

На правах рукописи



Богдан Степан Александрович

**Алгоритмическое и программное обеспечение
системы управления производством
газодобывающей компании**

05.13.11 — Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных
сетей

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск — 2011

Работа выполнена на кафедре вычислительной техники ФГБОУ ВПО
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Заслуженный деятель науки РФ
Марков Николай Григорьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент
Кручинин Владимир Викторович

кандидат технических наук
Сарайкин Андрей Витальевич

Ведущая организация: **Новосибирский государственный
технический университет**

Защита состоится "16" января 2012 г. в 16 часов на заседании Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.06 при ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, ул. Советская, 84/3, Институт кибернетики, ауд. 214.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 34034 г. Томск, ул. Белинского, 55.

Автореферат разослан «15» декабря 2011 г.

Ученый секретарь Совета по защите докторских
и кандидатских диссертаций Д 212.269.06
кандидат технических наук, доцент



М.А. Сонькин

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Крупные компании с непрерывным типом производства, к которым относятся предприятия газовой, нефтяной, металлургической и ряда других отраслей промышленности, требуют особого внимания к качеству принимаемых их менеджерами и техническими специалистами управленческих решений. В конечном итоге качество принятых управленческих решений влияет на финансовые результаты работы компании в целом.

Как показывает опыт, повысить качество управленческих решений можно путем использования современных средств автоматизации и информатизации компании. При этом управление производством и компанией в целом может быть выведено на принципиально новый уровень качества.

Особенности современных газодобывающих компаний (ГДК) накладывают множество дополнительных ограничений и требований к автоматизированным системам управления производством из-за значительной пространственной распределенности объектов управления, большого числа уровней управления компании, опасностью производства, разнородностью применяемых автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и т.д.

Среди ученых, изучающих проблемы автоматизации непрерывных производств, в том числе автоматизации производств газодобывающих компаний, следует выделить работы В.Г. Герке, Б.С. Посягина, И.С. Решетникова, L. Van Dyk, T. J. Williams, M. McClellan, M. Littlefield, J. Harrington, J. Kanter и других.

Анализ результатов работ этих исследователей, а также анализ существующего алгоритмического и программного обеспечения систем управления производством в газовой отрасли показал, что такие системы не обладают требуемой функциональностью и, соответственно, неполно автоматизируют деятельность специалистов основных производственных служб компаний. Более того, разработчики систем управления непрерывным производством, в том числе, специализированных систем и программных комплексов для газодобывающих компаний лишь иногда включают в эти системы и комплексы программ функции интеллектуального анализа данных (ИАД), основанные на использовании технологии оперативного анализа OLAP (On-line analysis processing) и технологий data mining (добыча знаний). В то же время наличие программных средств для ИАД в составе систем управления производством ГДК позволит вывести управление производством на качественно иной, современный уровень.

Все вышесказанное указывает на актуальность разработки новых подходов, алгоритмов и программных средств автоматизации непрерывных производств ГДК, базирующихся на OLAP-технологиях и методах ИАД. Под такими методами понимаются методы математической статистики, прежде всего, разведочного анализа данных, и методы нейросетевого анализа и т.п.

Целью диссертационной работы является разработка алгоритмического и программного обеспечения системы управления производством (СУП) совре-

менной газодобывающей компании, причем для повышения качества управления компанией в этой СУП должны быть реализованы методы интеллектуального анализа данных.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательное решение следующих задач:

1. Разработать принципы создания и архитектуру СУП, причем для повышения качества управления производством в основу этой системы следует положить методы ИАД.
2. Разработать алгоритмическое обеспечение СУП, в том числе с использованием современных методов ИАД.
3. Разработать программное обеспечение (ПО) СУП согласно сформулированным требованиям, предложенной архитектуре и разработанным алгоритмам.
4. Провести апробацию и внедрение алгоритмического и программного обеспечения СУП в современной газодобывающей компании.

Методы исследований. В работе использованы методы классификации, нейросетевого анализа данных, деревьев решений, теории алгоритмов, методы объектно-ориентированного проектирования ПО и математической статистики.

Научную новизну полученных в работе результатов определяют:

1. Архитектура СУП газодобывающей компании, отличающаяся от архитектуры традиционных систем управления производством таких компаний ведущей ролью хранилища производственных данных, тематических витрин данных и подсистемы ИАД.
2. Алгоритм формирования диспетчерских сводок, отличающийся от традиционных алгоритмов наличием таблицы индексов сводок и позволяющий поэтому с большей скоростью, чем традиционные алгоритмы формировать сводки в практически важных случаях.
3. Подход к разбраковке результатов гидродинамических исследований скважин (ГДИС), основанный на методах бинарной классификации и позволяющий исключить эксперта из процесса разбраковки.
4. Оригинальный способ оперативного прогноза среднечасового уровня добычи углеводородного сырья (УВС), дающий практически приемлемую точность прогнозирования на основе ретроспективного анализа совокупности технологических параметров.
5. Подход к долгосрочному прогнозированию уровня валовой добычи газа по временному ряду из ежемесячных уровней добычи газа по месторождению, использующий метод Бокса-Дженкинса и обеспечивающий точность прогноза выше, чем у широко применяемых в газовой отрасли программных решений.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Практически значимыми являются разработанные алгоритмы и программные средства СУП, которая функционирует по клиент-серверной технологии и использует в качестве основы СУБД Microsoft SQL Server 2008 R2. Объем исходного кода разработанного ПО системы составляет более 15 000 строк на языках C#, Delphi, MDX, DMX, T-SQL. СУП была интегрирована с корпоративной геоин-

формационной системой управления производством (КГСУ) «Магистраль–Восток» и внедрена в её составе в ОАО «Томскгазпром». Внедрение подтверждено соответствующим актом.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработанные структуры хранилища производственных данных и тематических витрин данных позволяют эффективно решать различные задачи ИАД при управлении производством газодобывающей компании.

2. Разработанный алгоритм формирования диспетчерских сводок позволяет формировать сводки с большим числом параметров быстрее в 1.5-2 раза, чем традиционные алгоритмы.

3. Разработанный подход к разбраковке результатов гидродинамических исследований скважин позволяет производить разбраковку результатов этих исследований без участия эксперта.

4. Оригинальный способ оперативного прогноза среднечасового уровня добычи УВС дает практически приемлемую точность прогнозирования.

5. Подход к долгосрочному прогнозированию валовой добычи газа по месторождению обеспечивает точность прогноза выше, чем у широко применяемых в газовой отрасли программных решений.

6. Разработанная архитектура, созданное алгоритмическое и программное обеспечение СУП позволяют повысить качество управления производством в газодобывающих компаниях.

Апробация работы. Основные результаты докладывались и обсуждались на Ist International Conference on Model & Data Engineering (MEDIE'2011) (г. Обидуш, Португалия, 2011 г.); 5th Central and Eastern European Software Engineering Conference (CEE-SECR) (г. Москва, 2009 г.); VI Всероссийской научно-практической конференции «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» (г. Томск, 2009 г.); VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» (г. Томск, 2009 г.); III Международной научно-технической конференции "Компьютерные технологии поддержки принятия решений в диспетчерском управлении газотранспортными и газодобывающими системами" (DISCOM-2007) (г. Москва, 2007 г.); XII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (г. Томск, 2006 г.).

По результатам работы имеется 12 публикаций, в том числе 5 статей в журналах из списка ВАК.

Личный вклад:

1. Постановка задач исследования и разработка принципов построения СУП газодобывающей компании выполнены совместно с Марковым Н.Г и Кудиновым А.В.

2. Архитектура СУП газодобывающей компании, структуры хранилища производственных данных и тематических витрин данных в составе СУП разработаны автором совместно с Кудиновым А.В.

3. Автором разработаны алгоритмы расчета технологического режима работы газовых скважин, его программная реализация осуществлена совместно с Мирошниченко Е.А.

4. Алгоритм формирования диспетчерской сводки разработан и программно реализован лично автором.

5. Способ оперативного прогноза среднечасового уровня добычи УВС и его программная реализация разработаны лично автором.

6. Подход к разбраковке результатов гидродинамических исследований скважин разработан и реализован лично автором.

7. Подход к долгосрочному прогнозированию уровня валовой добычи газа по месторождению разработан и реализован лично автором.

8. При разработке ПО формирования диспетчерских сводок автор реализовал его серверную часть. Клиентская часть ПО была реализована Ковиным Р.В.

9. Отдельные программные модули для диспетчерского управления реализованы автором совместно с программистами лаборатории Геоинформационных систем Института кибернетики Томского политехнического университета.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 149 наименований и одного приложения. Объем основного текста диссертации составляет 135 страниц машинописного текста, иллюстрированного 47 рисунками и 9 таблицами.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность работы в данном научном направлении, формулируются цель и задачи исследования.

Первая глава посвящена проблемам автоматизации производственной деятельности газодобывающей компании.

Рассмотрены организационные и функциональные особенности газодобывающего производства как производства непрерывного типа. В соответствии с подходом Хаммера-Чампи к классификации бизнес-процессов газодобывающей компании они были представлены как основные, вспомогательные и управляющие процессы и описаны с помощью IDEF0 методологии моделирования бизнес-процессов.

Рассмотрены уровни автоматизации газодобывающего производства в рамках иерархической модели СИМ. На каждом из её уровней выделены основные задачи автоматизации ГДК. Особое внимание было уделено уровню MES (Manufacturing Execution System – система управления производством). Сформулированы основные требования к MES, продиктованные особенностями непрерывного производства ГДК.

Анализ результатов работ ряда исследователей, а также анализ существующего алгоритмического и программного обеспечения систем управления производством в газовой отрасли показал, что такие системы не обладают требуемой функциональностью и, соответственно, неполно автоматизируют деятельность специалистов основных производственных служб компаний. Более того, разработчики систем управления непрерывным производством в том чис-

ле, специализированных систем и программных комплексов для газодобывающих компаний лишь иногда включают в эти системы и комплексы программ функции ИАД, основанные на использовании технологии оперативного анализа OLAP (On-line analysis processing) и технологий data mining (добыча знаний). В то же время наличие функций и позволит вывести управление производством на качественно иной, современный уровень.

Сделан вывод об актуальности разработки алгоритмического и программного обеспечения системы управления производством ГДК, включающей также средства реализации методов ИАД. Сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена принципам построения СУП и рассмотрению особенностей предложенной архитектуры системы управления.

Для формирования принципов построения СУП, а также общесистемных и функциональных требований, процесс управления производством описывается в виде взаимосвязанных алгоритмов диспетчерского управления и управления фондом скважин. Управление осуществляется в соответствии с этими алгоритмами и производится диспетчерской, геолого-промысловой и технологической службами компании, как на промыслах, так и в аппарате управления компанией.

Основными принципами построения СУП являются:

1. *Модульный принцип* организации системы, который подразумевает возможность расширения функциональности системы за счет добавления новых модулей. Современная СУП ГДК должна иметь набор модулей необходимых для конфигурирования автоматизированных рабочих мест (АРМ) различных специалистов основных производственных служб.

2. *Принцип централизации производственных данных* подразумевает организацию хранения и обработки производственных данных в виде единой базы данных (БД) и хранилища производственных данных (ХПД) компании.

3. *Принцип расширяемости перечня решаемых задач ИАД* подразумевает такую организацию СУП, при которой вновь реализуемые в системе методы, алгоритмы и модели ИАД не вызвали бы необходимости изменения её архитектуры.

4. *Принцип сужения информационных потоков* предполагает, что при переходе от нижнего уровня управления компании к каждому последующему поток производственных данных сужается.

Все требования к СУП разделены на общесистемные и функциональные требования. Среди сформулированных общесистемных требований приведем основные:

1. В состав СУП должно входить ХПД и тематические витрины данных для работы с производственными данными специалистов диспетчерской, технологической и геолого-промысловой служб компании;

2. СУП должна иметь средства включения в её состав программных модулей, реализующих новые методы и модели ИАД.

Среди функциональных требований выделяются функции ИАД оперативного и долгосрочного прогноза производственных показателей ГДК, функции автоматической разбраковки (оценки) результатов ГДИС и т.д.

На основе вышеописанных принципов и сформулированных требований была разработана архитектура СУП (рис. 1.).

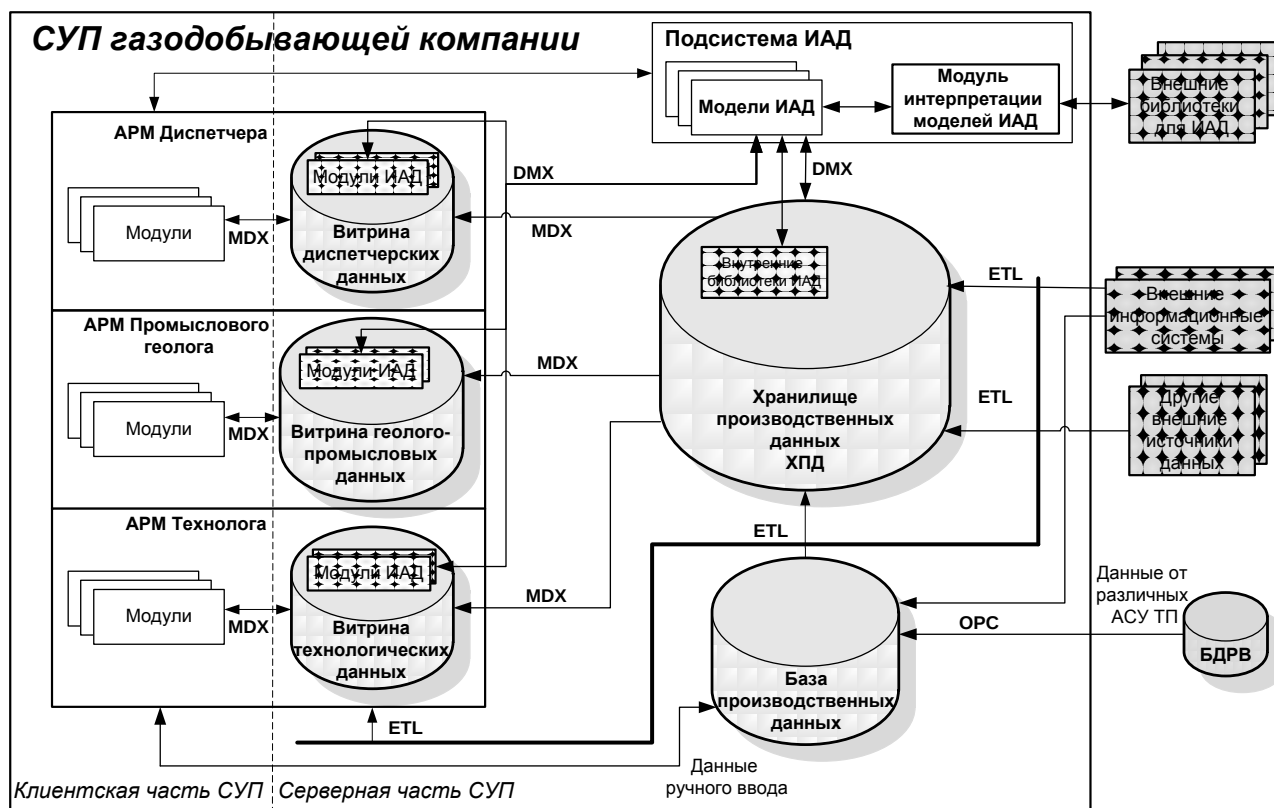


Рис. 1. Укрупненная схема архитектуры СУП

Видим, что СУП имеет клиент-серверную архитектуру. Данные ручного ввода и технологические данные из баз данных реального времени (БДРВ) различных АСУ ТП промыслов по протоколу OPC поступают в единую базу производственных данных, откуда с помощью механизма ETL-процессов (Extract Transform Load) часть из них поступает в хранилище производственных данных (ХПД). С помощью этого же механизма данные поступают в ХПД из внешних информационных систем (ИС) и других внешних источников. Также с помощью механизма ETL происходит наполнение тематических витрин данных, входящих в АРМ Диспетчера, АРМ Промыслового геолога и АРМ Технолога. Работа с витринами происходит на языке доступа к многомерным данным MDX (Multidimensional Expressions – многомерные выражения). Выполнение аналитических функций обеспечивают модули ИАД, встроенные в каждую из витрин и осуществляющие взаимодействие с подсистемой ИАД на языке DMX (Data Mining Extensions – выражения добычи знаний). При использовании внешних библиотек, реализующих ряд процедур ИАД, используется модуль интерпретации моделей ИАД, который позволяет преобразовать и интерпретировать модели ИАД из внешних библиотек в виде выражений на языке DMX.

Фрагмент многомерной модели хранилища производственных данных представлен на рис. 2. Структура ХПД во многом повторяет структуру реляционной базы производственных данных СУП, преобразованную в соответствии с правилами формирования многомерных баз данных (Multidimensional Data Bases). При этом сущности реляционной БД представляются в виде таблиц "фактов" или связанных с ними таблиц "измерений" многомерной БД.

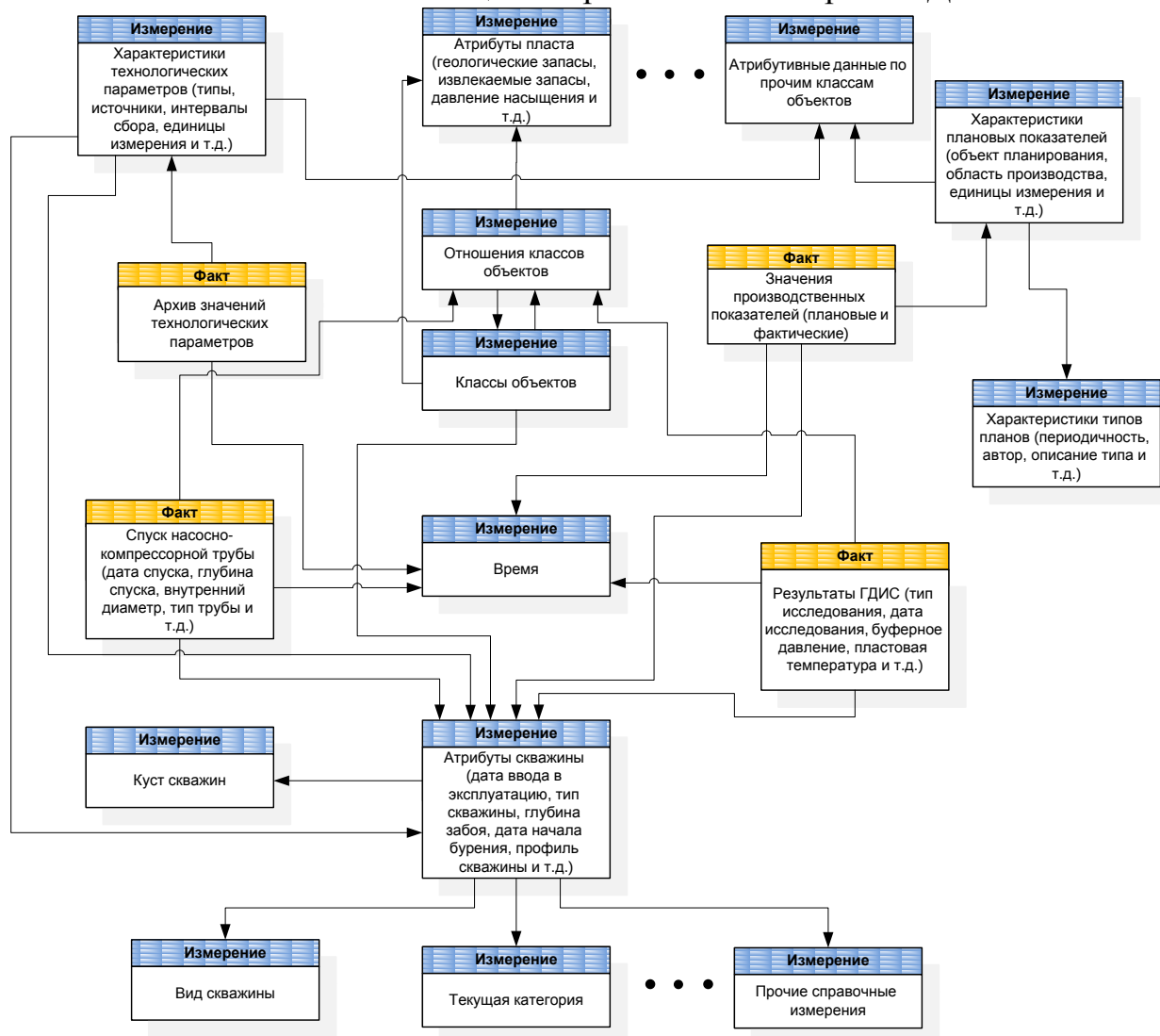


Рис. 2. Фрагмент структуры хранилища производственных данных

Такая структура хранилища позволяет специалистам формировать различные нерегламентированные (ad-hoc) запросы к ХПД, однако для повседневной работы предметных специалистов основных производственных служб ГДК используются тематические витрины данных.

В третьей главе рассматривается разработанное алгоритмическое обеспечение СУП.

Предложен алгоритм формирования диспетчерских сводок, позволяющий вводить данные и корректировать результаты ручного ввода и использующий для ускорения работы дополнительную таблицу с индексами диспетчерских сводок.

Результаты исследования эффективности предложенного алгоритма в сравнении с результатами производительности традиционного алгоритма формирования диспетчерских сводок представлены на рис. 3. Здесь n – число производственных показателей (характеристик) в сводке, m – число строк сводки.

Результаты получены для практически интересных случаев: $m = 24$ (значения технологических параметров вводятся за каждый час суток) и $m = 48$ (значения параметров вводятся за каждый час за двое суток). Видим, что в практически значимых случаях, когда число параметров $n > 10$, предложенный алгоритм работает быстрее по сравнению с традиционным алгоритмом. Причем при большом числе параметров он дает выигрыш в 1.5-2 раза. Это очень важно для диспетчеров и технологов промысла, которые желают, чтобы во всех случаях сводка формировалась не более 3-4 секунд.

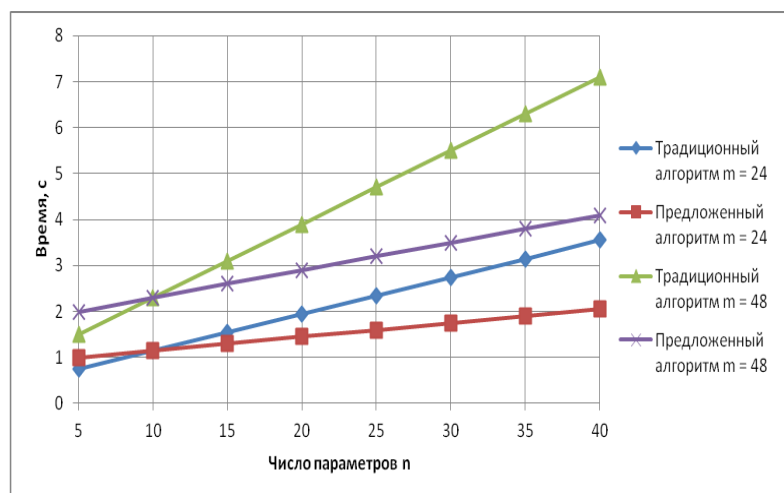


Рис. 3. Зависимость времени выполнения алгоритмов от числа параметров в сводке

В повседневной работе диспетчера и технолога основной проблемой при оперативном планировании является отсутствие аналитической функции для планирования среднечасового уровня добычи (дебета) УВС (газа). Это ключевой параметр, который планируется для промысла, и именно этот параметр не управляется диспетчером напрямую (а лишь посредством изменения операторами параметров и режимов работы скважин и технологического оборудования). Оперативный прогноз нужен, чтобы ответить на вопрос диспетчера (технолога): какой будет среднечасовая добыча УВС, если будут установлены те или иные параметры работы оборудования или часть его будет отключена? Рассмотрена задача оперативного прогноза параметров диспетчерской сводки в постановке «что если?» (задаются значения технологических параметров и изучается, каким при этом будет значение среднечасовой добычи УВС). Как показал анализ, подходящими методами ИАД для решения этой задачи являются метод линейной регрессии и метод нейросети с многослойным персептроном.

Исходный набор исторических данных для экспериментов по оценке эффективности этих методов составил 5230 кортежей – групп значений реально измеренных (с интервалом в два часа) значений технологических параметров (в том числе значений дебета $Q_{\text{факт}}$) двух кустов газовых скважин и установки комплексной подготовки газа одного из газоконденсатных месторождений Западной Сибири за последние полтора года.

Результаты исследования эффективности этих методов ИАД на описанном наборе исторических данных приведены в таблице. По мнению многих исследователей, наилучшим показателем качества прогноза среди приведенных в ней

статистических показателей является коэффициент корреляции между исходным (измеренным) значением среднечасового уровня добычи УВС $Q_{\text{факт}}$ и спрогнозированным уровнем $Q_{\text{прогноз}}$. Чем выше коэффициент корреляции, тем лучше прогноз.

В случае использования метода нейросети значение коэффициента корреляции выше, чем у метода линейной регрессии. При этом время обучения модели на используемом наборе исторических данных составило 0.59 с для регрессионной модели и 7.9 с для модели нейросети. Поскольку не требуется частото перестраивания модели и нет особых требований по скорости обучения нейросети, более эффективным является метод нейросети. Для другого газоконденсатного месторождения Западной Сибири коэффициент корреляции равен 0.66 для метода линейной регрессии и 0.94 для метода нейросети.

Таблица. Статистические показатели результатов прогнозирования.

Показатель	Метод линейной регрессии	Метод нейросети
Среднеквадратическое отклонение (СКО), м ³ /час	7587.8	5463.6
Коэффициент корреляции между $Q_{\text{факт}}$ и $Q_{\text{прогноз}}$	0.8155	0.9152
100%*СКО/Среднее значение $Q_{\text{факт}}$	7.05%	5.07%
Время построения модели, с	0.59	7.9

Учитывая результаты этих исследований, на основе метода нейросети предложен способ оперативного прогноза среднечасового уровня добычи УВС, дающий практически приемлемую точность (для газовой отрасли коэффициент корреляции должен быть не ниже 0.9) оперативного прогноза на основе ретроспективного анализа совокупности технологических параметров из диспетчерских сводок промыслов.

Ежемесячно специалисты геолого-промысловой службы решают задачу расчета технологического режима работы скважин. В общей постановке эта задача заключается в определении таких значений технологических параметров эксплуатации каждой из газовой скважин, при которых будут достигнуты заданные объемы добычи УВС на последующий месяц.

Для ее решения разработан комплексный алгоритм расчета технологического режима работы скважины (ТРРС), включающий алгоритм расчета пластового давления скважины, алгоритм расчета забойного давления скважины, алгоритм расчета дебита УВС (газ и газовый конденсат) скважины и алгоритм расчета дебита воды скважины. Исходными данными для расчета режима являются суммарные фактические дебиты УВС, полученные на основе месячных эксплуатационных рапортов (МЭРов) по промыслу, ряд технологических параметров (наружный и внутренний диаметры насосно-компрессорных труб скважины, буферное и затрубное давления в скважине, критическая температура и критическое давление газоконденсатного пласта, планируемые на конец расчетного месяца пластовое и забойное давления и т.п.), а также данные периодически проводимых ГДИС. В результате расчета технологического режима для

каждой скважины получают набор выходных данных: планируемые буферное и затрубное давления, планируемая депрессия, скорость потока УВС, планируемый дебит УВС, дебит воды, дебит нефти и т.д.

Комплексный алгоритм расчета ТРРС включает не только вышеперечисленный перечень алгоритмов, но и этап экспертной оценки результатов ГДИС промысловыми геологами с целью разбраковки этих результатов на пригодные в качестве исходных данных для дальнейшего расчета технологического режима или непригодные. В ходе разработки месторождения эксперт-геолог накапливает неструктурированную информацию (экспертное знание) о каждой скважине, о тенденциях отбора УВС из нее и т.д. Именно он, имея экспертное знание, принимает решение о том, следует ли использовать результаты гидродинамических исследований по этой скважине для расчета ее технологического режима. Учитывая огромный объем данных периодически проводимых ГДИС, эксперту непросто в кратчайший срок вынести обоснованное решение об их пригодности, поэтому требуется автоматическая разбраковка (оценка) данных ГДИС. Кроме того, это единственный этап комплексного алгоритма, препятствующий проведению полностью автоматического расчета ТРРС.

Показано, что задача разбраковки результатов ГДИС сводится к задаче бинарной классификации. Для реализации такого подхода необходимо выбрать наиболее точный метод (алгоритм) решения задачи бинарной классификации. С этой целью для исследования были рассмотрены наиболее известные и хорошо себя зарекомендовавшие методы и алгоритмы классификации: байесовский метод, группа методов деревьев решений, метод ближайшего соседа, нейросетевой метод (с использованием многослойного персептрона) и т.д., всего 23 метода и алгоритма. В качестве исходных данных для эксперимента по выявлению наиболее точного метода (алгоритма) использовались 3453 кортежа (каждый кортеж – группа значений 14 технологических параметров, измеряемых при каждом ГДИС) – реальные результаты ГДИС по фонду газовых скважин одного из газоконденсатных месторождений Западной Сибири. Пригодными для расчета технологического режима из них, по мнению экспертов-геологов, оказались 2317 кортежей, а непригодными – 1136. При оценке качества классификации использовалась точность, вычисляемая по формуле:

$$\text{Точность} = \frac{TN+TP}{TN+FP+FN+TP} \times 100\%,$$

где TP и TN - правильно классифицированные экземпляры (True positive, True negative), а FN и FP (False negative, False positive) – неправильно классифицированные экземпляры.

Исходный набор данных ГДИС (3453 кортежа) разбивался на 10 частей случайным образом. Использовался метод кросс-валидации, причем десятая часть исходного набора назначалась в качестве проверочного набора, а другие 9 частей – обучающие наборы. Результаты исследований приведены на рис. 4. Алгоритмы RandomTree, J48 и SimpleCart дают точность классификации свыше 85%. Наилучшим является алгоритм SimpleCart, дающий 87% точности. Для повышения точности классификации множество исследуемых алгоритмов можно, согласно работам Й. Фройнда и Р. Шапиро, подвергнуть бустингу

(Boosting), который заключается в итеративном повторении исследуемого алгоритма с учетом результатов правильности классификации ГДИС этим алгоритмом на предыдущих итерациях. Результаты сравнения точности классификации данных ГДИС различными алгоритмами без бустинга и после бустинга показали, что большинство из них дают прирост точности в 1-2% относительно результатов, приведенных на рис. 4. Результаты итеративного применения бустинга для более точных алгоритмов представлены на рис. 5. Использование бустинга повысило точность классификации на 6% для алгоритма J48, реализующего метод деревьев решений.

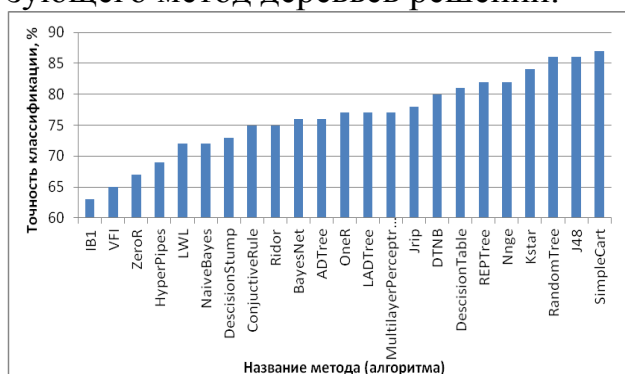


Рис. 4. Оценка точности алгоритмов классификации

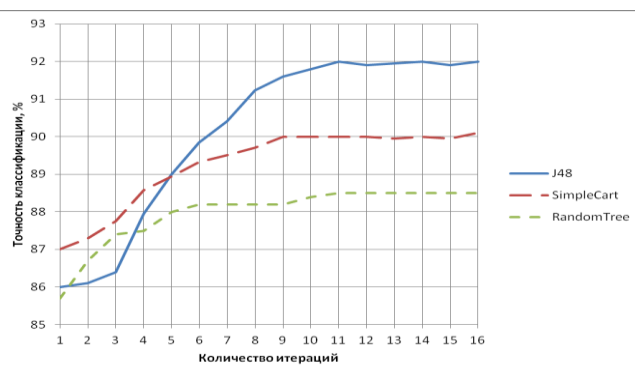


Рис. 5. Результаты бустинга алгоритмов J48, SimpleCart и RandomTree

В результате максимальная точность классификации алгоритмом J48 была достигнута после 11 итераций и равна 92%. Именно этот алгоритм, обеспечивающий практически значимую для газовой отрасли точность, рекомендовано использовать при разбраковке результатов ГДИС.

Таким образом, комплексный алгоритм расчета ТРРС получил развитие за счет добавления этапа автоматической разбраковки результатов ГДИС.

Ежегодно специалисты технологической службы совместно со специалистами геолого-промысловой службы компании планируют на последующий год ряд агрегированных показателей производства компании: уровень валовой добычи газа, уровень добычи конденсата, объемы сдачи газового конденсата, объемы потерь УВС и т.д. Среди них базовым и поэтому наиболее важным для прогноза других показателей является уровень валовой добычи газа. В этой связи задача качественного прогноза уровня валовой добычи газа является всегда актуальной для любой ГДК. Анализ показал, что большое число существующих аналитических моделей и методов (методик) часто дают ошибочные результаты прогноза, поскольку не учитывают множества нестандартных ситуаций при добыче УВС (плановых остановок скважин, внеплановых ремонтов установок комплексной подготовки газа и конденсата и т.д.).

Нами предложен подход к долгосрочному (не менее чем 1 год) прогнозированию уровня валовой добычи газа по месторождению (промыслу) с помощью метода (методики) Бокса-Дженкинса по временному ряду – историческим данным о ежемесячном уровне валовой добычи газа на месторождении. Этот временной ряд соответствует периоду времени с момента ввода месторождения в промышленную эксплуатацию. Метод Бокса-Дженкинса учитывает тот факт,

что данные по ежесуточной валовой добыче газа и, соответственно, по ежемесячной добыче являются элементами временного ряда, которые последовательно зависят друг от друга. Метод основывается на модели авторегрессионного интегрированного скользящего среднего ARIMA, позволяющей предсказывать будущие точки временного ряда.

Возможности метода Бокса-Дженкинса исследовались на исторических данных – ежемесячных уровнях валовой добычи газа за несколько лет для одного из газоконденсатных месторождений Западной Сибири с момента его ввода в промышленную эксплуатацию. Для оценки качества прогноза использовалась средняя ошибка MAPE (mean absolute percentage error):

$$MAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|Q_i^{\text{прогноз}} - Q_i^{\text{факт}}|}{Q_i^{\text{факт}}} \cdot 100\%,$$

где $Q_i^{\text{прогноз}}$ – прогнозное значение уровня валовой добычи газа в i -м месяце, $Q_i^{\text{факт}}$ – фактическое значение уровня валовой добычи газа в i -м месяце, n – число месяцев.

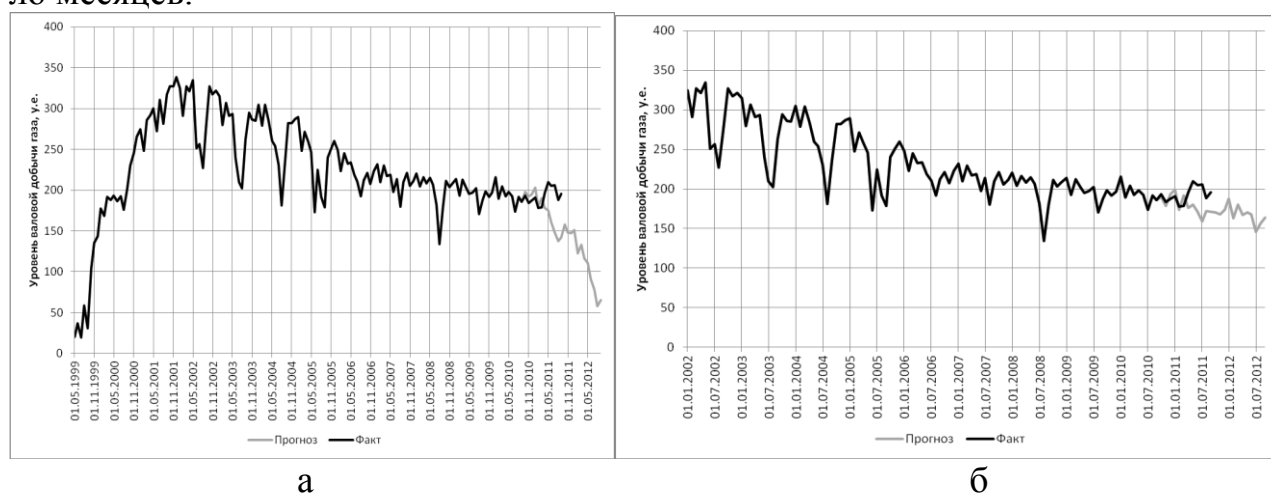


Рис. 6. Результаты прогноза уровня валовой добычи газа

а – случай полного временного ряда, б – случай скорректированного ряда

Результаты исследований приведены на рис. 6а, MAPE = 12.8%. Показано, что данные о валовой добыче газа, полученные на этапе вывода фонда скважин на проектное число скважин (с 01.05.1999 г. по 01.02.2002 г.), вносят значительные искажения в модель ARIMA и поэтому прогнозный временной ряд после 01.02.2011 г. ведет себя неправдоподобно. Учитывая это, предложено убрать начальную часть временного ряда (период с 01.05.1999 г. по 01.02.2002 г.), в течение которого осуществлялся ввод новых газовых скважин до выхода промысла на проектный уровень валовой добычи газа. Результаты прогноза на год (с 01.10.2011 г. по 01.10.2012 г.), когда исследования проводились на обновленной модели ARIMA, представлены на рис. 6б. MAPE значительно уменьшилась и составила 8.08%. Отметим, что прогноз на год уровня валовой добычи этого же месторождения, сделанный специалистами ГДК на тот же период по одной из распространенных в газовой отрасли методик (основана на построении гидродинамической модели месторождения), дал ошибку MAPE =

21.84%. Это означает, что предложенный подход позволяет осуществить прогноз добычи газа на последующий год с более высокой точностью.

В четвертой главе описывается программное обеспечение СУП и результаты апробации системы и ее внедрения в ГДК ОАО «Томскгазпром».

Проведен выбор среды разработки и языков программирования. Использовались современные среды разработки CodeGear Delphi Studio 2007 (язык Delphi) и Microsoft Visual Studio 2010 (язык C#). В качестве СУБД была выбрана система Microsoft SQL Server 2008 R2. Помимо коммерческой системы Microsoft Analysis Services для ИАД использована свободно распространяемая библиотека Weka.

В ходе апробации и внедрения СУП в ОАО «Томскгазпром» была решена задача интеграции СУП с внедренной в этой ГДК корпоративной геоинформационной системой управления (КГСУ) «Магистраль-Восток», созданной в Институте кибернетики Томского политехнического университета.

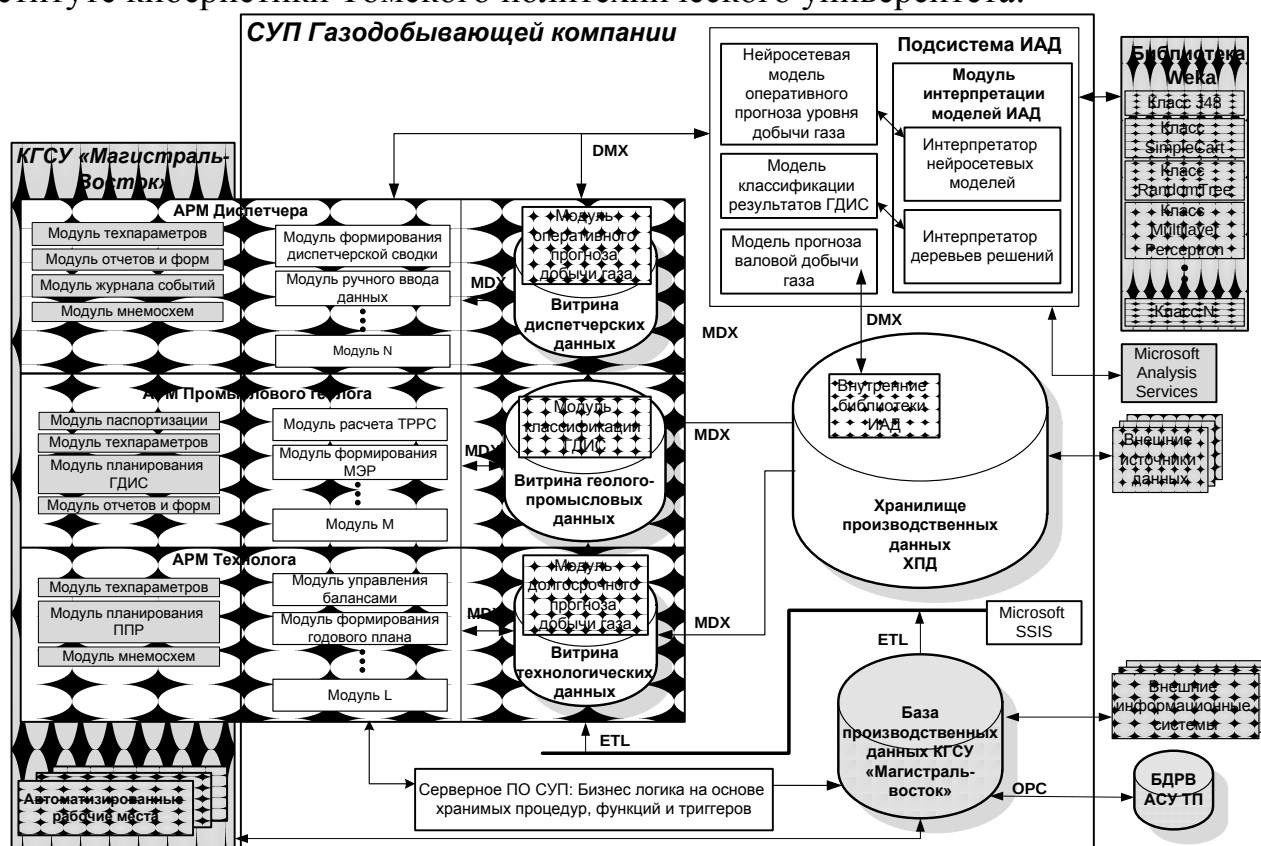


Рис. 7. Обобщенная схема интеграции СУП и КГСУ «Магистраль-Восток».

При этом в состав АРМов СУП вошли некоторые модули КГСУ (интеграция по функциям). В качестве базы производственных данных СУП использована БД КГСУ «Магистраль-Восток» (интеграция по данным). Обобщенная схема интеграции этих систем представлена на рис. 7. Модули КГСУ «Магистраль-Восток» и систем третьих производителей показаны на рис. 7. серым.

Результаты апробации СУП в ОАО «Томскгазпром» подтвердили эффективность разработанных алгоритмических и программных средств системы и их практическую значимость. На основе результатов декомпозиции основных

производственных бизнес-процессов с помощью метода стоимостного анализа была сделана оценка экономического эффекта от внедрения СУП в ГДК ОАО "Томскгазпром".

В заключении приведены основные полученные в диссертационной работе результаты и сделанные выводы.

В приложения вынесены акты о внедрении полученных результатов и материалы справочного характера.

Основные результаты и выводы

В ходе выполнения диссертационной работы были получены основные научные и практические результаты и сделаны следующие выводы.

1. Проведен анализ результатов работ ряда исследователей по проблеме автоматизации управления непрерывным производством ГДК и анализ алгоритмического и программного обеспечения существующих систем управления производством в газовой отрасли. Сделаны выводы о том, что существующие системы не обладают требуемой функциональностью и лишь иногда имеют в своем составе функции ИАД. По результатам анализа поставлена цель создания алгоритмического и программного обеспечения системы управления производством ГДК, причем для повышения качества управления производством в этой системе должны реализовываться методы ИАД.

2. Предложены принципы создания и разработана архитектура СУП, отличающаяся от архитектуры традиционных систем управления производством таких компаний ведущей ролью хранилища производственных данных, тематических витрин данных и подсистемы ИАД. Разработаны структуры ХПД и тематических витрин данных.

3. Разработан алгоритм формирования диспетчерских сводок. В результате проведенных исследований показано, что он позволяет производить формирование сводок в практически значимых случаях быстрее, чем традиционные алгоритмы.

4. Предложен оригинальный способ оперативного прогноза среднечасового уровня добычи УВС, основанный на нейросетевом методе и дающий, как показали исследования, практически приемлемую точность прогнозирования.

5. Разработаны алгоритмы расчета технологического режима работы газовых скважин. При этом предложен подход к разбраковке результатов гидродинамических исследований скважин, путем решения задачи бинарной классификации. Сделан вывод о возможности производить автоматическую разбраковку результатов этих исследований.

6. Разработан подход к долгосрочному прогнозированию уровня валовой добычи газа по временному ряду из ежемесячных уровней добычи газа по месторождению. Результаты проведенных исследований показали, что он обеспечивает точность прогноза выше, чем у широко применяемых в газовой отрасли методик прогноза валовой добычи газа.

7. Создано программное обеспечение СУП. Объем исходного кода разработанных программных средств составляет более 15000 строк кода на языках C#, Delphi, T-SQL, MDX и DMX.

8. Проведены апробация и внедрение разработанного алгоритмического и программного обеспечения СУП в газодобывающей компании ОАО «Томскгазпром», при этом СУП была интегрирована с корпоративной геоинформационной системой управления «Магистраль-Восток». На основе результатов декомпозиции основных производственных бизнес-процессов с помощью метода стоимостного анализа была сделана оценка экономического эффекта от внедрения СУП. Результаты апробации подтвердили эффективность разработанной архитектуры, алгоритмических и программных средств СУП.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи, опубликованные в изданиях из перечня ВАК:

1. Богдан С.А., Ковин Р.В., Кудинов А.В., Марков Н.Г. Инструментальные средства разработки систем оперативного диспетчерского управления газотранспортными сетями // Известия Томского политехнического университета. — 2006. — Т.309 — № 7. — С. 74–80.

2. Bogdan S.A., Kudinov A.V., Markov N.G., Rodikevich S.S. Automation of monitoring in gas producing company // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. — 2007. — V. 311 — № 5. — P. 27–32.

3. Богдан С.А., Кудинов А.В. Принципы построения систем принятия решений для оперативного диспетчерского управления в MES газодобывающих компаний // Известия Томского политехнического университета. — 2007. — Т.313 — № 5. — С. 153–157.

4. Богдан С.А., Кудинов А.В., Марков Н.Г. Опыт внедрения MES «Магистраль-Восток» в нефтегазодобывающей компании // Автоматизация в промышленности. — 2010. — №8. — С. 53–58.

5. Вейбер В.В., Богдан С.А., Кудинов А.В., Марков Н.Г. Концепция построения платформы для интеграции производственных данных нефтегазодобывающей компании // Известия Томского политехнического университета. — 2011. — № 5. — С. 126–131.

Статьи, тезисы докладов на междунар. и всеросс. конференциях:

6. Богдан С.А., Кудинов А.В., Марков Н.Г., Мирошниченко Е.А., Острасть П.М., Родикевич С.С. Автоматизация процессов диспетчерского управления нефте- и газотранспортными сетями // Автоматическое управление и информационные технологии. Межвуз. сборник научно-технических работ ученых. — Томск: Изд-во ТПУ. — 2005. — Вып. 1. — С. 56–64.

7. Богдан С.А., Ковин Р.В. Способ повышения эффективности визуализации цифровых рельефов местности, представленных в виде регулярной сети и описанных большими массивами данных с помощью OpenGL // Современные техника и технологии: Труды XII Междун. научно-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2006. – С. 36–38.

8. Богдан С.А., Кудинов А.В., Марков Н.Г., Родикевич С.С. Применение геоинформационной системы «Магистраль-Восток» для решения задач диспетчерского управления в газодобывающей компании // Компьютерные технологии поддержки принятия решений в диспетчерском управлении газотранспортными и газодобывающими системами: Междун. научно-техническая конф. – Москва: Изд-во ВНИИГАЗ. – 2007. – С. 48–53.

9. Богдан С.А., Кудинов А.В., Фам Тхи Зуен Анализ технологий для разработки диспетчерских листов // Сб. трудов VII Всеросс. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». – Томск: Изд-во СПБ Графикас – 2009. – С. 137–141.

10. Богдан С.А., Кудинов А.В. Реализация подсистемы диспетчерского листа в составе АРМ диспетчера MES Магистраль – Восток на основе концепции ОВА // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: Сб. трудов VI Всероссийской. научно-практической конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2009. – С. 82 – 84.

11. Bogdan S., Kudinov A., Markov N. Example of implementation of MES Magistral-Vostok for oil and gas production enterprise // Proceedings of 5-th Central and Eastern European Software Engineering Conference (CEE-SECR'2009). – Moscow: IEEE – ISBN 978-1-4244-5664-2. – 2009. – P. 131 – 136.

12. Bogdan S., Kudinov A., Markov N. Manufacturing Execution Systems Intellectualization: Oil & Gas Implementation Sample // Proceedings of 1-st International Conference on Model & Data Engineering (MEDI'2011). – Portugal, Obidos. – L. Bellatreche and F. Mota Pinto (Eds.). – Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2011. – P. 170–177.