для этого необходимо, чтобы в вузе велся систематический статистический учет числовых показателей, входящих в расчетные формулы. Следовательно, необходимые данные для подсчета должны составлять обязательную минимальную часть информационных ресурсов. Совокупность статистических показателей, характеризующих потенциальные возможности и результаты деятельности вуза, не является достаточной для решения основных задач управления вузом и, следовательно, должна дополняться другими математическими моделями.

## 1. Математические модели

Точное решение любой проблемы возможно при точной постановке задачи, но связи и отношения в реально существующем мире настолько сложны и многообразны, что практически невозможно математически строго описать многие явления. Типичным подходом в теории является выбор близкой к реальным процессам математической модели и включение в нее различных *помех*, относящихся, с одной стороны, к грубости математической модели и,

с другой стороны, характеризующих неконтролируемые внешние возмущения на объект или систему. Для всех математических моделей результатом эксперимента является математический объект — число, множество чисел, кривая и т. п. С математической точки зрения значительный круг прикладных задач имеет своей целью восстановление по экспериментальным данным характеристик (параметров) объекта.

Будем считать, что текущее состояние учебного процесса определяется набором из  $d$  некоторых чисел  $x_1, x_2, \dots, x_d$ . Математически этот набор удобно представлять как вектор в  $d$ -мерном вещественном пространстве

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_d \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^d.$$

На практике размерность вектора  $X$  может оказаться очень высокой. Можно рассматривать как детализированные модели, в которых компонентами вектора  $X$  являются все характеристики учебного заведения и его структурных подразделений, сведения об основных фондах, финансировании, материальных и интеллектуальных ресурсах, персональные и учебные данные о студентах, абитуриентах, аспирантах, преподавателях, сотрудниках и т. п., так и модели, оперирующие с укрупненными данными.

Многие компоненты вектора текущего состояния  $X$  трудно (а иногда и невозможно) определить в конкретный момент времени. Например, не всегда легко количественно выразить качественный уровень подготовки того или иного студента.

Математическая модель описания подразумевает выделение (или формирование) для практического использования некоторого набора измеряемых данных

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^m,$$

значения которого предполагаются доступными наблюдателю в выбранный момент времени. Компонентами вектора  $Y$  могут являться как некоторые наблюдаемые компоненты вектора  $X$ , так и функции от одной или нескольких компонент вектора  $X$ , причем типичным является и случай, при котором значения наблюдаемых величин могут определяться не только текущими переменными состояниями, но и предшествующими их значениями. Примерами наблюдаемых величин могут быть текущие оценки определенного студента, или средний балл по группе, или средний балл студента или группы за весь период обучения. Обычно размерность  $m$  вектора наблюдений существенно меньше  $d$ , если рассматривается детализированная модель с высокой размерностью пространства состояний.

Естественное требование к информационной системе — вести, как минимум, учет и контроль набора измеряемых данных  $Y$ .

Для текущего момента времени  $t$  обозначим  $X_t(\cdot)$  траекторию в пространстве состояний рассматриваемой системы от некоторого начального состояния  $X_0$  до текущего  $X_t$ ,  $Y_t$  — текущее состояние вектора наблюдений. Как правило, на формирование значений вектора наблюдений могут оказывать влияние не только значения вектора состояний системы вдоль траектории, но и различные неизвестные внешние возмущающие факторы, совокупность которых обозначим  $W_t$ . Математически можем записать формулу для вектора текущих наблюдений

$$Y_t = G_t(X_t(\cdot), W_t),$$

в которой  $G_t(\cdot, \cdot)$  — некоторая функция от траектории и неизвестных возмущающих факторов, может быть, зависящая еще и от времени.

Задача о восстановлении (оценивании) всего вектора состояния  $X_t$  или его части по наблюдениям  $Y_t(\cdot)$  является классической задачей фильтрации [6]. В статической постановке (без введения изменяющегося времени  $t$ ) — это типичная задача регрессионного анализа. В математической литературе эти задачи хорошо изучены (см., например, обзор в [3]). Правда, в литературе либо вообще не рассматривается возможность включения в модель неконтролируемых возмущений  $W$ , либо предполагается их «малость» и незначительность, в стохастической постановке задачи их обычно считают либо ограниченными, либо случайными величинами с известными статистическими свойствами. Все эти предположения справедливы

при достаточно точном соответствии модели реальному процессу, и теория прежде всего развивалась для технических систем или описания природных явлений. Для информационных моделей, описывающих сложные процессы, определяемые поведением групп людей, математические результаты ставших уже классическими теорий часто не дают хороших ответов. Типичным явлением в поведении людей оказывается непредсказуемость, отказ следованию общей схеме, заранее проложенному маршруту. Например, при оценке качества учебного процесса важным показателем является итоговая оценка по группе студентов, полученная по тому или иному курсу. Но каждый из преподавателей склонен к субъективизму. Это обстоятельство может привести к общему завышению или занижению оценки. Необходимой для статистических выводов повторяемости эксперимента достигнуть сложно, так как в следующий раз курс будет читаться другой группе студентов через год и, может быть, другим преподавателем. Приведенный пример показывает необходимость разработки аналитических методов, не опирающихся на строгие ограничения модели и неконтролируемых возмущений. В работе [8] более подробно изложен подход использования рандомизированных алгоритмов для решения конкретной задачи — выбора цены за курс обучения.

В следующем разделе дается краткий обзор основных статистических критериев, на которые обычно опираются методы обработки наблюдаемых данных и обработка которых должна быть включена в информационную управляющую систему вуза.

## **2. Статистические методы**

В настоящее время для анализа качества обучения широко используются методы математической статистики. В литературе предлагается ряд методов статистической обработки данных. При их использовании следует иметь в виду, что сама статистика не раскрывает сущности явления и не может объяснить причины возникающих различий между отдельными сторонами явления. Например, анализ результатов проведенного исследования показал, что используемый метод обучения дал более высокие результаты по сравнению с ранее зафиксированными. Однако данные вычисления не могут дать ответ на вопрос, почему новый метод лучше прежнего.

Статистические методы в образовании используются лишь для

количественной характеристики явлений. Для того, чтобы сделать выводы и заключения, необходим качественный анализ. Таким образом, в образовательных исследованиях методы математической статистики следует использовать осторожно, учитывая особенности явлений в этой области.

Так, большинство числовых характеристик в математической статистике применяются в том случае, когда изучаемое свойство или явление имеет нормальное распределение, которое характеризуется симметричным расположением значений элементов совокупности относительно средней величины. К сожалению, в виду недостаточной изученности явлений в образовании, законы распределения по отношению к ним, как правило, неизвестны. Далее, для оценки результатов исследования часто берут ранговые величины, которые не являются результатами количественных измерений. Поэтому с ними нельзя производить арифметические действия, а значит, и вычислять для них числовые характеристики.

Статистические методы обработки позволяют получить ряд числовых характеристик, позволяющих сделать прогноз развития интересующего нас процесса. Эти характеристики, в частности, позволяют сравнивать разные ряды чисел, полученные при исследованиях в образовании, и делать соответствующие выводы и рекомендации.

При статистической обработке данных наиболее часто используются следующие методы:

- описательная статистика,
- корреляционный анализ,
- факторный анализ.

Описательная статистика включает вычисление таких показателей, как статистическое среднее, медиана, выборочная дисперсия, среднеквадратичное отклонение, асимметрия, мода, эксцесс.

Корреляционный анализ показывает связь между признаками, характеризующими объект. Другие зависимости между признаками можно наблюдать на графиках регрессионного анализа.

Факторный анализ проводится с помощью двух методов: главных компонент и вращений по критерию Varimax (минимаксной вариации).

Статистический анализ дает возможность представлять данные в агрегированном виде для выработки стратегии (замысла) управления.

Воспользоваться всем многообразием математических методов возможно лишь при условии существования развитой информационной инфраструктуры — информационного пространства. В качестве примера авторы, применив математический аппарат методики определения рейтинга специальностей, утвержденной Минобрнаукой, рассчитали некоторые локальные критерии для пяти факультетов СПбГУ. Сравнение этих критериев дает возможность оценить успешность деятельности факультетов. По данным, которые были предоставлены учебно-методическим управлением, было определено (без поправочных коэффициентов), что такие критерии, как качество выпускников, выше на математико-механическом факультете, перспективность профессорско-преподавательского состава — на юридическом факультете, эффективность аспирантуры — на филологическом факультете.

### **3. Информационное пространство**

Опыт разработки, внедрения и использования автономных информационно-программных систем, решающих локальные задачи управления учебным процессом, опыт массовой обработки информации и формирования отчетов при подготовке и проведении лицензирования и аттестации ВУЗа, потребность оперативного анализа ситуации при решении задач управления, контроля качества знаний обучающихся показали, что необходим качественно новый уровень ИТ-инфраструктуры, нужна другая организация обеспечения полноты и согласованности данных. По информационным и функциональным возможностям, трудоемкости сопровождения и развития этот уровень недостижим при использовании автономных локальных программных приложений и баз данных и ранее используемых технологий [5]. Кроме того, статистика показывает, что кардинальная смена технологической базы в компьютерном мире происходит примерно раз в семь лет, но переход от одного поколения систем к другому не случается мгновенно. Поэтому зачастую в вузах одновременно функционируют системы трех-четырех поколений, основанные на MS DOS, Unix, Windows 2000 и т. п. Иногда хочется избавиться от всего этого «наследия» и иметь одну систему. При этом поступают следующим образом. Либо силами вуза пере-



писывают приложения в единой технологии, с единой базой данных (монолитный продукт), либо берут готовый продукт («полнофункциональный» программный пакет) сторонней организации, настраивая свои бизнес-процессы, либо пытаются объединить существующие приложения, дорабатывая компоненту, объединяющую приложения. Но, на сегодняшний день, да и в будущем, даже самый «полнофункциональный» программный пакет никогда не покроет всех потребностей организации. Будут появляться приложения, которые потребуются интегрировать в существующую ИТ-инфраструктуру. Поэтому создание интегрированно-распределенной системы (далее — системы) — наиболее предпочтительный вариант, позволяющий экономить уже вложенные инвестиции и наращивать функциональные возможности системы без больших затрат.

Для построения интегрированно-распределенной информационной системы необходимо решить следующие основные задачи:

- интеграция необходимой информации, касающейся различных сторон деятельности ВУЗа;
- разработка набора программных приложений для решения задач управления и контроля качества знаний, предоставления оперативной информации всем категориям обучающихся и сотрудников в соответствии с их правами;
- разработка организационных и программно-технических методов и средств, обеспечивающих эффективное функционирование системы, ее обслуживание и развитие.

### **3.1. Интеграция информации**

Интеграция информации предполагает синхронизацию данных в различных программных приложениях и ее консолидацию для последующей обработки человеком или автоматизированными системами. Зачастую следующим шагом предполагается проводить интеграцию программных приложений (Enterprise Application Integration, EAI) — процесс связывания независимо друг от друга разработанных приложений так, чтобы они работали как единое целое.

Для организаций с низким уровнем зрелости в области информационных технологий, к которым можно смело отнести учебные

заведения, этот шаг преждевременен, да и в мире 75% проектов интеграции связаны с интеграцией только на уровне данных (по данным компании Microsoft на конец 2003 г.). Как правило, корпоративная информация представлена в структурированной и неструктурированной форме, причем вторая превышает по объему первую в 3-4 раза, и задача ее консолидации зачастую крайне важна. Интеграцию данных в неструктурированной форме осуществляют системы управления корпоративным контентом и системы управления знаниями.

Интеграцию данных в структурированной форме осуществляют следующими способами [1]:

- файловый обмен,
- обмен сообщениями,
- интеграция на уровне баз данных,
- интеграция через Web-сервисы,
- интеграция вокруг центральной интегрированной системы.

Файловый обмен прост и понятен. Он является единственным способом получения информации из программных приложений (экспорт и импорт данных), не обладающих программными интерфейсами (Application Programming Interface, API) для обращения к ним извне. Однако он труднореализуем для значительного количества программных приложений, работающих в реальном режиме времени на различных платформах.

На смену файловому обмену пришло межплатформенное программное обеспечение (ПО), обеспечивающее связь между программными приложениями путем обмена сообщениями (Message-Oriented Middleware, MOM). Продукты MOM имеют простые, легкие в использовании API, позволяют строить приложения, ориентированные на события, имеют механизм гарантии доставки сообщения, берут на себя решение задач, связанных с сетью, операционными системами. Основные преимущества MOM — возможность обеспечения связанности программных приложений, целостности данных, построения единой интегрированной системы из сохраненных в неприкосновенности существующих программных приложений. Существенными недостатками являются объем и сложность работ.

Интеграция на уровне баз данных (Enterprise Information Integration, ЕИ) подразумевает построение виртуальных баз данных из разнородных источников.

Продукты ЕИ позволяют [2]:

- строить виртуальную БД, в которой содержится информация о данных, хранящихся в разных источниках и справочниках;
- производить преобразования данных из целевой базы в общий формат и обратно;
- поддерживать стандартный язык запросов SQL и транзакционность при исполнении запросов;
- производить взаимодействия с целевыми базами данных, клиентскими и серверными приложениями.

Для организаций с незначительным числом программных приложений ЕИ наиболее приемлем. Однако данный способ имеет ограничение, так как не реализует модель, ориентированную на события.

Web-сервис — это любой бизнес-процесс, или единица логической функциональности, обладающий простыми и общепринятыми подходами для описания и удаленного вызова, что позволяет представить процесс создания корпоративных систем более похожим на сборку, чем на программирование.

### **3.2. Разработка программных приложений**

Принципиальным вопросом в создании интегрированно-распределенной информационной системы является разработка программных приложений для доступа к данным и реализации бизнес-процессов управления ВУЗом.

Условно все программные приложения можно поделить на две группы:

- прикладные программные приложения со сложной логикой;
- узкоспециализированные программные приложения.

Как правило, к первым относятся приложения для автоматизации устоявшихся бизнес-процессов, которые в основном и наполня-

ют информационные ресурсы. Они работают по технологии клиент-сервер на трехуровневой архитектуре с классическим развитым интерфейсом. Для таких приложений возникает проблема своевременной синхронной замены версий на рабочих станциях клиентов, но она решается путем установки приложений с web-сервера, и как один из вариантов — копирование компонента ActiveX, полностью реализующего «тонкого» клиента с целью отображения его в браузере.

Узкоспециализированные программные приложения, построенные в виде «ультратонкого» клиента, предоставляют простой интерфейс, реализуемый браузером и не требующий использования специфики операционной системы, рабочей станции и низкоуровневых протоколов. Такие программные приложения позволяют автоматизировать одну–две бизнес-функции, как правило, для получения необходимых данных из информационных ресурсов. Такой подход обладает рядом положительных сторон, наиболее важными из которых являются:

- независимость программных приложений, облегчающая их разработку и сокращающая срок ввода в эксплуатацию;
- узкая функциональная специализированность программных приложений, избавляющая их от избыточности и упрощающая их освоение;
- относительная легкость внедрения системы и ее сопровождения.

### **3.3. Методы и средства организации эффективного функционирования информационной системы, ее обслуживание и развитие**

Наиболее перспективной является «Концепция управления ИТ-службами» (IT Service Management, ITSM) [7], которая предлагает новый взгляд на организацию функционирования ИТ-подразделений. Концепция построена на базе «эталонных» моделей и принципов, изложенных в Библиотеке передового опыта в области управления информационными технологиями (IT Infrastructure Library, ITIL). На сегодняшний день ITIL — это де-факто широко

применяемый стандарт в сфере управления информационными технологиями.

Основная идея внедрения ITSM состоит в том, чтобы ИТ-подразделения перестали быть вспомогательными элементами для основной деловой сферы вуза, ответственными только за работу отдельных серверов, сетей и приложений, «где-то и как-то» применяющихся в вузе. ИТ-подразделение становится полноправным участником основных процессов, выступая в роли поставщика определенных услуг для всех подразделений, а отношения между ними формализуются как отношения «поставщик услуг — потребитель услуг». Подразделение — конечный пользователь — формулирует свои требования к необходимому спектру информационных услуг и их качеству, руководство организации определяет объем финансирования для выполнения этих требований, а ИТ-подразделения поддерживают и развивают информационную инфраструктуру организации таким образом, чтобы она была в состоянии обеспечить требуемую услугу с заданным качеством.

Для того чтобы это стало реальным, ИТ-подразделения должны работать по-новому, а именно — перейти от управления отдельными информационными ресурсами организации к интегрированному управлению услугами, которые на этих ресурсах базируются. Они должны перестать воспринимать персонал других отделов только как своих пользователей, наладить отношения с ними как с заказчиками.

Идеология Концепции держится на «трех китах»:

- формализация процессов функционирования информационных технологий;
- профессионализм и четкая ответственность сотрудников ИТ-подразделений за определенный круг задач;
- технологическая инфраструктура обеспечения качества услуг: собственно информационные технологии, служба поддержки пользователей, служба управления конфигурациями и изменениями, система контроля услуг, служба тестирования и внедрения новых услуг и т. д.

Понимая всю сложность и трудоемкость процессов формирования информационного пространства и поддержания интегрированно-распределенной информационной системы вуза, предлагаем следующую схему реализации.

### 3.4. Схема реализации

Для продолжения дальнейших исследований в области построения информационной системы был создан макет интегрированно-распределенной информационной системы СПбГУ.

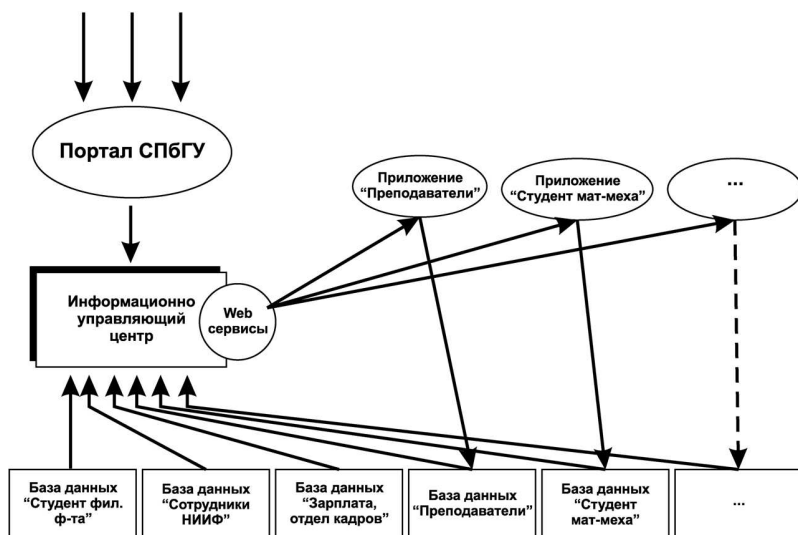


Рис. 1. Схема портала

Один из возможных способов решения задачи создания web-интерфейса к интегрированной базе данных Университета иллюстрируется на рис. 1 и рис. 2. Предлагается создание общего хранилища, объединяющего образы всех баз данных подразделений и факультетов, а также служебные базы данных (почта, документы, справочники) и базу данных «Персоналии», предоставляющую метаинформацию для всех персон Университета. Доступ через портал осуществляется только к хранилищу, приложения же работают с «собственными» базами данных и пополняются актуальной информацией их владельцами. В дальнейшем возможен переход на использование web-сервисов для связи локальных приложений и портала.

Образы баз данных подразделений и факультетов реплицируются в общее хранилище специальным способом с актуализацией информации о персоналиях в соответствующем метакаталоге. На

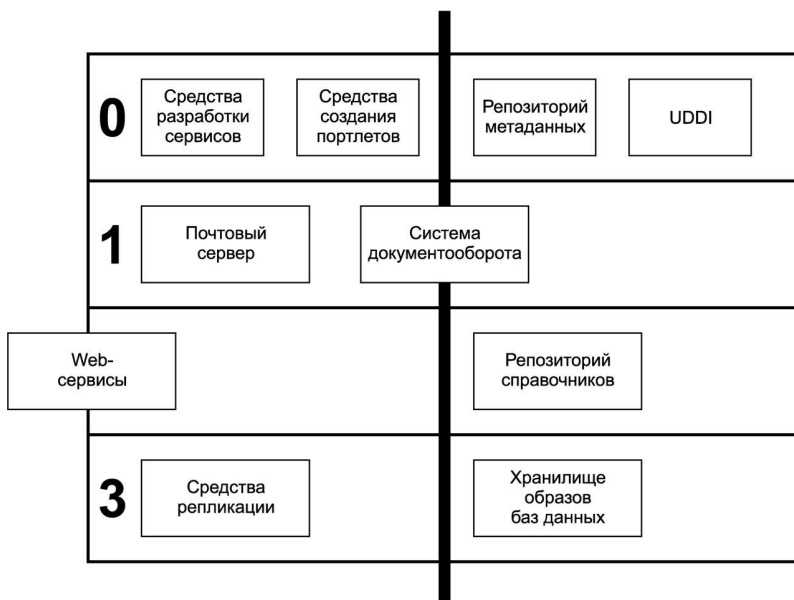


Рис. 2. Структура информационно-управляющего центра

первом этапе репликация выполнена в виде автономного настраиваемого приложения, выполненного в технологии J2EE (см. рис. 1). В процессе репликации выделяются следующие стадии.

1. Конфигурирование приложения.
2. Внесение изменений в репозиторий метаданных на основе таблиц персональной информации.
3. Копирование данных из реплицируемой базы данных в хранилище образов. При этом происходит конвертация типов данных и модификация данных для совместимости со структурой хранилища образов.
4. При завершении работы пользователю выдается результат об успешном завершении процесса либо вывод ошибок, возникших в процессе репликации.

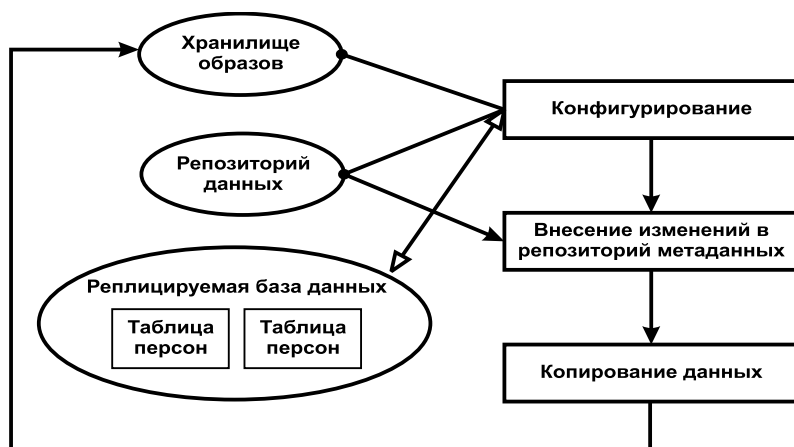


Рис. 3. Схема репликации данных

## Заключение

Описанные в работе подходы были предложены руководству Санкт-Петербургского государственного университета в качестве проекта развития автоматизированной информационной системы управления СПбГУ. На основе предложенной модели единого информационного пространства и макета интегрированно-распределенной автоматизированной информационной системы СПбГУ предлагается дальнейшее развитие системы оценки качества учебного процесса. Для этого необходимо разработать методологию и создать инструментальные средства оценки качества образовательного процесса на основе разработанных математических моделей.

## Список литературы

- [1] Боркус В., Монахова Е. Интеграция: новое решение старых проблем // PC Week/Re. — № 35–36. — 2003.
- [2] Боркус В. Когда нужна универсальная платформа EAI? // PC Week/Re. — № 44. — 2003.
- [3] Граничин О. Н., Поляк Б. Т. Рандомизированные алгоритмы оценивания и оптимизации при почти произвольных помехах. — М.: Наука. — 2003. — 291 с.



- [4] *Морозов В. П., Дымарский Я. С.* Элементы теории управления ГАП. — М.: Машиностроение. — 1984.
- [5] *Толстобров А. П.* Интегрированная информационно-аналитическая система управления учебным процессом Воронежского государственного университета. — Воронеж: Центр компьютерных технологий. — 2004.
- [6] *Фомин В. Н.* Оптимальная и адаптивная фильтрация. — СПб: Изд-во СПбГУ. — 2003. — 420 с.
- [7] Информационный портал по управлению ИТ. — [http://www. itsm-portal.ru/](http://www.itsm-portal.ru/)
- [8] *Граничин О. Н.* Стохастическая оптимизация в информатике. — СПб: Изд-во СПбГУ. — 2005. — 132 с.