

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

*Автор-составитель **А.А. Хамухин***

Издательство
Томского политехнического университета
2014

УДК 004:378.4
ББК 32.81р30
Х19

Хамухин А.А.

Х19 Информационные системы управления разработкой месторождений / авт.-сост.: А.А.Хамухин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 120 с.

Пособие содержит курс лекций, посвященный обзору современных информационных систем, применяющимся в передовых нефтегазовых компаниях. Материалы пособия содержат такие разделы, как: основы и обзор информационных систем; спутниковые информационные системы; управление разработкой месторождений с помощью информационных систем, включая решение типовых оптимизационных задач.

Предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению 131000 «Нефтегазовое дело».

УДК 004:378.4
ББК 32.81р30

Рецензенты

Доктор химических наук, проректор
по научной работе и международной деятельности
Югорского государственного университета
А.А. Новиков

Доктор технических наук, профессор кафедры АСУ
Томского государственного университета
систем управления и радиоэлектроники
А.А. Мицель

Кандидат технических наук, доцент кафедры ОСУ ИК
Томского политехнического университета
Е.С. Чердынцев

© Составление ФГБГОУ ВПО НИ ТПУ, 2014
© Хамухин А.А., составление 2014

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	10
1.1. Классификация информационных систем по масштабности	11
1.2. Классификация информационных систем по архитектуре	15
1.3. Классификация информационных систем по выполняемым функциям.....	17
1.3.1. Информационно-справочные и информационно-поисковые системы	18
1.3.2. Информационно-моделирующие системы	19
Симуляторы	19
ИМС PETREL	21
ИМС ECLIPSE	22
ИМС HYSYS и PIPESIM.....	23
ИМС PIPEPHASE	24
ИМС ANSYS	25
ИМС WELLFLO	27
1.3.3. Ситуационные информационные системы	28
Учебно-ситуационный центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина	30
Центр сопровождения бурения	32
1.4. Классификация информационных систем по сфере применения	33
ERP-системы	33
BPM-системы	34
HRM-системы	36
1.5. Классификация информационных систем по интерфейсу.....	37
1.6. Классификация информационных систем по способу обработки данных ..	39
1.7. Классификация информационных систем по степени защищенности информации	41
1.8. Электронная цифровая подпись в ИС	43
1.9. Вопросы к Главе 1	51
2. СПУТНИКОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ	52
2.1. Основные понятия спутниковых систем	52
2.2. Спутниковые антенны и выбор спутников связи	57
2.3. Спутниковые системы VSAT	66
2.4. Мобильные спутниковые услуги MSS	71
2.5. Вопросы к Главе 2	76
3. УПРАВЛЕНИЕ РАЗРАБОТКОЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	78
3.1. Особенности управления разработкой месторождений нефти и газа	78
3.2. Математическая постановка и классификация оптимизационных методов...	82
3.2.1. Линейное программирование	82
3.2.2. Дробно-линейное программирование	83
3.2.3. Целочисленное (дискретное) программирование.....	83
3.2.4. Нелинейное программирование	83
3.2.5. Динамическое программирование	83
3.2.6. Стохастические и эволюционные методы оптимизации.....	84

3.2.7. Моделируемый отжиг (<i>Simulated Annealing</i>)	85
3.2.8. Метод покоординатного спуска	87
3.3. Инструментальные средства оптимизации	88
3.3.1. Надстройка «Поиск решения» приложения Excel	88
3.3.2. Задача получения максимальной прибыли производства	93
3.3.3. Задача оптимизации численности персонала	97
3.3.4. Задача минимизации транспортных расходов	102
3.3.5. Задача получения максимальной прибыли капиталовложений	107
3.4. Вопросы к Главе 3	114
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	116
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ПЕРВОИСТОЧНИКОВ	118

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Информационные системы управления разработкой месторождений» включена в состав магистерской подготовки по направлению 131000 «Нефтегазовое дело» относительно недавно и носит междисциплинарный характер. В ее состав должны входить материалы из таких традиционных для высшего образования дисциплин, как «Информационные системы», «Теория управления», «Разработка и эксплуатация месторождений». Каждый из этих предметов ранее изучался студентами не менее семестра. Поэтому сложность преподавания такого междисциплинарного предмета существенно возрастает и основной упор в учебном плане делается на самостоятельную работу студентов.

В настоящем пособии за основу принято рассмотрение информационных систем (ИС), но также приводятся сведения из смежных дисциплин, даны рекомендации по литературным источникам для самостоятельного изучения.

При составлении пособия также учтено, что параллельно с этим курсом магистранты изучают такие предметы, как: «Методология проектирования в нефтегазовой отрасли и управление проектами. Системы автоматизированного проектирования», «Управление нефтегазовыми технологическими процессами», «Геонавигация в нефтегазовом деле», «Технология добычи нефти и газа». Поэтому в настоящем пособии не рассматриваются геоинформационные системы и специализированные информационные системы, предназначенные для автоматизации проектирования (САПР), а также *SCADA-системы*.

Поскольку нефтегазовые компании, как правило, функционируют на удаленных и труднодоступных территориях, большое внимание в настоящем пособии уделяется спутниковым информационным системам и распределенным корпоративным информационным системам.

Спутниковые информационные системы рассматриваются на базе технологий компании **HUGHES** – мирового лидера спутниковой связи, разрабатывающего и эксплуатирующего всю линейку высокотехнологической продукции: спутники, спутниковые терминалы и другое оборудование, программное обеспечение.

Важной особенностью является также тот факт, что компания **HUGHES** создала в Томском политехническом университете учебный центр с реальным оборудованием (единственный в России) и автор настоящего пособия прошел в нем 72-часовую подготовку. Такую же подготовку может пройти любой студент, который заинтересуется спутниковыми технологиями. На рис. 1 показан сертификат компании **HUGHES**,

который выдается в учебном центре Томского политехнического университета.

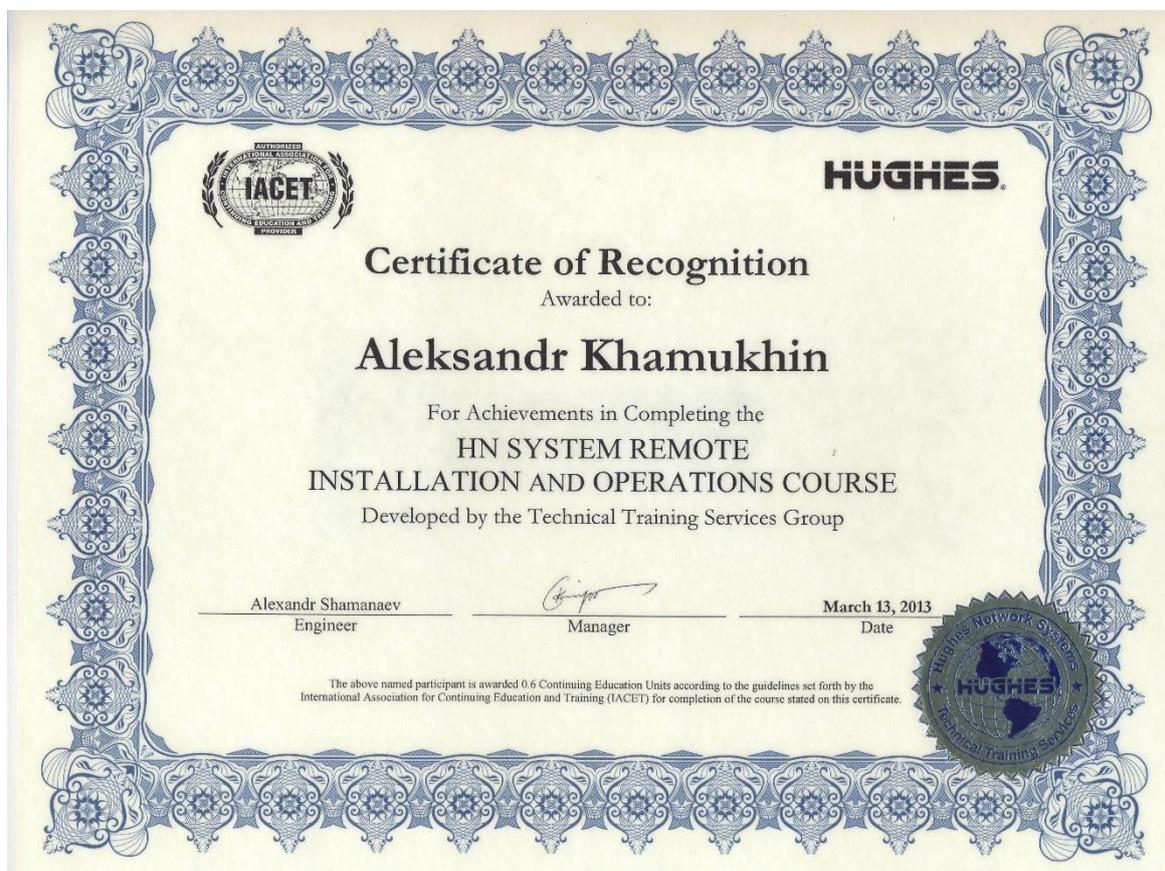


Рис. 1. Сертификат компании HUGHES (США), выдаваемый в учебном центре «HUGHES–ТПУ» Томского политехнического университета.

Уделяется внимание в пособие и современным информационно-моделирующим системам, которые в отличие от обычных информационных систем позволяют получать не только ту информацию, которую в них занесли, а намного больше.

А именно с помощью моделирования они позволяют получать достоверную информацию, как если бы мы исследовали сам объект экспериментально.

Такие системы позволяют не просто исследовать, но и изобретать новые технические решения. В качестве подтверждения можно провести патент на новый способ предварительной подготовки нефти, полученный с помощью моделирования (рис. 2).



Рис. 2. Патент на изобретение «Способ предварительной подготовки нефти на промыслах при многоступенчатой сепарации»

В разделе 3 дано понятие управлению разработкой месторождений как оптимизационной задаче. Рассмотрены типовые оптимизационные

задачи и инструментальные средства их решения на примере надстройки Excel «Поиск решения».

В приложении приведены ограничения, которые формулирует «ГОСТ Р 51858-2002. Нефть» на параметры товарной нефти. Эти ограничения необходимо учитывать при формулировке и решении задачи оптимального управления разработкой месторождений нефти.

Существенную помощь в изучении современных информационных систем может оказать самостоятельная работа с Интернет-ресурсами [1]. Поскольку в рамках университетского курса невозможно изучить подробно все современные ИС, его следует рассматривать как введение для дальнейшего самостоятельного обучения.

Кроме этого, информационные технологии – одна из самых быстро развивающихся отраслей и, чтобы не отстать от прогресса, необходимо постоянно пополнять свои информационные знания в течение всего цикла трудовой деятельности [1].

Среди множества Интернет-ресурсов лучше всего, на наш взгляд, выделить два, которые прямо предназначены для решения сформулированной выше проблемы и имеют ряд выгодных преимуществ перед другими ресурсами. Первый из них – это Интернет-университет информационных технологий (ИНТУИТ) www.intuit.ru. ИНТУИТ учредил в 2003 году Анатолий Шкред. Основу обучения составляют курсы лекций с тестовыми заданиями в конце каждой лекции. Каждый курс проходит обязательную сертификацию учебно-методическими объединениями вузов (УМО) и имеет гриф «рекомендовано» или «допущено» для соответствующих специальностей вузов [1].

Все курсы написаны в единой форме изложения, что существенно облегчает их изучение. Авторы курсов – ведущие российские и зарубежные специалисты в области информационных технологий. Важным достоинством ИНТУИТа является наличие множества альтернативных курсов по одной тематике, что позволяет студенту выбирать того или иного автора курса, а сам ИНТУИТ обеспечивает себе постоянное обновление изучаемого материала. По каждой лекции каждого курса выставляется отдельная оценка, которую можно наблюдать в зачетной книжке [1].

Второй рекомендуемый Интернет-ресурс предназначен для читателей, желающих получить дополнительные знания самостоятельно на английском языке. Это известные «Открытые курсы» Массачусетского технологического института (США). Ресурс содержит более 2000 курсов профессоров МТИ на английском языке и доступен через Интернет всем желающим (рис. 3).

The screenshot shows a web browser window displaying the MIT OpenCourseWare website. The URL is <http://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-00-intro/>. The page is for the course 'Introduction to Computer Science and Programming' and specifically for 'Lecture 1'. The page layout includes a navigation menu with 'Home', 'Courses', 'Donate', 'About OCW', 'Help', and 'Contact Us'. A sidebar on the left contains links for 'VIEW ALL COURSES', 'Course Home', 'Syllabus', 'Calendar', 'Readings', 'Lecture Videos', 'Assignments', 'Exams', 'Download Course Materials', 'Send us your feedback', 'Cite this course', 'Email this page', 'Newsletter sign-up', and 'Donate'. The main content area features the course title 'Lecture 1', a 'Topics covered' section, an 'Instructor' section listing Prof. Eric Grimson and Prof. John Guttag, and 'Free downloads' for iTunes U and Internet Archive. Below this is a video player showing a lecture with a professor standing in front of a chalkboard. The video player has a progress bar at 00:00 / 53:30 and a YouTube logo.

Рис. 3. Пример видеолекции «Открытых курсов» Массачусетского технологического института (США)

В последнее время многие текстовые лекции обоих рекомендованных ресурсов пополнились видео-лекциями и мультимедийными материалами. Кроме изучения содержания, эти курсы дают прекрасную возможность изучать речевой английский язык от его носителей.

1. ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Информационная система – комплекс технических и программных средств, обеспечивающих сбор, хранение, передачу, обработку и визуализацию данных, а также средства извлечения из них дополнительной информации.

Существуют и другие определения информационных систем. Вообще, необходимо помнить, что под **системой** понимают множество элементов (возможно, разнородных), которые за счет отношений и связей друг с другом образуют определенную целостность, единство, т.е. выполняют некоторые функции, недоступные каждому элементу в отдельности.

Поэтому некоторые авторы в понятие информационной системы включают даже обслуживающий персонал. По нашему мнению это было обосновано на исторически ранних этапах и совершенно не требуется сейчас, когда надежность и автоматизм ИС достигли таких результатов, что роль обслуживающего персонала становится все меньше

Все информационные системы основаны на базах данных, которые поддерживаются специальной программой (комплексом программ), называемой **система управления базами данных (СУБД)**. Зачастую эти два термина путают. Для баз данных также существует множество определений, из которых мы рекомендуем следующее.

База данных – организованная в соответствии с определенными правилами, и хранящаяся в компьютере совокупность данных, характеризующая некоторую предметную область и используемая для удовлетворения информационных потребностей пользователей.

В определениях наиболее часто (явно или неявно) присутствуют следующие отличительные признаки [2].

1. БД хранится и обрабатывается в вычислительной системе. Таким образом, любые вне компьютерные хранилища информации (архивы, библиотеки, картотеки и т. п.) базами данных не являются.

2. Данные в БД логически структурированы (систематизированы) с целью обеспечения возможности их эффективного поиска и обработки в вычислительной системе. **Структурированность** подразумевает явное выделение составных частей (элементов), связей между ними, а также типизацию элементов и связей, при которой с типом элемента (связи) соотносятся и допустимые операции.

3. БД включает схему, или метаданные, описывающие логическую структуру БД в формальном виде (в соответствии с некоторой метамоделью). В соответствии с ГОСТ Р ИСО МЭК ТО 10032-2007, «постоянные

данные в среде базы данных включают в себя схему и базу данных». Схема включает в себя описания содержания, структуры и ограничений целостности, используемые для создания и поддержки базы данных. База данных включает в себя набор постоянных данных, определённых с помощью схемы. Система управления данными использует определения данных в схеме для обеспечения доступа и управления доступом к данным в базе данных [2].

Таким образом, любая информационная система включает в себя, как минимум, базу данных и систему управления базой данных.

Существует множество *классификаций* информационных систем, большинство из которых ориентировано на разработчиков. Поскольку настоящее пособие предназначено для студентов-нефтяников, мы можем с большой вероятностью считать их пользователями ИС, хотя некоторые из них вполне могут принимать участие и в разработке ИС на уровне прикладных специалистов.

Поэтому информационные системы с позиции пользователя можно классифицировать следующим образом:

1. *по масштабности* (локальные, групповые, корпоративные, глобальные);
2. *по архитектуре* (файл-серверные, клиент-серверные, двухзвенные, многозвенные);
3. *по выполняемым функциям* (информационно-справочные, информационно-поисковые, геоинформационные, информационно-моделирующие, ситуационные);
4. *по сфере применения* (офисные, производственные, финансовые, кадровые, маркетинговые и пр.);
5. *по интерфейсу* (алфавитно-цифровой, графический (GUI), дружелюбный (Usability), мультимедийный, тактильный);
6. *по способу обработки данных* (централизованные, распределенные, интеллектуальные);
7. *по степени защищенности информации* (классы безопасности от D до A1 в соответствии с Международными стандартами).

1.1. Классификация информационных систем по масштабности

Классификация ИС по масштабности (локальные, групповые, корпоративные, глобальные) стала применяться относительно недавно, однако мы ее поставили на первое место по важности для пользователя.

Локальная (одиночная, персональная) информационная система реализуется, как правило, на автономном персональном компьютере и, даже если он подключен к сети, в такой системе сеть не используется. Среди локальных СУБД наиболее известны такие, как *Microsoft Access*, *Clarion*, *Paradox* и др.

Эти системы отличаются относительной простотой установки и настройки, доступной ценой и вполне пригодны для создания персональных информационных систем для одного или небольшой группы инженеров.

Групповые информационные системы ориентированы на коллективное использование информации членами рабочей группы и чаще всего строятся на базе локальной вычислительной сети [3], обслуживаемой одним сервером, называемым сервером баз данных или *SQL*-сервером. Существует много различных *SQL*-серверов, как коммерческих (*Microsoft SQL*-сервер, *Oracle*, *DB2 IBM* и др.), так и свободно распространяемых (*MySQL*, *PostgreSQL* и др.).

Корпоративные информационные системы – являются развитием систем для рабочих групп, они ориентированы на крупные компании и могут поддерживать территориально разнесенные вычислительные узлы, серверы и сети [3]. Корпоративную ИС называют еще интегрированной, потому что она автоматизирует все функции управления на всех уровнях управления. Такая ИС является многопользовательской (с разными правами доступа у разных групп пользователей). Корпоративная ИС функционирует в распределенной вычислительной сети. Часто корпоративная ИС имеет веб-интерфейс, что позволяет работать с ней через обычный браузер из любой точки, где есть Интернет. Корпоративные ИС обязательно имеют авторизованный вход и разные права доступа для различных групп пользователей.

В основном они имеют иерархическую структуру из нескольких уровней. Для таких систем характерна архитектура клиент-сервер со специализацией серверов или же многоуровневая архитектура. При разработке таких систем могут использоваться те же серверы баз данных, что и при разработке групповых информационных систем. Однако в крупных информационных системах наибольшее распространение получили серверы *Oracle*, *DB2 IBM* и *Microsoft SQL Server*. Для корпоративных систем существенно повышаются требования к надежности функционирования и сохранности данных. Эти свойства обеспечиваются поддержкой целостности данных, ссылок и транзакций в серверах баз данных [3].

Примером такой современной корпоративной ИС может служить портал Томского политехнического университета (portal.tpu.ru), созданный на базе продукта компании *Oracle – OracleAS Portal10g*.

Глобальные информационные системы – информационные системы, функционирующие в глобальной сети Интернет и предоставляющие информационные услуги и различные сервисы пользователям всего мира через обычный браузер. Первыми глобальными ИС были поисковые системы: *Alta Vista, Excite, Hotbot, InfoSeek* и др. Сейчас многие из них ушли с рынка, не выдержав конкуренции с мощной системой *Google* (86% рынка на апрель 2010 г.). В России в этом сегменте лидирует *Yandex* (46 % рынка на апрель 2010 г.). Еще несколько поисковых систем занимают от 3 до 5 % рынка (*Bing, Yahoo, Baido*).

Но не только поиск информации производится сейчас поисковыми системами. Они оснащены множеством сервисов: от электронной почты до веб-хостинга (предоставление пространства Интернет под собственные сайты пользователей). Например, все сервисы системы *Yandex* не уместаются уже на одной странице, их фрагмент приведен на рис. 4.

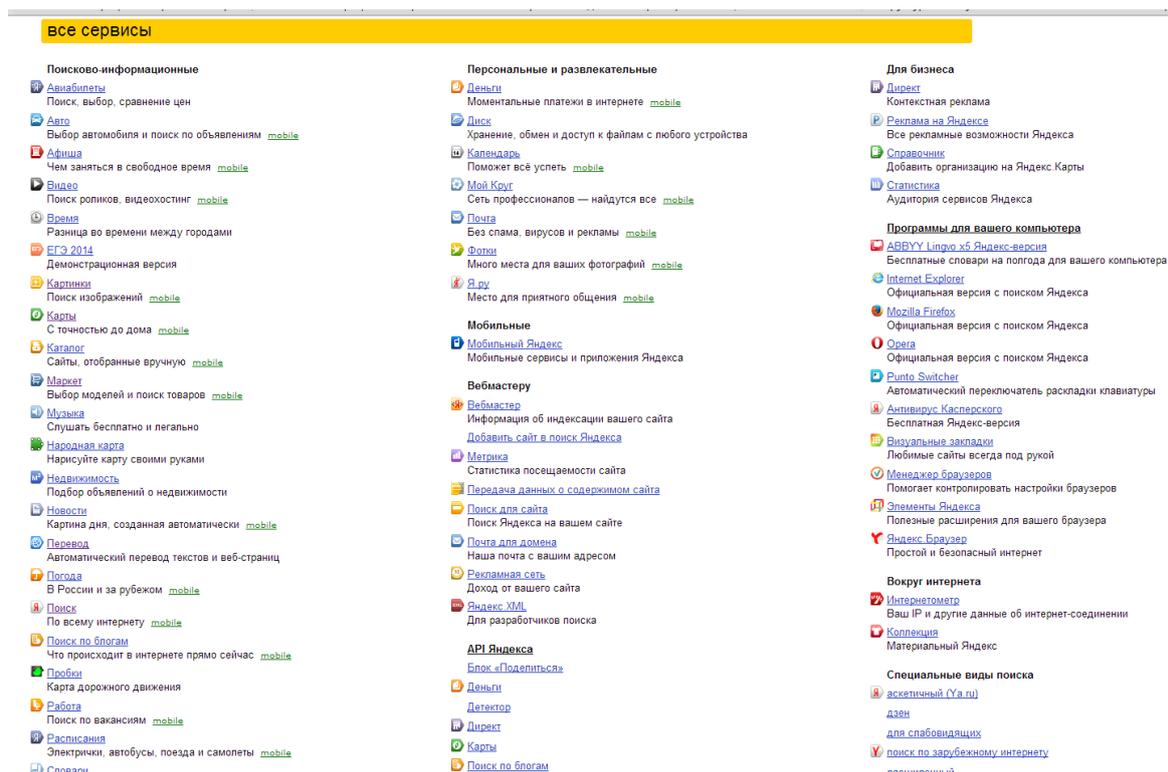


Рис. 4. Перечень сервисов информационно-поисковой системы *Yandex* (РФ)

В настоящее время глобальные информационные системы доступны не только через стационарные компьютеры с кабельными сетями, но и через спутники связи (со спутниковой антенной и специальным модемом), кабельное телевидение, сотовые телефоны, планшеты.

Большинство услуг таких систем бесплатны и компании, их обеспечивающие, зарабатывают на контекстной рекламе. Контекстная реклама – это выставление рекламы, релевантной (соответствующей) вашему запросу. Например, как это выглядит в *Yandex*, показано на рис. 5.

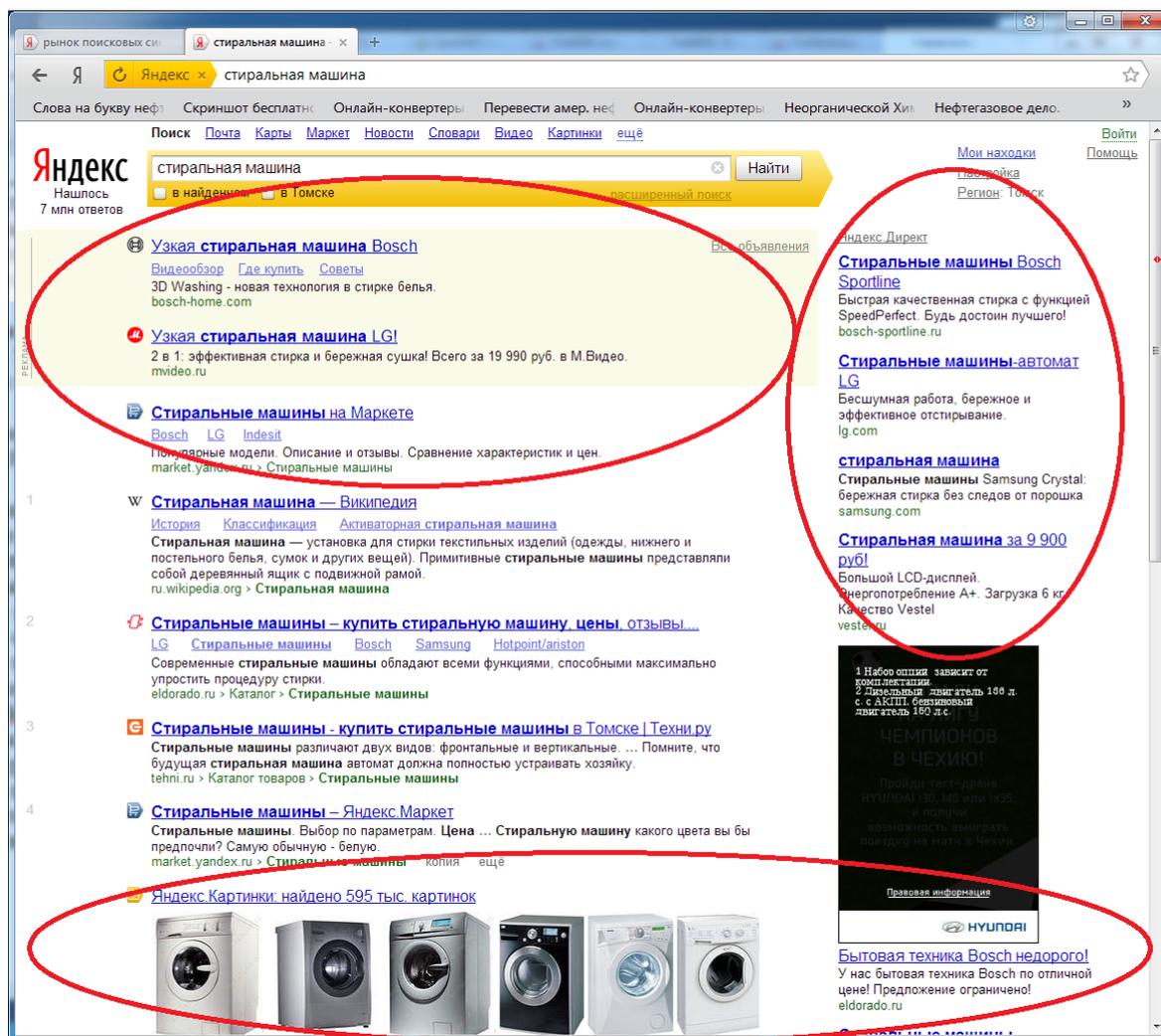


Рис. 5. Пример контекстной рекламы на поисковый запрос

Красными овалами выделены области, занятые рекламой, соответствующей введенному запросу в поисковой строке. Более того, в контекстной рекламе находятся те фирмы, которые территориально находятся недалеко от компьютера, с которого был сделан поисковый запрос.

Это определяется по IP-адресу компьютера, поскольку все IP-адреса распределяются по территориальному принципу.

1.2. Классификация информационных систем по архитектуре

Классификация ИС по архитектуре (файл-серверные, клиент-серверные, двухзвенные, многозвенные) имеет большее значение в основном для системных администраторов, но и для пользователей здесь имеются важные отличия.

Файл-серверные информационные системы отличаются по внутренней архитектуре, которая для пользователя может остаться незамеченной. В файл-серверных СУБД файлы данных располагаются централизованно на файл-сервере. Ядро СУБД располагается на каждом клиентском компьютере. Доступ к данным осуществляется через локальную сеть. Синхронизация чтений и обновлений осуществляется посредством файловых блокировок. Преимуществом этой архитектуры является низкая нагрузка на ЦП сервера, а недостатком – обеспечение целостности данных возложено на пользовательские приложения, а не на сервер [2].

На данный момент файл-серверные СУБД считаются устаревшими. Они могут применяться для обучения работе с базами данных или для хранения информации в небольших информационных системах [4].

Примеры файл-серверных систем: *Microsoft Access, Paradox, dBase* и др.

Клиент-серверные информационные системы также имеют отличие по внутренней архитектуре. Такие СУБД состоят из клиентской части (которая входит в состав прикладной программы) и сервера. Клиент-серверные СУБД, в отличие от файл-серверных, обеспечивают разграничение доступа между пользователями и мало загружают сеть и клиентские машины. Сервер является внешней по отношению к клиенту программой, и по мере надобности его можно заменить другим. Недостаток клиент-серверных СУБД в больших вычислительных ресурсах, потребляемых сервером [4].

Клиент-серверные СУБД предоставляют больше возможностей для профессиональной работы с данными, поэтому они чаще всего используются в крупных предприятиях и организациях. Они больше всего подходят к крупным (корпоративным) информационным системам с одним или несколькими серверами, обладающими большой производительностью. Даже в случае большого количества пользователей, работающих с ними, они не очень сильно загружают сеть [4].

Примеры клиент-серверных систем: *Interbase, DB2 IBM, Microsoft SQL Server, Sybase, Oracle, PostgreSQL, MySQL* и др.

Двухзвенные (многозвенные) информационные системы отличаются также по внутренней архитектуре, которая для пользователя может быть хорошо заметна. Традиционной является двухзвенная архитектура, в которой каждый клиент напрямую взаимодействует с сервером баз данных (рис. 6). В трехзвенной архитектуре между ними расположен дополнительно сервер приложений (рис. 7). Этот дополнительный сервер позволяет разгрузить пользовательские компьютеры (клиенты) от необходимости хранить у себя все приложения. В этом случае говорят о «тонком клиенте», т.е. о клиенте (пользовательском компьютере), на котором не надо устанавливать приложения, что очень облегчает работу пользователя. Любой пользователь конечно заметит такое преимущество.

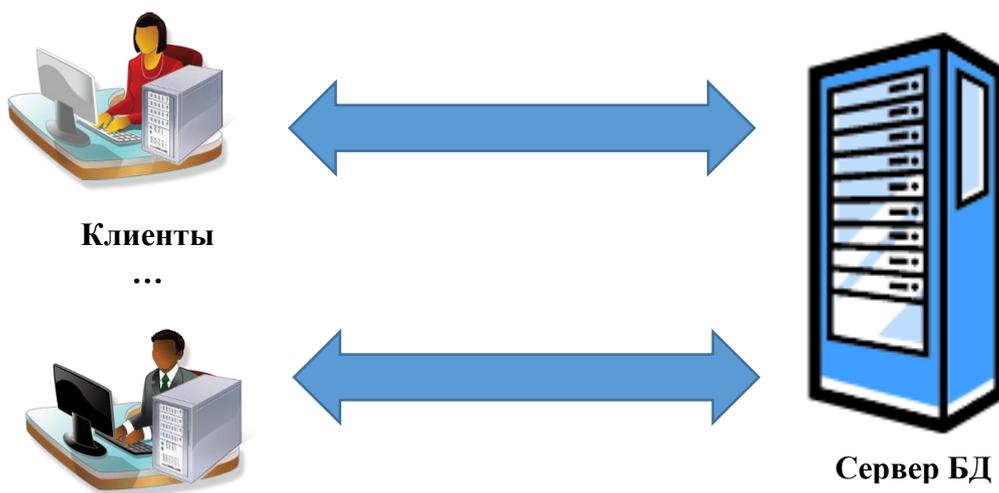


Рис. 6. Двухзвенная архитектура «клиент–сервер»



Рис. 7. Трехзвенная архитектура «клиент–сервер»

К классу серверов приложений относятся такие продукты как *Java EE, Sun GlassFish, IBM WebSphere, RedHat JBoss Application Server* и др.

Кроме серверов приложений в настоящее время широко используются серверные приложения, т.е. программы, которые расположены и функционируют на сервере, обслуживая все клиентские компьютеры.

1.3. Классификация информационных систем по выполняемым функциям

Классификация ИС по выполняемым функциям (информационно-справочные, информационно-поисковые, геоинформационные, информационно-моделирующие, ситуационные) очень важна для пользователя, поскольку позволяет различать и ориентироваться в принципиально разных информационных системах.

Геоинформационные системы – информационные системы, содержащие дополнительно редакторы растровой и векторной графики, позволяющие работать с цифровой картой местности. Такие системы изучаются в параллельном курсе, поэтому далее не рассматриваются.

1.3.1. Информационно-справочные и информационно-поисковые системы

Информационно-справочные и информационно-поисковые системы по выполняемым функциям можно отнести в один кластер. У обеих типов система задачей является выдать пользователю информацию по его запросу. У обеих типов систем есть база данных, в которой хранится нужная пользователям информация, и сервер для управления этой базой (вместе с СУБД). Главное отличие информационно-поисковых систем состоит в наличии **модуля индексирования**, позволяющего оперативно обновлять хранящуюся в БД информацию.

Модуль индексирования состоит из трех вспомогательных программ (роботов) [4]:

1. **Spider (паук)** – программа, предназначенная для сканирования веб-страниц. «Паук» обеспечивает скачивание страницы и извлекает все внутренние ссылки с этой страницы. Скачивается **html**-код каждой страницы. Для скачивания страниц роботы используют протоколы **HTTP**. Работает «паук» следующим образом. Робот на сервер передает запрос «get/path/document» и некоторые другие команды **HTTP**-запроса. В ответ робот получает текстовый поток, содержащий служебную информацию и непосредственно сам документ.

Ссылки извлекаются из тегов «**a**», «**area**», «**base**», «**frame**», «**frameset**» и др. (тег – это основной структурный элемент языка разметки **HTML**). Наряду со ссылками, многими роботами обрабатываются редиректы (перенаправления на другие **html**-страницы). Каждая скачанная страница сохраняется в следующем формате:

- **URL** страницы (**Uniform Resource Locator**);
- дата, когда страница была скачана;
- **http**-заголовок ответа сервера;
- тело страницы (**html**-код).

2. **Crawler («путешествующий» паук)** – программа, которая автоматически проходит по всем ссылкам, найденным на странице. Выделяет все ссылки, присутствующие на странице. Его задача – определить, куда дальше должен идти паук, основываясь на ссылках или исходя из заранее заданного списка адресов. **Crawler**, следуя по найденным ссылкам, осуществляет поиск новых документов, еще неизвестных поисковой системе.

3. **Indexer (робот-индексатор)** – программа, которая анализирует веб-страницы, скачанные пауками. Индексатор разбирает страницу на составные части и анализирует их, применяя собственные лексические и

морфологические алгоритмы. Анализу подвергаются различные элементы страницы, такие как текст, заголовки, ссылки структурные и стилевые особенности, специальные служебные *html*-теги и т.д. [4].

1.3.2. Информационно-моделирующие системы

Информационно-моделирующие системы (ИМС)– это информационные системы, использующие в своем составе компьютерные модели той предметной области, которую охватывает информационная система. В литературе такие модели еще называют имитационными, они позволяют проводить вычислительные эксперименты с объектами исследования так, как будто у нас был в распоряжении сам объект. В зарубежной литературе такие системы называют *симуляторами* (от англ. Simulation – моделирование). Этот термин в отличие от термина «модель» подчеркивает большее (максимально возможное) сходство с моделируемым объектом. Конечно, точность воспроизведения поведения объекта зависит от разработчиков таких систем.

Симуляторы

Симуляторы начали появляться благодаря компьютерным играм и именно в этой области добились впечатляющих успехов. Например, известный симулятор пилотирования самолетов *Microsoft Fly Simulator* используется не только как игра, но и как тренажер для обучения начинающих пилотов. Симулятор имеет в своем составе множество моделей реальных самолетов.

Поражает реалистичность изображения не только кабины пилота (рис.8) со всеми приборами и органами управления в интерактивном режиме онлайн, но возможность посмотреть свой полет со стороны (не прекращая полета), чего в профессиональных тренажерах добиться невозможно (рис. 9).



Рис. 8. Интерактивная кабина пилотов в симуляторе Microsoft Fly Simulator



Рис. 9. Пример просмотра своего полета со стороны в Microsoft Fly Simulator

Симуляторы создаются и в других областях. Так, симуляторы вождения автомобилей применяются при обучении водителей, а симуляторы ядерных реакторов – для обучения операторов АЭС. При этом симуляторы помогают спокойно отрабатывать аварийные ситуации, не опасаясь физических разрушений или гибели людей.

Наиболее целесообразны симуляторы в тех областях, когда поставить натурные эксперименты с объектом невозможно, очень дорого или опасно. Например, реальные ядерные взрывы очень опасны для экологии всей планеты, но применялись для изучения этих процессов достаточно долго, пока ведущие страны не договорились их прекратить. После этого их стали изучать только с помощью компьютерного моделирования.

ИМС PETREL

Широко распространены моделирующие системы и в нефтегазовом деле. Прежде чем начать разработку любого месторождения, строится его геологическая модель. При работе с гигабайтными массивами геологической информации на этапе проектирования разработки месторождений нефти или газа цена ошибки может составлять несколько миллионов долларов. Поэтому необходима максимально реалистичная трехмерная визуализация данных, которая достигается при использовании трехмерных геологических моделей.

Интуитивно понятное объемное представление геологических данных дает возможность инженерам быстро понять данные о месторождении, провести их анализ и выработать наилучшее решение по разработке месторождения. Это существенно ускоряет проектирование и позволяет оптимально спланировать траектории скважин и уменьшить количество ошибок при бурении.

Помимо проектирования буровых работ, трехмерное моделирование является эффективным средством презентаций геологической информации и 3D-презентаций проектов компании для акционеров, инвесторов и т.д. Геологическая модель представляет собой сеточный структурный каркас, каждая ячейка которого характеризуется набором связанных между собой и со структурой петрофизических параметров. 3D-геологическая модель может строиться на основе 2D-геологической модели.

При построении геологической модели используется следующая исходная геолого-геофизическая и промысловая информация:

- координаты устьев скважин;
- альтитуды стола ротора;

- результаты замера инклинометрии;
- границы пластов;
- кривые ГИС;
- результаты испытаний;
- поточечная обработка кривых ГИС;
- структурные сейсмические поверхности.

Геологические модели строятся с помощью программных комплексов, например, комплекса *PETREL* компании *Schlumberger*.

ИМС ECLIPSE

Кроме геологического моделирования широко применяется и гидродинамическое моделирование месторождений нефти и газа. Гидродинамическая модель месторождения – это математическая модель, воспроизводящая физические процессы в месторождении нефти или газа при его разработке [5].

Математическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных сохранения массы, импульса и энергии. Для решения систем дифференциальных уравнений применяют численные методы, основанные на конечно – разностном представлении производных [5].

Основная цель изучения пласта – предсказание его состояния и определение путей увеличения коэффициента извлечения нефти (КИН). Моделирование разработки нефтяных месторождений позволяет уточнить геологическое строение и фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) нефтяного пласта при воспроизведении истории разработки (history matching), а также выбрать наилучший вариант разработки месторождения при расчетах прогнозных вариантов [5].

Среди пакетов гидродинамического моделирования наиболее известен симулятор *ECLIPSE* компании *Schlumberger*. Этот симулятор позволяет решать множество задач. В качестве примера приведем задачу оптимизации заводнения месторождения для увеличения нефтеотдачи пласта.

На рис. 10 показан пример схемы расстановки нагнетательных и добывающих скважин в пакете *ECLIPSE*.

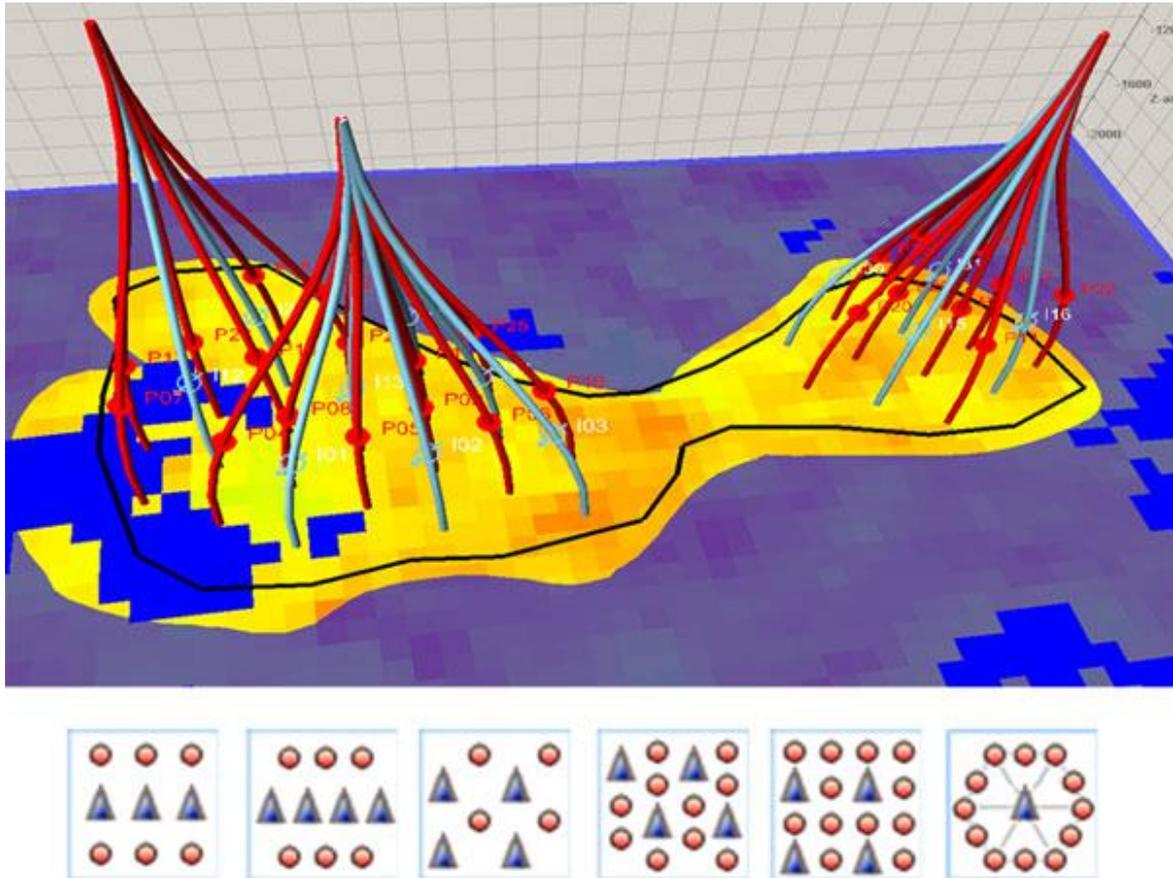


Рис. 10. Пример схемы расстановки скважин в пакете *Eclipse*

Эта система позволяет варьировать заведением различных скважин таким образом, чтобы коэффициент извлечения нефти (КИН) в результате оказался максимальным.

ИМС HYSYS и PIPESIM

Моделирующие системы применяются и для наземного оборудования месторождений. Например, программный комплекс *HYSYS* компании *AspenTech* широко применяется для моделирования с целью получения оптимальных параметров всего наземного комплекса нефтяных и газовых месторождений: нефтесборные (газосборные) сети, дожимные насосные станции (ДНС), установки подготовки нефти (УПН) и многое другое. Для этих же задач предназначен и пакет *PIPESIM* компании *Schlumberger*.

На рис. 11 приведен пример решения задачи трехступенчатой сепарации водо-газо-нефтяной смеси с помощью пакета *HYSYS*.

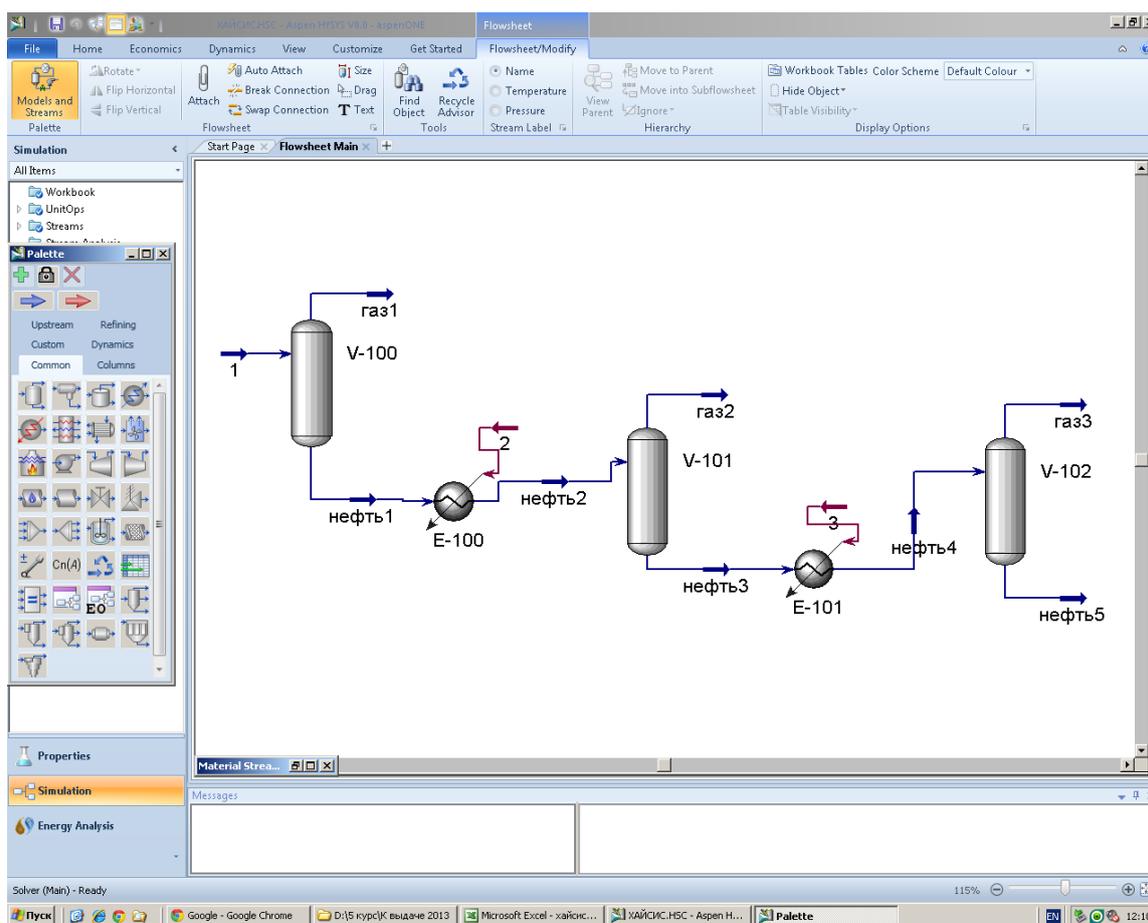


Рис. 11. Моделирование трёхступенчатой сепарации пластовой нефти с помощью пакета **HYSYS**

С помощью этого пакета можно подобрать такие термобарические условия (давление, температура) в каждом сепараторе, при которых процесс сепарации будет оптимальным для каждого заданного компонентного состава скважинной жидкости на входе. Критерием оптимальности может служить унос жидких углеводородов в газовый поток. Если его минимизировать, то будет прибыль товарной нефти на выходе.

ИМС PIPEPHASE

Моделирующий комплекс **PIPEPHASE** компании **SimSci-Esscor** предназначен для проектирования и оптимизации внутри-промысловых и магистральных трубопроводных сетей. В этом пакете рассчитываются

многофазные потоки через трубопроводы и сопутствующее им оборудование. На рис. 12 показан пример расчета крупной внутри-промышленной трубопроводной сети с помощью пакета *PIPEPHASE*.

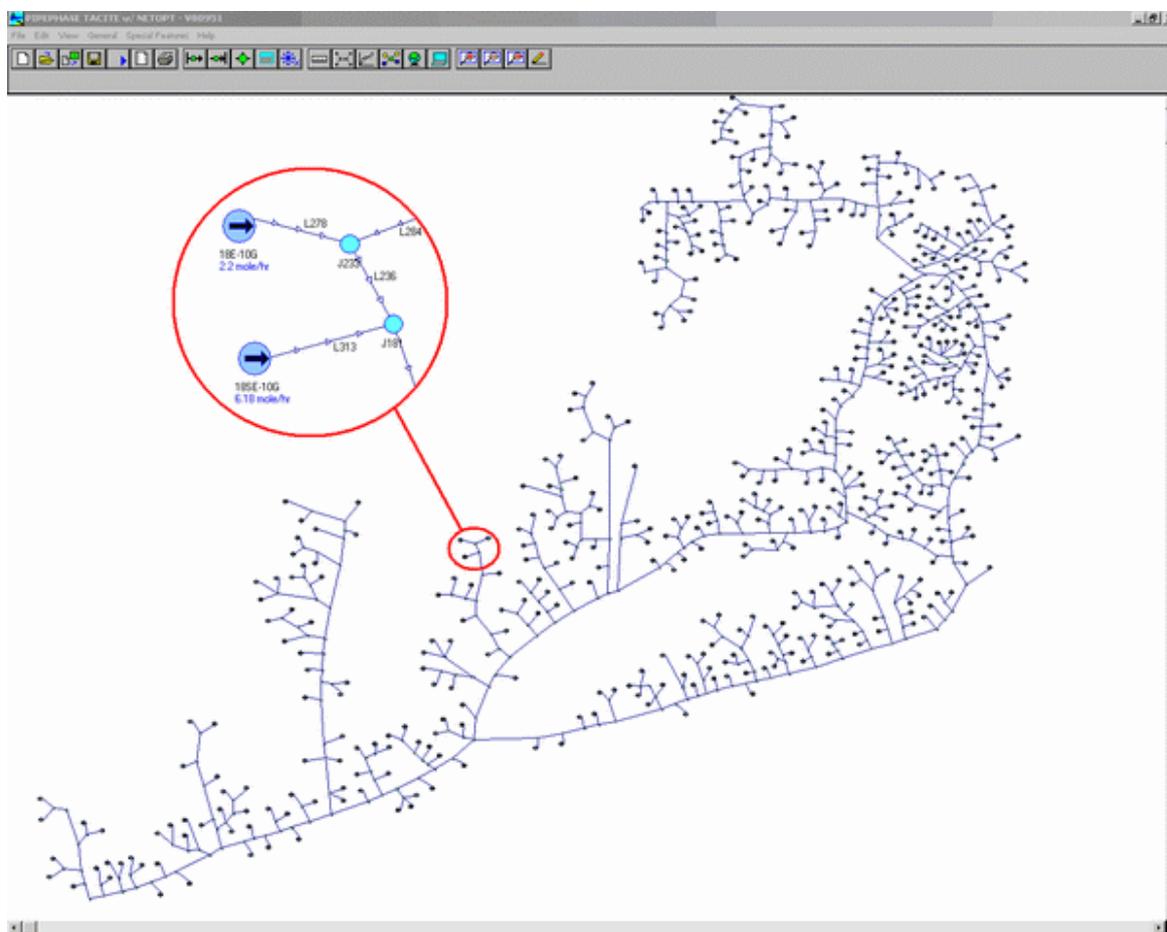


Рис. 12. Модель внутри-промышленной трубопроводной сети в пакете *PIPEPHASE* (каждая точка является отдельным объектом)

Эта же фирма выпускает продукт *DYNSIM*, предназначенный для моделирования динамики технологических процессов.

ИМC ANSYS

Широко известен пакет *ANSYS* одноименной компании, причем не только в нефтегазовом деле, но и в других областях, где требуется проводить гидродинамические, механические, тепловые, акустические и прочие сложные расчеты.

Это достигается за счет того, что пакет изначально был ориентирован на математическое описание и решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных систем интегро-дифференциальных уравнений, которыми описываются все перечисленные выше процессы. Отличия этих разнообразных задач, решаемых с помощью пакета *ANSYS*, заключаются только в задании входных данных и правильной интерпретации выходных данных.

На рис. 13 приведен пример решения задачи гидродинамического 3D-моделирования в пакете *ANSYS*.

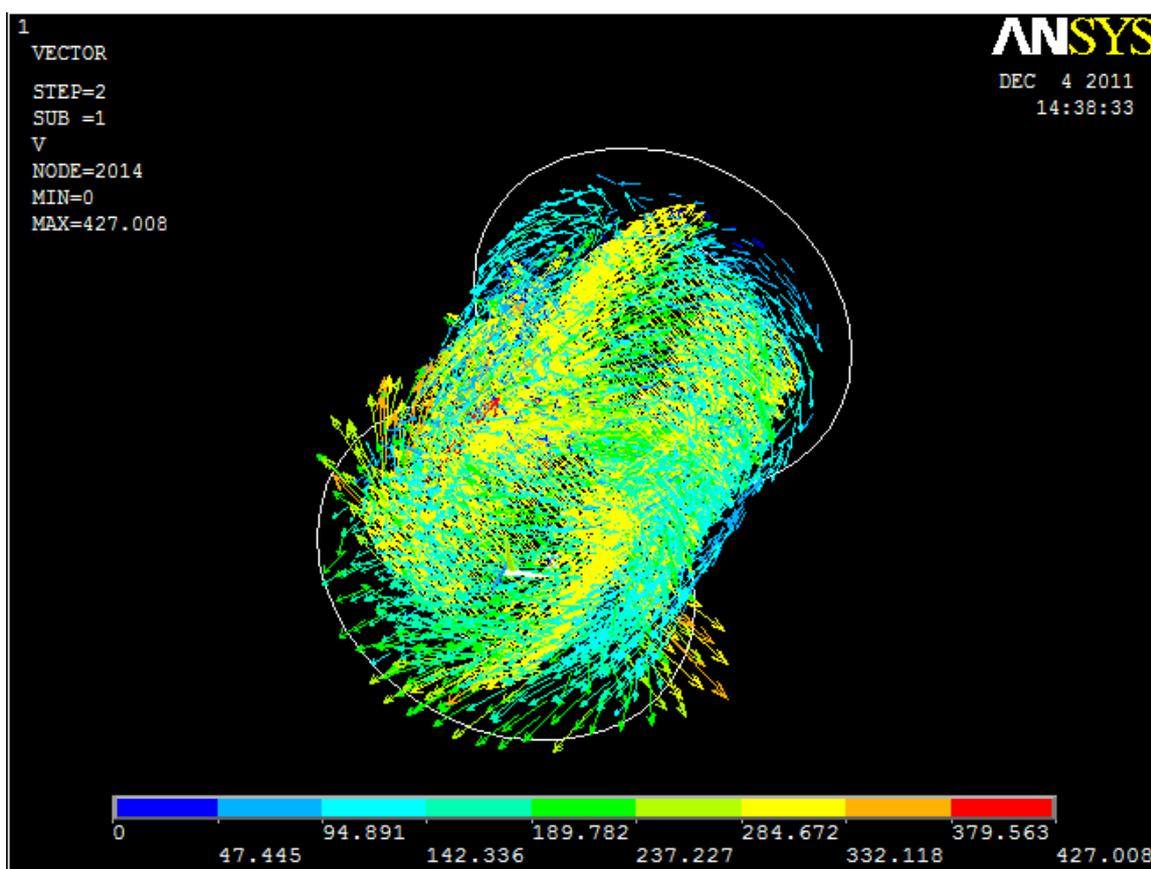


Рис. 13. Трехмерная гидродинамическая модель закрученного потока, полученная с помощью пакета ANSYS

Из рис. 13 наглядно видно, как происходит закручивание газового потока в трубе. Кроме изобразительных средств всю информацию о распределении газового потока можно посмотреть и в цифровом виде.

С помощью этого пакета можно проследить динамику газовых, жидкостных и многофазных потоков, исследовать влияние на эти потоки различных факторов и предложить новое техническое решение.

ИМС WELLFLO

Программный продукт *WellFlo* компании *Weatherford* – это полноценный симулятор одиночной скважины, который может использоваться для проектирования, моделирования, выявления неисправностей и оптимизации затрат на эксплуатацию.

В *WellFlo* можно анализировать скважины различной конструкции: вертикальные, наклонные, горизонтальные. Можно рассчитывать эффект от кислотной обработки призабойных зон скважины, гидроразрыва пласта (ГРП). Можно рассчитать псевдо скин-факторы из-за неполного вскрытия пласта, из-за перфорации, из-за наклона скважины, а также скин-фактор из-за повреждения пласта.

В программе *WellFlo* заложено множество PVT-корреляций, корреляций движения жидкости и газа по трубе, корреляций для расчета температуры. Также заложено много вариантов расчета притока в скважину. Можно моделировать различное скважинное оборудование и оценивать его влияние на рабочую точку: штуцера, клапана и др. (рис. 14).

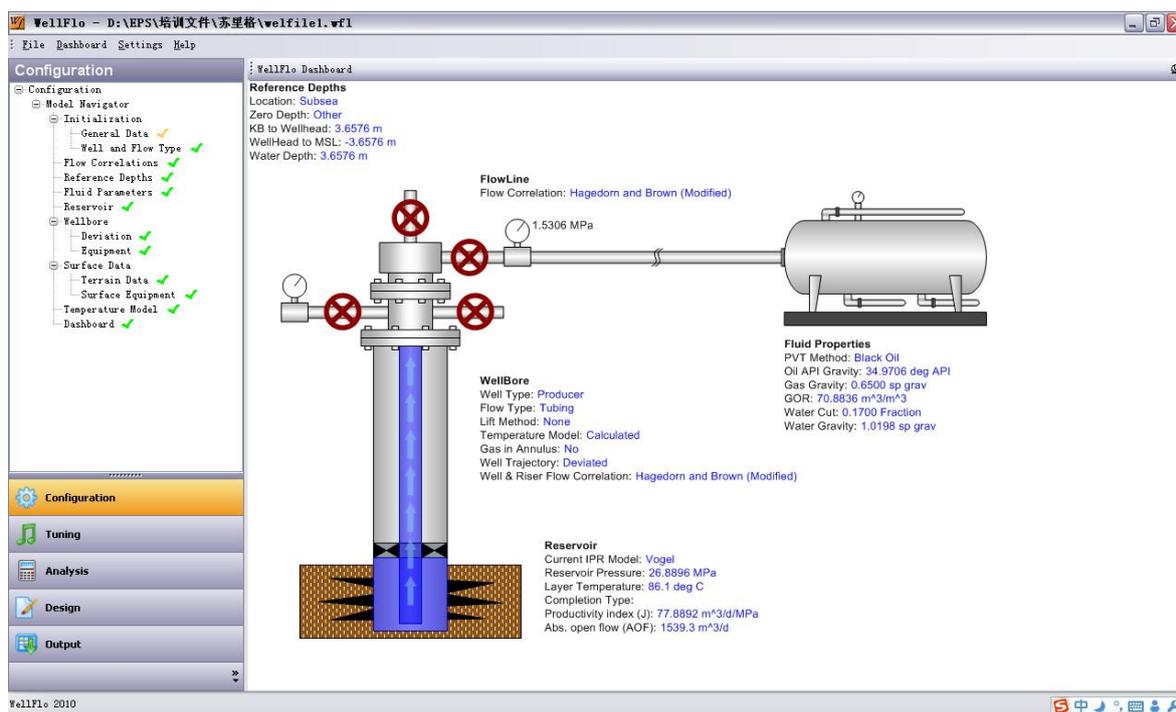


Рис. 14. Пример моделирования скважины в системе *WellFlo*

С помощью *WellFlo* можно моделировать морские скважины с райзером (трубопроводом, связывающий морскую буровую установку с подводным месторождением).

В одном проекте системы *WellFlo* можно сравнивать различные способы подъема скважинной жидкости: ЭЦН, газлифт, станок-качалка, фонтан. Расчеты из *WellFlo* можно загружать в *FieldFlo* – программу для проектирования и моделирования промышленных систем сбора.

Завершая этот раздел, следует отметить, что здесь перечислены только наиболее известные представители информационно-моделирующих систем, подробный их обзор заслуживает отдельного курса.

1.3.3. Ситуационные информационные системы

Ситуационные информационные системы появились в РФ относительно недавно благодаря обилию чрезвычайных ситуаций (ЧС). Они устанавливаются как правило в так называемых *ситуационных центрах* и предназначены для оперативного получения и отображения поступающей по всем каналам связи информации. Эта ситуационная информация используется для принятия управленческих решений, а также для контроля и мониторинга развития ситуаций во времени в наблюдаемом объекте. Ранее подобные системы назывались диспетчерскими.

Ситуационные центры подразделяются на корпоративные (закрытые для широкого круга пользователей) и общедоступные. Среди закрытых ситуационных центров наиболее мощные это: ситуационный центр МЧС России, ситуационный центр ГИБДД Москвы, ситуационный центр Московского метрополитена и др.

Существуют и общедоступные ситуационные центры. Конечно, они предназначены только для наблюдения и ни о каком управлении со стороны широкого круга пользователей речь не идет. Наиболее впечатляющим являются ситуационные информационные системы, отображающие в реальном времени находящиеся в полете гражданские самолеты. Это, например, Европейская система *FlightRadar24* или система США *RadarBox24* (<http://www.radarbox24.com>).

Эти ситуационные системы совмещены с геоинформационными системами, которые позволяют с помощью интерактивных карт увеличивать, уменьшать и перемещать наблюдаемую область полетов самолетов. Также можно наблюдать траекторию полета с информацией о высоте, скорости, типе воздушного судна, номере авиарейса и т.п. На рис. 15 приведен фрагмент такой системы.

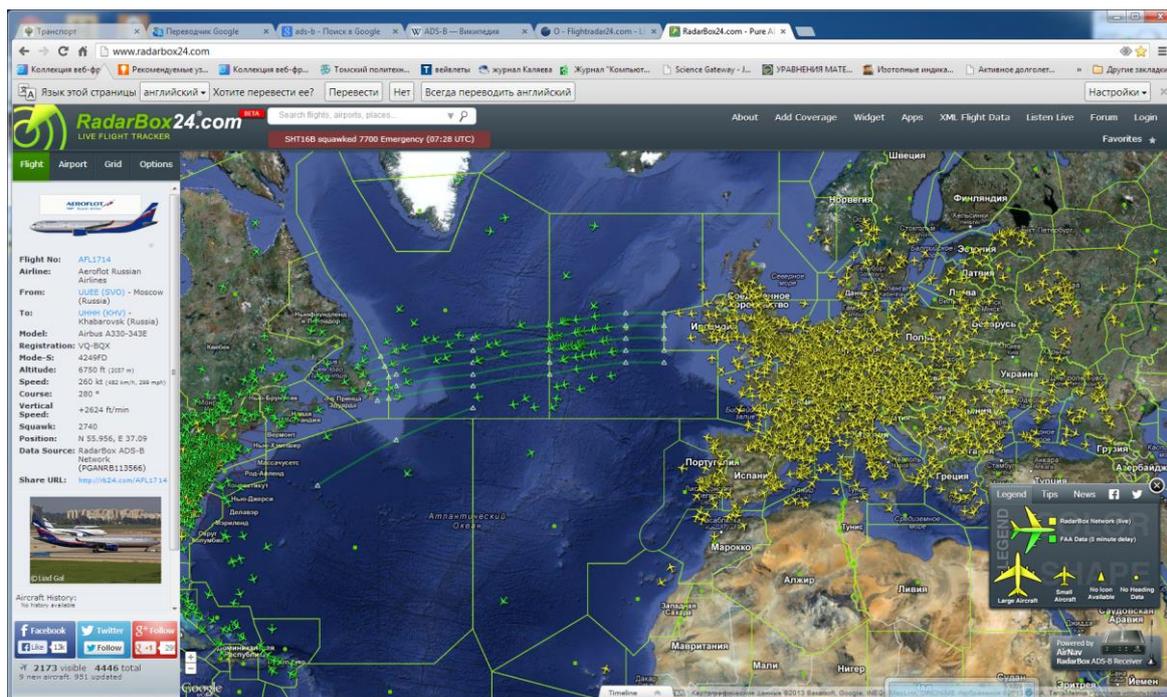


Рис. 15. Ситуационная информационная система авиа полётов RadarBox24

Информация в ситуационные центры собирается автоматически с помощью специальных датчиков и передающего оборудования.

Другим примером общедоступной ситуационной ИС может служить система Яндекс-пробки. Эта система устроена таким образом, что информацию о загруженности дорог собирают в том числе сами пользователи. Для этого они должны иметь подключенный к Интернет смартфон или планшет с GPS-навигатором и установленное на нем приложение Яндекс.Навигатор или Яндекс.Карты с включенным режимом «сообщать о пробках».

Все остальное делается автоматически. Каждые несколько секунд приложение передает свои координаты, направление и скорость движения. Передача идет через Интернет в систему Яндекс. Пробки. Далее специальная программа собирает эти данные воедино и отображает на Яндекс.Картах, которые видят уже все пользователи, а не только те, которые участвовали в сборе информации. На рис. 16 показан фрагмент ситуации в районе МКАД (г. Москва) на системе Яндекс.Пробки.

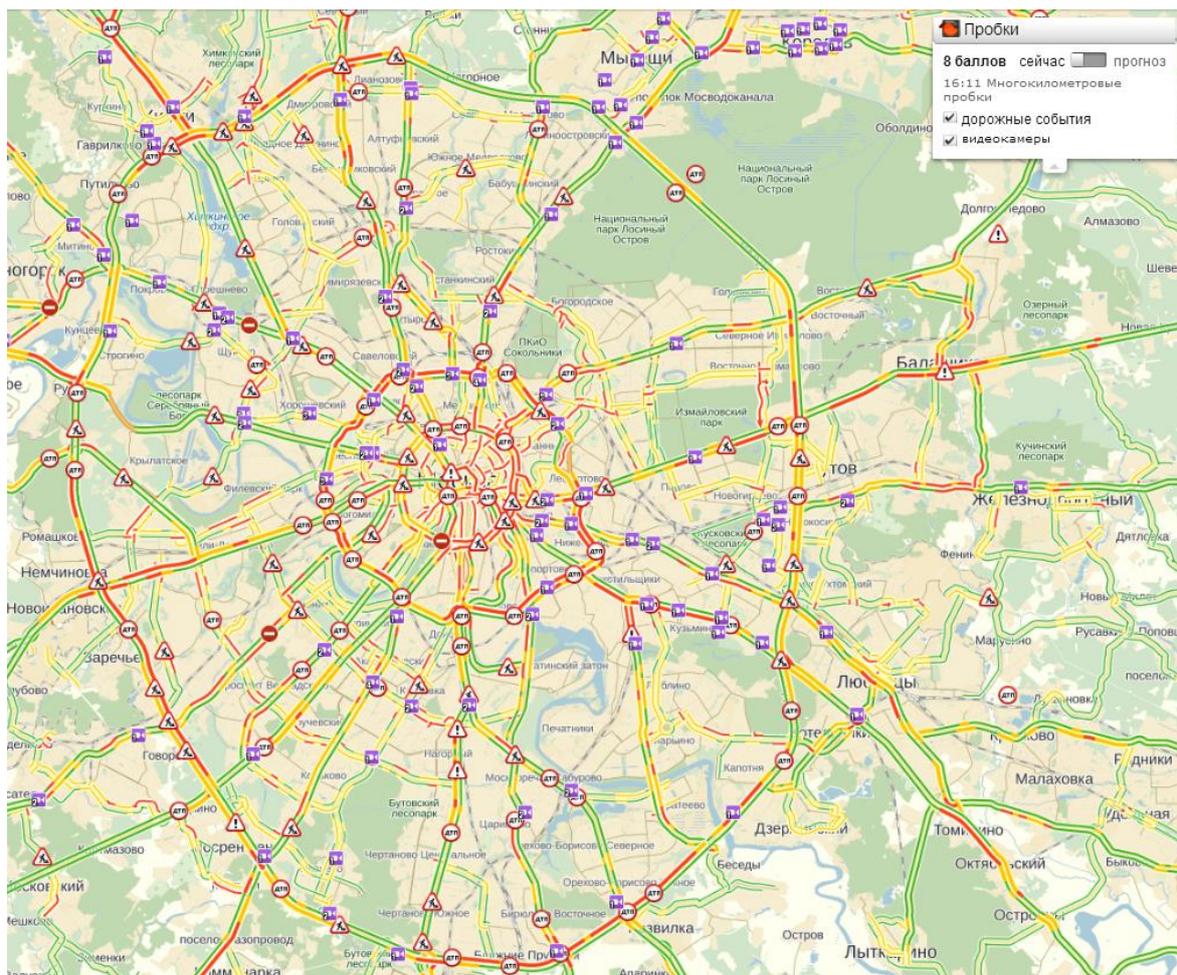


Рис. 16. Ситуационная информационная система Яндекс.Пробки (г.Москва)

Все данные обезличены и не содержат информацию о пользователе и автомобиле.

Аналогичные ситуационные информационные системы меньшего масштаба создаются для пассажирского автотранспорта, такси, грузоперевозок и т.п.

Учебно-ситуационный центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

В нефтегазовом секторе известен учебно-ситуационный центр в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина (г. Москва). Задачей этого центра является создание «виртуальных сред» производственной деятельности диспетчерских служб, которые бы позволяли имитировать:

- автоматизированные рабочие места (АРМ) диспетчерского персонала трех уровней производственно-диспетчерских служб;

- технологический процесс нефте- и газотранспортной сети на основе компьютерных моделей;
- информационную среду деятельности персонала;
- систему мониторинга и телеуправления технологическими объектами;
- характерные штатные и нештатные технологические ситуации, при которых персонал должен принимать оперативные решения;
- организационно-производственную среду принятия решений, в частности средства и порядок взаимодействия персонала различных уровней управления.

В состав учебно-ситуационного центра входит ЦУРМ (центр управления разработкой месторождения), который оснащен современным программным обеспечением, позволяющим моделировать реальные месторождения. Например, на рис. 17 приведена 3D-визуализации подземной части месторождения.

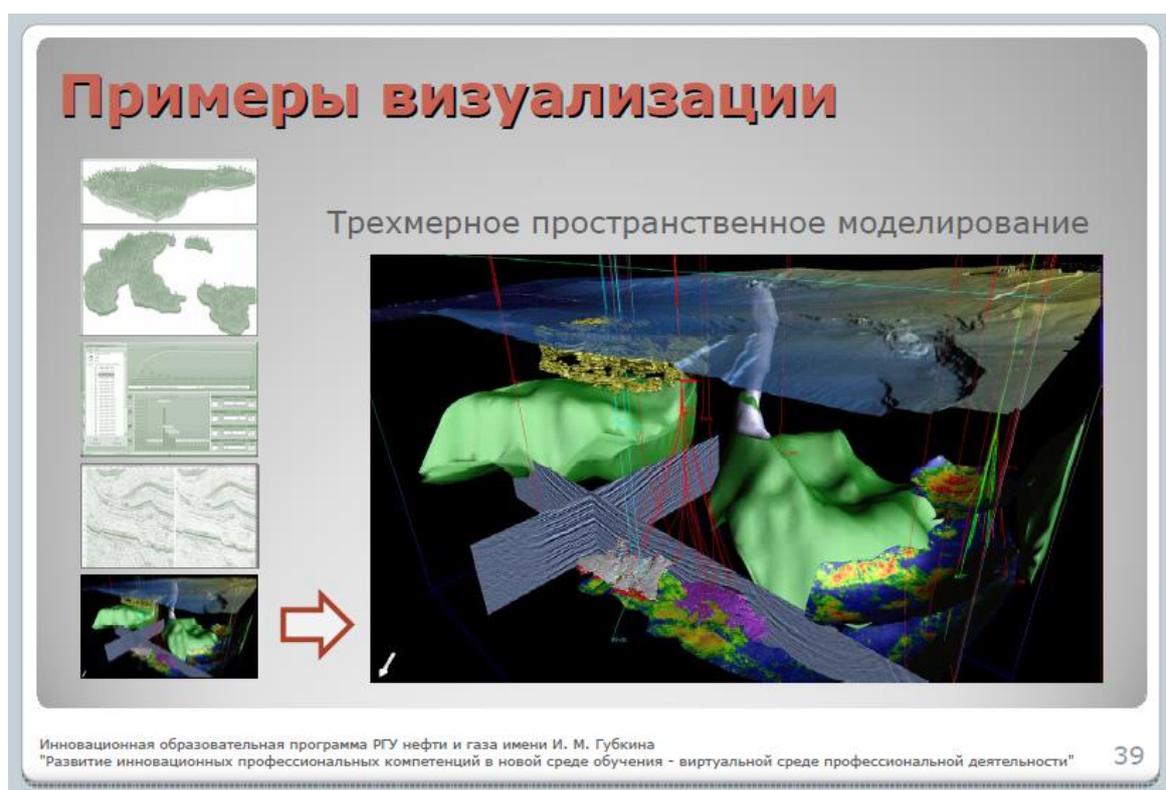


Рис. 17. Пример 3D-визуализации подземной части месторождения в ЦУРМ РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

Центр сопровождения бурения

В настоящее время наблюдается тенденция к созданию *смешанных систем*, в которых заложены и функции ситуационных систем, и функции информационно-моделирующих, и функции информационно-справочных и поисковых.

В качестве примера можно привести *центр сопровождения бурения* – сложное программно-техническое решение, состоящее из опробованных компонентов: система измерения и передачи буровых данных, среда моделирования, средства мониторинга в реальном времени, системы управления информацией. На рис. 18 приведен внешний вид Центра мониторинга и геологического сопровождения бурения компании «Башнефть», разработанный и изготовленный компанией *Schlumberger*.



Рис. 18. Центр мониторинга и геологического сопровождения бурения компании «Башнефть»

Ситуационные информационные системы тесно связаны с системами телеметрии, предназначенными для измерения данных с помощью различных датчиков и передачи их в центр обработки данных. Особенно

сложны системы телеметрии в бурении. Революционной технологией является создание беспроводных систем телеметрии для мониторинга скважины, например, системы *CaTS* компании *The Expo Group*. Она позволяет получать информацию от удаленных датчиков в режиме реального времени с использованием существующей проводящей (стальной) конструкции скважины без применения многокилометровых кабельных или инструментальных линий связи в стволе скважины.

1.4. Классификация информационных систем по сфере применения

Классификация информационных систем по сфере применения (офисные, производственные, финансовые, кадровые, маркетинговые и пр.) интуитивно понятна и не требует особых пояснений. Стоит только отметить, что в различных описаниях существуют устоявшиеся обозначения таких систем, которые необходимо знать, чтобы понимать, о какой системе идет речь.

ERP-системы

ERP (Enterprise Resource Planning) – информационная система планирования ресурсов предприятия, ориентированная на непрерывную балансировку и оптимизацию ресурсов посредством специализированного пакета программ, обеспечивающего общую модель данных и бизнес-процессов.

Наиболее известные ERP-системы для крупных предприятий – это разработки фирм *Baan*, *Oracle*, *PeopleSoft*, *JD Edwards*. Для средних и небольших предприятий лидируют такие ERP, как *Microsoft Dynamics (Navision, Axapta)*, *Sage Group*, *NetSuite*, *Plex*.

Функциональное наполнение **ERP**-систем описано в определениях **APICS** (American Production and Inventory Control Society, сейчас – Association for Operations Management) и *Gartner*. По версии **APICS** в **ERP**-системе должны быть реализованы следующие функциональные блоки [6]:

- автоматизации управления производственными ресурсами (Manufacturing Resource Planning – **MRPII**);
- автоматизации управления цепочками поставок (Supply Chain Management – **SCM**, в развитие Distribution Resource Planning – **DRP**);
- автоматизации расширенного объемно-календарного планирования (Advanced Planning and Scheduling – **APS**);

- автоматизации управления конструкторско-технологической документацией (Product Data Management – *PDM*);
- автоматизации конечного планирования ресурсов (Finite Resource Planning – *FRP*);
- электронной коммерции (Electronic Commerce – *EC*);
- автоматизации управления взаимоотношениями с клиентами (Customer Relationship Management – *CRM*, для покупателей – Sales Force Automation – *SFA*);
- бизнес-аналитики (Business Intelligence – *BI*);
- конфигурирования системы (Standalone Configuration Engine – *SCE*).

Финансовый блок (Financial Planning – *FP*) обычно включается в блок автоматизации управления производственными ресурсами *MRPII* или выделяется отдельно.

BPM-системы

BPM (Business Process Management) – система управления бизнес-процессами для любого предприятия (не обязательно производственного), основанная на концепции процессного управления и использующие моделирование, симуляцию, мониторинг и анализ бизнес-процессов. Они предусматривают возможность динамического перестроения моделей бизнес-процессов силами самих участников и средствами программных систем.

BPM-системы предназначены для решения следующих задач:

- оптимизация бизнес-процессов за счет мониторинга и аналитики в режиме реального времени, дающих полное видение деятельности предприятия;
- ускорение выполнения задач благодаря мощным и надежным механизмам совместной работы;
- конфиденциальное управление изменениями с интуитивно понятной реализацией;
- привлечение большего числа важных клиентов за счет расширения бизнес-процессов в мобильную сферу;
- полное понимание бизнес-операций на всех этапах благодаря их абсолютной интеграции с основными системами предприятия.

Сейчас на российском рынке присутствуют более 50 поставщиков ***BPM***-систем, причем их количество увеличивается. Наиболее известные ***BPM***-системы: ***IBM BPM, ActiveVOS, JBoss, Airs*** и др. Также их поставляют фирмы-гиганты, упомянутые в разделе поставки ERP-систем.

В *BPM*-системах описание бизнес-процессов производится, как правило, на специальном объектно-ориентированном языке *UML* (Unified Modeling Language). Основные средства языка *UML* – это диаграммы, в которых отражается взаимодействие всех элементов, которые можно задавать для описания предметной области. Графическое представление различных аспектов рассматриваемой предметной области значительно улучшает ее восприятие как разработчиками, так и пользователями. Этому же способствует и визуальный способ ее построения (по технологии *Drag&Drop* – «захватил и тащи») [1].

Пример диаграммы *UML*, описывающий взаимодействие классов «Пластовая нефть» и «Товарная нефть» приведен на рис. 19[1].

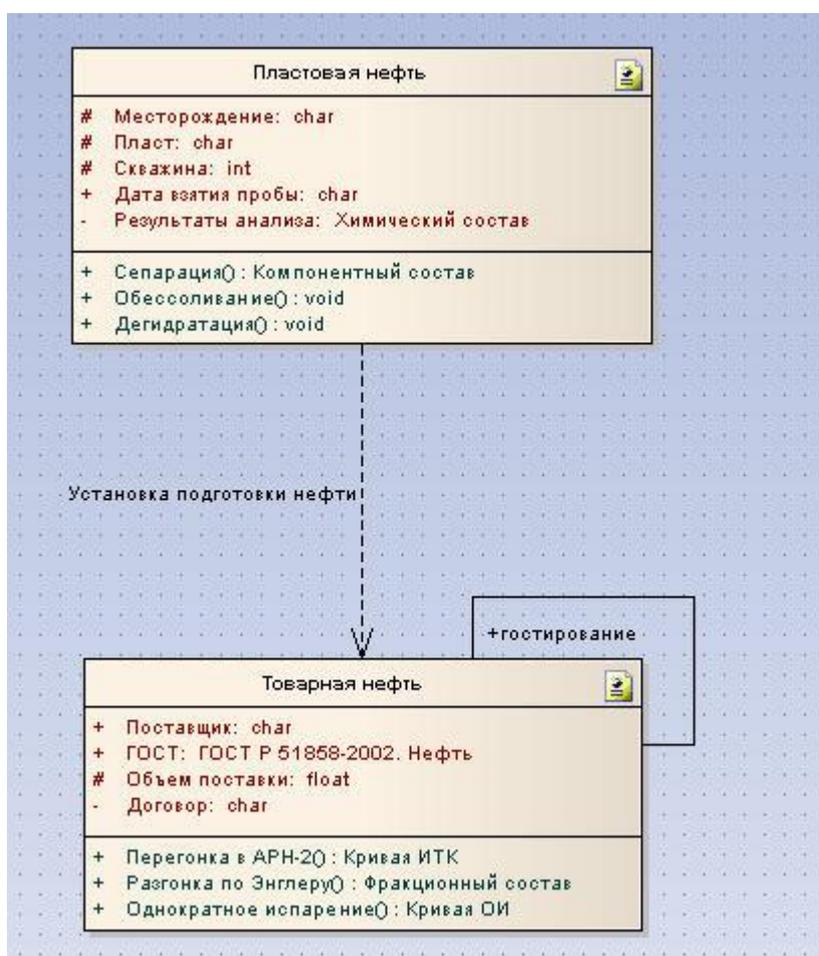


Рис. 19. Пример диаграммы UML, описывающий взаимодействие классов «Пластовая нефть» и «Товарная нефть»

Из приведенной диаграммы наглядно видно, что объект, принадлежащий классу «Товарная нефть», полностью зависит от объекта, принадлежащего классу «Пластовая нефть», и преобразуется с помощью комплекса бизнес-процессов, обозначенных на диаграмме как «Установка подготовки нефти». Также видно, что на классе «Товарная нефть» задана ассоциативная связь «Гостирование», которая позволяет проверить объекты этого класса на соответствие указанному ГОСТ.

Здесь показан небольшой фрагмент сложной бизнес-модели нефтегазового промысла, сделанной в системе *Airs*.

Эти диаграммы не являются просто картинками, полезными для простой систематизации информации о предметной области, поскольку в системе есть встроенные средства трансляции диаграмм в языки программирования, помогающие создать реально работающую информационную систему [1].

HRM-системы

HRM (Human Resources Management) – информационная система управления персоналом, направленная на воздействие на человеческую составляющую предприятия, ориентированная на приведение в соответствие возможностей персонала и целей, стратегий, условий развития предприятия. Задачами **HRM**-систем являются []:

- комплектация штата организации в соответствии со стратегией развития в кратко-, средне- и долгосрочной перспективах, а также с целями производственного плана, включая конкретные финансовые показатели;
- создание системы подготовки руководящего резерва, обеспечение преемственности руководства и снижение риска кадровых потерь;
- принятие решений о судьбе менеджеров, не справляющихся со своими задачами;
- ориентация службы управления персоналом на достижение производственных результатов.

В России HRM-системы реально внедряются начали после кризиса 2008–2010 гг. Так в 2011 г. количество внедренных **HRM**-систем возросло в 2,5 раза по сравнению с 2010 г. Лидером рынка является российская компания 1С с продуктом «1С: Зарплата и управление персоналом 8». Среди зарубежных поставщиков лидирует продукт немецкой фирмы **SAP**.

Следует выделить в отдельный кластер так называемые **SCADA**-системы, которые относятся к производственным системам. Ранее они

были известны под аббревиатурой АСУ ТП (автоматизированные системы управления технологическими процессами). Но здесь мы их не рассматриваем, поскольку их традиционно изучают в дисциплинах, посвященным средствам автоматизации.

Мы здесь также не рассматриваем информационные системы управления проектами, которые освещаются в рамках параллельно изучаемой дисциплины: «Методология проектирования в нефтегазовой отрасли и управление проектами. Системы автоматизированного проектирования».

1.5. Классификация информационных систем по интерфейсу

Классификация ИС по интерфейсу (алфавитно-цифровой, графический (*GUI*), дружелюбный (*Usability*), мультимедийный, тактильный) довольно условная и зависит от конечного терминала, с которого пользователь обращается в ИС.

Если в системе предусмотрено обслуживание терминалов с сенсорными экранами, которые за рубежом называют *Touch-Screen* или *Multi-Touch*, то такие системы относят к тактильным. Если в ИС предусмотрена обработка голосовых информационных запросов (например, в *Google*) или обработка видеосигнала (например, в системах слежения за дорожным движением автоматически распознаются номера проезжающих автомобилей) то такие ИС относят к мультимедийным.

Конечно, в настоящее время почти все ИС имеют графический интерфейс *GUI*, как более удобный для пользователей. Кроме этого, почти все системы стремятся сделать более интуитивно понятный и полезный пользователю интерфейс *Usability*.

Однако следует отметить, что алфавитно-цифровой (текстовый) интерфейс, как сложившийся исторически первым, не канул в небытие. В качестве примера можно привести весьма специфическую и необычную информационную систему Твиттер. По своему функциональному назначению Твиттер относится к социальным сетям, но он позволяет выполнять и функции информационных систем.

Сейчас многие политические деятели (и не только) используют Твиттер, чтобы очень быстро (почти мгновенно) информировать массы людей о своем отношении к тому или иному событию. Для этих целей Твиттер приспособлен даже лучше, чем телевидение и радио, поскольку сообщение через традиционное СМИ рядовому человеку легко пропустить, а сообщение через Твиттер хранится долго, и пользователь может в любой удобный для него момент прочитать его.

Система Твиттер позволяет любому зарегистрированному пользователю оставлять короткие записи (за один раз) до 140 символов. Главная особенность его в том, что есть **Followers** (Фолловеры – пользователи, которые подписались на ваш блог) и **Followings** (Фолловинги – это пользователи, на блоги которых подписаны вы). Сообщения в блоге называют Твитами (Tweets). Ваш твит увидят все Фолловеры, а вы, в свою очередь, видите твиты своих Фолловингов.

Пример работы в системе Твиттер приведен на рис. 20.

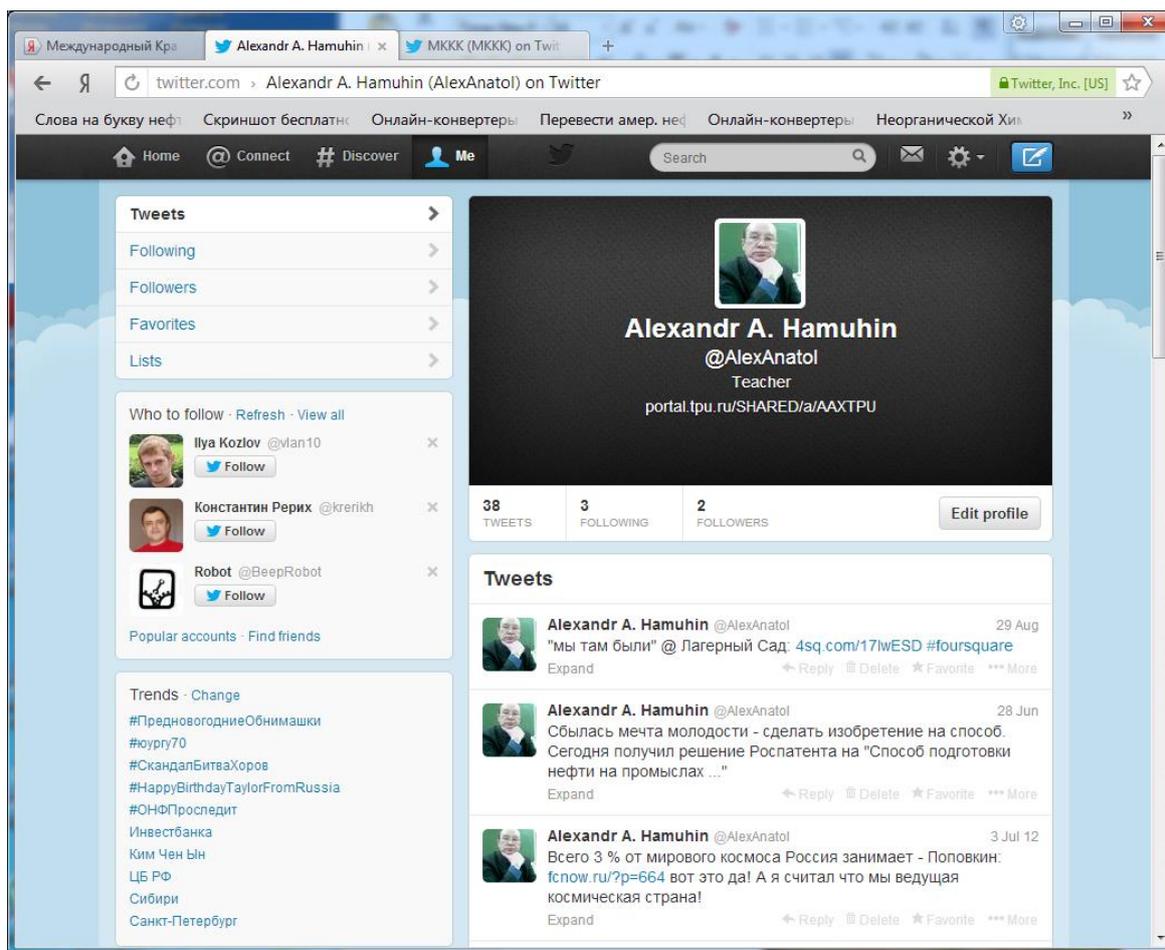


Рис. 20. Пример работы в системе Твиттер

Чем больше Фолловеров у человека, тем он считается популярнее. Например, у премьер-министра Медведева 2096032 Фолловеров (на дату написания этой страницы) и всего 64 Фолловинга. Т.е. он предпочитает получать информацию только от 64 человек, его же твиты ожидают более 2 млн. человек. У президента США Обамы Фолловеров гораздо больше

– более 40 млн. да и получать информацию он желает от гораздо большего числа людей – 655 тыс. Кроме политических деятелей систему Твиттер активно используют артисты, а с 2012 г. систему Твиттер разрешено использовать для рекламы. Международный Красный крест использует систему Твиттер для обмена ежеминутной информацией о локальных происшествиях, связанных с деятельностью организации.

Есть и курьезные случаи в Твиттере. Известно, что президент Медведев стимулировал чиновников использовать современные технологии в своей деятельности. Губернатор Тверской области Зеленин, который освоил смартфон и Твиттер, в 2010 г. на приеме в Кремле решил показать свои выдающиеся способности в сфере IT. Он сфотографировал тарелку с салатом, на которой явно был виден дождевой червяк и выложил фото в свой Твит (рис. 21). Причем снабдил фото текстом, что вот такое можно увидеть на приеме в Кремле.



Рис. 21. Фото в Твиттере бывшего губернатора Зеленина

Уже через несколько часов он одумался и удалил фото – но было поздно. Фолловеры растиражировали фото среди своих Фолловеров, те – дальше среди своих и т.д. В результате по всему миру получилось несколько десятков тысяч опубликованных копий этой фотографии и разразился политический скандал, который в результате стоил начинающему IT-пользователю губернаторского кресла.

1.6. Классификация информационных систем по способу обработки данных

Классификация информационных систем по способу обработки данных (централизованные, распределенные, интеллектуальные) предусматривает подразделение их на системы, обработка данных которых протекает в едином центре (*централизованные*) и в территориально разнесенных вычислительных узлах (*распределенные*). Интеллектуальные системы пока выделяются в один кластер только потому, что при обработке данных в системе используются методы искусственного интеллекта. Но это разделение носит временный характер, поскольку сейчас почти все разработчики стремятся повысить интеллектуальность своих ИС.

Во всех определениях *распределенных ИС* утверждается, что для пользователя она должна выглядеть как единая логическая система. Таким образом, распределенная ИС состоит из отдельных, независимых, автономных, возможно территориально разнесенных вычислительных узлов, связанных коммуникационной сетью и функционирующих для пользователя как единая логическая система.

Обычно к распределенной архитектуре прибегают чтобы увеличить вычислительную мощность ИС (т.е. уменьшить время обработки пользовательских запросов) и повысить надежность хранения данных за счет резервирования их в территориально разнесенных серверах, что существенно снижает риск их потери в случае ЧС. В качестве примеров СУБД, которые позволяют создавать распределенные ИС, можно упомянуть такие, как *Oracle, Informix, Ingres, Sybase*.

К *интеллектуальным информационным системам* (ИИС) традиционно относят технические или программные системы, способные решать задачи, традиционно считающиеся творческими, принадлежащими конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы. Структура интеллектуальной системы включает три основных блока – базу знаний, решатель и интеллектуальный интерфейс. Интеллектуальные системы изучаются группой наук, объединяемых под названием «искусственный интеллект».

В качестве решателя часто используется экспертная система и блок оптимизации, поскольку большинство интеллектуальных задач связано с поиском оптимальных значений некоторых параметров при наличии ограничений на эти и другие параметры.

Частным случаем ИИС являются широко распространенные за рубежом *BI-системы (Business Intelligence)*, которые часто называют *бизнес-аналитикой*. В настоящее время под бизнес-аналитикой понимают программные инструменты, используемые для преобразования, хранения, анализа, моделирования, доставки и трассировки информации в ходе

работы над задачами, связанными с принятием решений на основе фактических данных. При этом с помощью этих средств лица, принимающие решения, должны при использовании подходящих технологий получать нужные сведения в нужное время.

Помимо разнообразных средств формирования отчётности в **BI**-системы входят инструменты интеграции и очистки данных (**ETL**), аналитические хранилища данных и средства извлечения дополнительной информации из данных (**Data Mining**).

Стоит отметить, что **BI**-системы наиболее быстро совершенствуются в сторону повышения интеллектуальности, как и информационно-поисковые системы.

Наиболее ярким примером интеллектуальной информационной системы являются шахматные программы, например, **Chessmaster** (есть много других подобных программ). Она содержит в себе обширную базу данных шахматных дебютов и эндшпилей, специальный решатель, позволяющий выбрать оптимальный ход при ограничении по времени и обучающую систему.

Рынок **BI**-систем России и стран СНГ (лицензии и услуги) в 2012 году преодолел отметку в 43,125 млрд рублей, что на 25% больше, чем годом ранее (34,5 млрд рублей). На российском рынке на начало 2013 года было представлено более полутора десятков промышленных **BI**-платформ и множество систем анализа и отчетности, а также отраслевых решений. Среди более чем 260 **BI**-проектов, завершённых по данным делового портала **TAdviser** в 2012 году, половина пришлась на платформы **QlikView**, **IBM Cognos**, **SAP BusinessObjects**, **Contour BI**, **Prognoz Platform**.

1.7. Классификация информационных систем по степени защищенности информации

По степени защищенности информации ИС относятся к разным классам безопасности (от **D** до **A1**) в соответствии с Международными стандартами.

Классом **D** обозначаются незащищенные информационные системы. Класс **C** – для ИС с избирательным (произвольным) управлением доступом. В этом методе администратор системы назначает права доступа категориям пользователей. Класс **B** обозначает системы с мандатным (принудительным) управлением доступом. В этом методе администратор назначает метки безопасности как объектам (информации), так и субъектам (пользователям).

Так, например, пользователь с высокой меткой безопасности 7 из группы «Склад» не сможет получить доступ к объекту с меткой меньшей безопасности 6, если в метке не указана группа «Склад».

Самыми защищенными являются информационные системы, относящиеся классу **A1** (верифицированная безопасность). ИС класса **A1** относительно немного, например – *Boeing MLS LAN* (для создания надежных самолетов нужна надежная информационная система).

Требований безопасности по каждому классу достаточно много. Мы сформулируем здесь только основные из них [8].

Следует отметить, что класс **C** подразделяется на два подкласса (**C1** и **C2**), а класс **B** – на три подкласса (**B1**, **B2** и **B3**). Каждый следующий по защищенности класс включает в себя все требования предыдущего класса плюс добавляет свои собственные.

Подкласс **C1** менее безопасен, чем подкласс **C2**. Согласно требованиям класса **C1** необходимо разделение данных и пользователя, т.е. наряду с поддержкой концепции взаимного доступа к данным здесь возможно также организовать раздельное использование данных пользователями. Согласно требованиям класса **C2** необходимо дополнительно организовать учет на основе процедур входа в систему, аудита и изоляции ресурсов.

Подкласс **B1** является наименее, а **B3** – наиболее безопасным подклассом класса **B**. Согласно требованиям класса **B1** необходимо обеспечить «отмеченную защиту». Это значит, что каждый объект данных должен содержать метку о его уровне классификации. Например, метки: секретно, для служебного пользования и т.д.

Согласно требованиям класса **B2** необходимо дополнительно обеспечить формальное утверждение о действующей стратегии безопасности, а также обнаружить и исключить плохо защищенные каналы передачи информации. Согласно требованиям класса **B3** необходимо дополнительно обеспечить поддержку аудита и восстановления данных, а также назначение администратора режима безопасности.

Подтверждать класс безопасности ИС необходимо с помощью специальной процедуры сертификации. В нашей стране до недавнего времени действовала отечественная классификация безопасности ИС, но с 2012 г. началось внедрение Международной классификации.

В России наименования классов начинаются с буквы **К**. Сертификацию информационных систем в РФ осуществляют уполномоченные организации ФСТЭК (Федеральная служба по техническому и экспортному контролю). Сертификацию самих средств защиты информации осу-

ществляет Центр по лицензированию, сертификации и защите государственной тайны ФСБ России. На рис. 22 (а, б) показаны примеры таких сертификатов.



а) б)
Рис. 22. Сертификат ФСБ (а) на соответствие классу КС3 средства криптографической защиты информации «КриптоПро CSP» и сертификат ФСТЭК (б) на соответствие классу 4 программного средства защиты информации «Crypton Lock»

Примеры сертификатов взяты из открытых источников: <http://www.cryptopro.ru/certificates/> (сертификат ФСБ) и <http://www.ancud.ru/certificates.html> (сертификат ФСТЭК).

Следует отметить, что по Российской классификации класс 1 является самым наивысшим, что соответствует Международному классу А1.

1.8. Электронная цифровая подпись в ИС

Еще одним средством защиты информации в информационных системах является **электронная цифровая подпись (ЭЦП)**, которую в последнее время называют просто **электронная подпись (ЭП)**. Мы будем

придерживаться термина ЭЦП, поскольку именно этот термин официально утвержден в России на законодательном уровне (Федеральный закон Российской Федерации «ОБ ЭЛЕКТРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ» от 10 января 2002 г. № 1-ФЗ). В 2011 г. Закон принят в новой редакции, которая конкретизирует порядок его применения (№ 63-ФЗ).

В соответствии с этими законами необходимо придерживаться некоторых определений.. Ниже они процитированы без купюр [9]:

электронный документ – документ, в котором информация представлена в электронно-цифровой форме;

электронная цифровая подпись – реквизит электронного документа, предназначенный для защиты данного электронного документа от подделки, полученный в результате криптографического преобразования информации с использованием закрытого ключа электронной цифровой подписи и позволяющий идентифицировать владельца сертификата ключа подписи, а также установить отсутствие искажения информации в электронном документе;

владелец сертификата ключа подписи – физическое лицо, на имя которого удостоверяющим центром выдан сертификат ключа подписи и которое владеет соответствующим закрытым ключом электронной цифровой подписи, позволяющим с помощью средств электронной цифровой подписи создавать свою электронную цифровую подпись в электронных документах (подписывать электронные документы);

средства электронной цифровой подписи – аппаратные и (или) программные средства, обеспечивающие реализацию хотя бы одной из следующих функций - создание электронной цифровой подписи в электронном документе с использованием закрытого ключа электронной цифровой подписи, подтверждение с использованием открытого ключа электронной цифровой подписи подлинности электронной цифровой подписи в электронном документе, создание закрытых и открытых ключей электронных цифровых подписей;

сертификат средств электронной цифровой подписи – документ на бумажном носителе, выданный в соответствии с правилами системы сертификации для подтверждения соответствия средств электронной цифровой подписи установленным требованиям;

закрытый ключ электронной цифровой подписи – уникальная последовательность символов, известная владельцу сертификата ключа подписи и предназначенная для создания в электронных документах электронной цифровой подписи с использованием средств электронной цифровой подписи;

открытый ключ электронной цифровой подписи – уникальная последовательность символов, соответствующая закрытому ключу электронной цифровой подписи, доступная любому пользователю информационной системы и предназначенная для подтверждения с использованием средств электронной цифровой подписи подлинности электронной цифровой подписи в электронном документе;

сертификат ключа подписи – документ на бумажном носителе или электронный документ с электронной цифровой подписью уполномоченного лица удостоверяющего центра, которые включают в себя открытый ключ электронной цифровой подписи и которые выдаются удостоверяющим центром участнику информационной системы для подтверждения подлинности электронной цифровой подписи и идентификации владельца сертификата ключа подписи;

подтверждение подлинности электронной цифровой подписи в электронном документе – положительный результат проверки соответствующим сертифицированным средством электронной цифровой подписи с использованием сертификата ключа подписи принадлежности электронной цифровой подписи в электронном документе владельцу сертификата ключа подписи и отсутствия искажений в подписанном данной электронной цифровой подписью электронном документе;

пользователь сертификата ключа подписи – физическое лицо, использующее полученные в удостоверяющем центре сведения о сертификате ключа подписи для проверки принадлежности электронной цифровой подписи владельцу сертификата ключа подписи;

информационная система общего пользования – информационная система, которая открыта для использования всеми физическими и юридическими лицами и в услугах которой этим лицам не может быть отказано;

корпоративная информационная система – информационная система, участниками которой может быть ограниченный круг лиц, определенный ее владельцем или соглашением участников этой информационной системы.

В новой редакции эти определения уточнены [10]:

1) **электронная подпись** – информация в электронной форме, которая присоединена к другой информации в электронной форме (подписываемой информации) или иным образом связана с такой информацией и которая используется для определения лица, подписывающего информацию;

2) **сертификат ключа проверки электронной подписи** – электронный документ или документ на бумажном носителе, выданные удостоверяющим центром либо доверенным лицом удостоверяющего центра и подтверждающие принадлежность ключа проверки электронной подписи владельцу сертификата ключа проверки электронной подписи;

3) **квалифицированный сертификат ключа проверки электронной подписи (далее - квалифицированный сертификат)** – сертификат ключа проверки электронной подписи, выданный аккредитованным удостоверяющим центром или доверенным лицом аккредитованного удостоверяющего центра либо федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным в сфере использования электронной подписи (далее – уполномоченный федеральный орган);

4) **владелец сертификата ключа проверки электронной подписи** – лицо, которому в установленном настоящим Федеральным законом порядке выдан сертификат ключа проверки электронной подписи;

5) **ключ электронной подписи** – уникальная последовательность символов, предназначенная для создания электронной подписи;

6) **ключ проверки электронной подписи** – уникальная последовательность символов, однозначно связанная с ключом электронной подписи и предназначенная для проверки подлинности электронной подписи (далее – проверка электронной подписи);

7) **удостоверяющий центр** – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, осуществляющие функции по созданию и выдаче сертификатов ключей проверки электронных подписей, а также иные функции, предусмотренные настоящим Федеральным законом;

8) **аккредитация удостоверяющего центра** – признание уполномоченным федеральным органом соответствия удостоверяющего центра требованиям настоящего Федерального закона;

9) **средства электронной подписи** – шифровальные (криптографические) средства, используемые для реализации хотя бы одной из следующих функций – создание электронной подписи, проверка электронной подписи, создание ключа электронной подписи и ключа проверки электронной подписи;

10) **средства удостоверяющего центра** – программные и (или) аппаратные средства, используемые для реализации функций удостоверяющего центра;

11) **участники электронного взаимодействия** – осуществляющие обмен информацией в электронной форме государственные органы, органы местного самоуправления, организации, а также граждане;

12) **корпоративная информационная система** – информационная система, участники электронного взаимодействия в которой составляют определенный круг лиц;

13) **информационная система общего пользования** – информационная система, участники электронного взаимодействия в которой составляют неопределенный круг лиц и в использовании которой этим лицам не может быть отказано.

До принятия федерального закона об ЭЦП были попытки создания механизма ЭЦП на основе алгоритмов симметричного шифрования, но затем, используя преимущества двух ключей, механизм функционирования ЭЦП полностью перешел на алгоритмы асимметричной (двухключевого) криптографии.

В соответствии с асимметричными алгоритмами любая криптографическая процедура должно иметь два ключа: секретный (закрытый) и открытый ключ. Секретный (закрытый) ключ подписи используется для выработки электронной цифровой подписи. Только сохранение пользователем в тайне своего секретного ключа гарантирует невозможность подделки злоумышленником документа и цифровой подписи от имени заверяющего.

Открытый ключ подписи формируется как значение некоторой функции от секретного ключа, но знание открытого ключа не дает возможности определить секретный ключ. Открытый ключ может быть опубликован и используется для проверки подлинности подписанного документа, а также для предупреждения мошенничества со стороны заверяющего, в виде отказа его от подписи документа.

В настоящее время разработаны средства поддержки механизма ЭЦП, например, система комплексной защиты информации (СКЗИ) «Верба OW». В СКЗИ «Верба-OW» реализована система электронной цифровой подписи на базе асимметричного криптографического алгоритма согласно ГОСТ Р 34.10-94.

Электронная подпись вырабатывается на основе электронного документа, требующего заверения, и секретного ключа. Согласно стандарту документ «сжимается» с помощью функции хэширования. Однонаправленная хэш-функция получает на входе исходное сообщение произвольной длины и преобразует его в хэш-значение фиксированной длины (256 бит согласно ГОСТ Р34.11-94).

Схема формирования и проверки ЭП представлена на рис. 23.

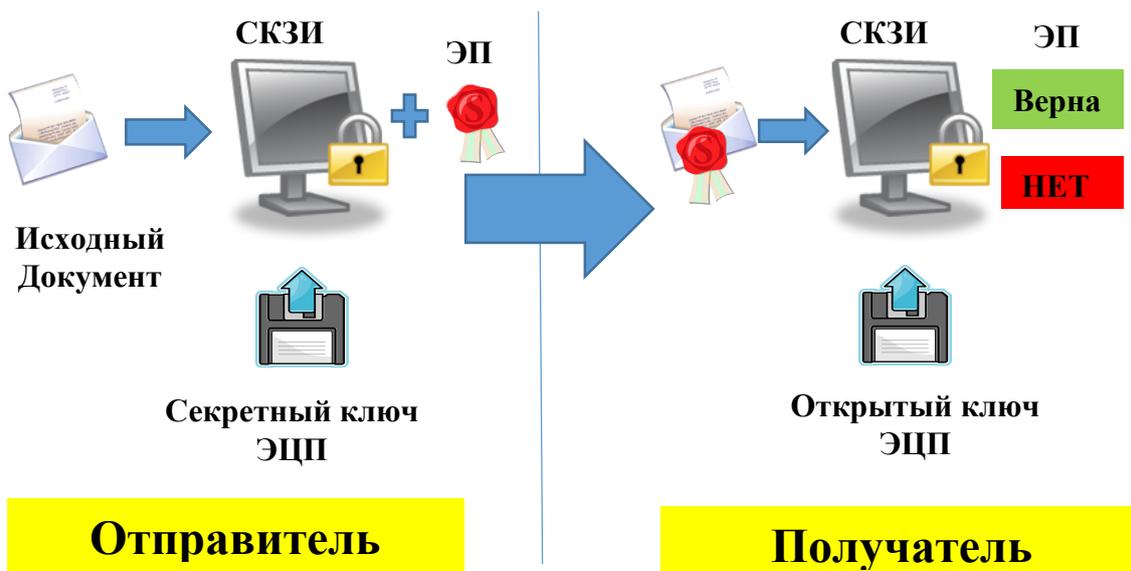


Рис. 23. Схема формирования и проверки ЭП

Значение хэш-функции сложным образом зависит от содержания документа, но не позволяет восстановить сам документ. Хэш-функция чувствительна к всевозможным изменениям в тексте. Кроме того, для данной функции нельзя вычислить, какие два исходных сообщения могут генерировать одно и то же хэш-значение, поскольку хэш-значения двух 256-битовых документов могут совпасть в одном из 2256 (1077) случаев.

Далее к полученному хэш-значению применяется некоторое математическое преобразование, в результате которого и получается собственно цифровая подпись электронного документа.

Процедура проверки подписи состоит из вычисления хэш-значения документа и проверки некоторых соотношений, связывающих хэш-значение документа, подпись под этим документом и открытый ключ подписавшего пользователя. Документ считается подлинным, а подпись – правильной, если эти соотношения выполняются. В противном случае подпись под документом считается недействительной.

При проверке подписи проверяющий должен располагать открытым ключом пользователя, поставившего подпись. Проверяющий должен быть полностью уверен в подлинности открытого ключа (а именно в том, что имеющийся у него открытый ключ соответствует открытому ключу конкретного пользователя).

Для разрешения споров между отправителем и получателем информации, связанных с возможностью искажения пересылаемого документа или открытого ключа проверки подписи, достоверная копия этого ключа

доверяется третьей стороне (Центру компетентности, или Удостоверяющему центру). Удостоверяющий центр вправе выдавать пользователям новые ЭП и разрешать конфликты, связанные с применением ЭП.

В РФ создан единый портал, на котором можно найти официальные удостоверяющие центры Российской Федерации, которые вошли в состав партнеров (<http://www.iecp.ru/juristic/companies/cert-a/ca-list/>).

На рис. 24 в качестве примера приведен сайт действующего (на момент написания этой страницы) Удостоверяющего центра ЕКЕУ для поддержки ЭЦП.

The screenshot shows the website of the Accredited Center for Electronic Signature Support (EKEY.RU). The browser address bar shows www.ekey.ru. The page has a blue header with the logo 'EKEY.RU УДОСТОВЕРЯЮЩИЙ ЦЕНТР' and navigation links: 'новости', 'главная', 'карта сайта', 'english'. Below the header is a menu with buttons: 'Получение ЭП', 'Где купить ЭЦП', 'ЭЦП для торгов', 'Партнерам', 'Электронная отчетность', 'Электронная подпись'. The left sidebar contains a list of services: 'Список торговых площадок', 'Поставщикам', 'Действующим ЭТП', 'Правовая база', 'Разработчики', 'Семинары по торгам', 'Скачать', 'Блог', 'О компании', 'Контакты'. Below the sidebar is a 'Горячая линия' (Hotline) section with the phone number 8 800 333-11-22 and office addresses in Moscow, Saint-Petersburg, and Yuzhno-Sakhalinsk. The main content area features a yellow banner with the text 'торговые площадки' and 'ЭЦП в электронных торгах'. Below the banner is a section titled 'ЭЦП для торгов' (Electronic Signature for Trading) with text explaining the center's services and partnerships. At the bottom, there is a diagram comparing 'Ситуация сейчас' (Current situation) with 'Бумажные документы' (Paper documents) and 'Как можно улучшить ситуацию' (How to improve the situation) with 'Электронные документы с ЭЦП' (Electronic documents with EES). The diagram shows a transition from paper documents to electronic documents with a red padlock icon representing the digital signature.

Рис. 24. Сайт Удостоверяющего центра ЕКЕУ для поддержки ЭЦП

В функции Удостоверяющего центра входят разнообразные услуги, связанные с формированием, выдачей, поддержкой и отзывом электронных подписей для различных сфер применения: для ведения Росреестра, для электронных торгов, для отчетности в ФНС, ПФР, ФСС, для госзаказа и пр. Также возможна выдача ЭП для физических лиц.

В законе об ЭЦП [9] оговариваются условия признания равнозначности электронной цифровой подписи и собственноручной подписи (Статья 4, Глава II).

1. Электронная цифровая подпись в электронном документе равнозначна собственноручной подписи в документе на бумажном носителе при одновременном соблюдении следующих условий:

- сертификат ключа подписи, относящийся к этой электронной цифровой подписи, не утратил силу (действует) на момент проверки или на момент подписания электронного документа при наличии доказательств, определяющих момент подписания;
- подтверждена подлинность электронной цифровой подписи в электронном документе;
- электронная цифровая подпись используется в соответствии со сведениями, указанными в сертификате ключа подписи.

2. Участник информационной системы может быть одновременно владельцем любого количества сертификатов ключей подписей. При этом электронный документ с электронной цифровой подписью имеет юридическое значение при осуществлении отношений, указанных в сертификате ключа подписи.

Сертификат ключа подписи, который выдается Удостоверяющим центром, должен содержать следующие сведения:

- уникальный регистрационный номер сертификата ключа подписи, даты начала и окончания срока действия сертификата ключа подписи, находящегося в реестре удостоверяющего центра;
- фамилия, имя и отчество владельца сертификата ключа подписи или псевдоним владельца. В случае использования псевдонима удостоверяющим центром вносится запись об этом в сертификат ключа подписи;
- открытый ключ электронной цифровой подписи;
- наименование средств электронной цифровой подписи, с которыми используется данный открытый ключ электронной цифровой подписи;
- наименование и место нахождения удостоверяющего центра, выдавшего сертификат ключа подписи;

• сведения об отношениях, при осуществлении которых электронный документ с электронной цифровой подписью будет иметь юридическое значение.

1.9. Вопросы к Главе 1

1. Дать определения информационной системе, базе данных и системе управления базами данных.
2. По каким характеристикам классифицируются информационные системы?
3. Дать определения и привести примеры локальных, групповых, корпоративных и глобальных ИС.
4. Дать определения и привести примеры файл-серверных, клиент-серверных, двухзвенных и многозвенных ИС.
5. Дать определения и привести примеры информационно-справочных и информационно-поисковых ИС.
6. Дать определения и привести примеры информационно-моделирующих ИС.
7. Дать определения и привести примеры ситуационных ИС.
8. Охарактеризовать кратко систему *PETREL*.
9. Охарактеризовать кратко систему *ECLIPSE*.
10. Охарактеризовать кратко системы *HYSYS* и *PIPESIM*.
11. Охарактеризовать кратко систему *PIPEPHASE*.
12. Охарактеризовать кратко систему *ANSYS*.
13. Охарактеризовать кратко систему *WellFlo*.
14. Дать определения и привести примеры **ERP**-систем.
15. Дать определения и привести примеры **BPM**-систем.
16. Что такое диаграммы *UML*?
17. Дать определения и привести примеры **HRM**-систем.
18. Как производится классификация ИС по интерфейсу?
19. Как производится классификация ИС по способу обработки данных?
20. Какие характерные признаки должны иметь интеллектуальные ИС?
21. Классификация ИС по степени защищенности информации.
22. Что такое сертификация информационных систем?
23. Понятие электронной подписи и принцип ее функционирования.
24. Что такое Удостоверяющий центр и каковы его функции?
25. Основные определения Закона об электронной подписи.

2. СПУТНИКОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Спутниковые информационные системы (СИС) или спутниковые системы связи, как их именуют в соответствии с исторически сложившейся традицией, получили в последнее время бурное развитие.

Это и спутниковый Интернет, и спутниковая телефония, и спутниковая навигация, и спутниковый мониторинг в дополнение к традиционному спутниковому телерадиовещанию, если говорить только о гражданском применении, не затрагивая военное.

Такое широкое проникновение спутниковых технологий в нашу повседневную деятельность еще нельзя считать законченным, а скорее надо полагать, что эти технологии находятся в начале своего развития и в будущем следует ожидать новых высокотехнологичных достижений.

Несмотря на такое быстрое и широкое проникновение спутниковых технологий, их применение требует определенного образовательного уровня, причем не только у специалистов, их обслуживающих, но и у всех инженеров, их применяющих в своей производственной деятельности.

Поэтому в новые ФГОС для магистерского направления «Нефтегазовое дело» включены такие положения, как (цитирую): «Приобретение умения работать во взаимодействии со специалистами смежных профессий с использованием различных, в том числе спутниковых информационных каналов; получение студентами знаний о способах передачи и преобразования информации, используемых каналов связи».

Количественная информация и основные определения этого раздела взяты частично из Википедии (Свободной энциклопедии), а также из учебно-методических материалов компании *HUGHES*, имеющей в Томском политехническом университете учебный центр, в котором автор настоящего пособия прошел 72-часовую подготовку. Остальные ссылки на первоисточники указаны по тексту.

2.1. Основные понятия спутниковых систем

Для изучения спутниковых информационных систем необходимо ознакомиться хотя бы с минимумом применяемых в этой области терминов и определений.

Транспондер (*Transponder*: от **Transmitter-responder** – передатчик-ответчик). – приёмопередающее устройство, посылающее сигнал в ответ

на принятый сигнал. На борту самолёта транспондер используется для идентификации авиадиспетчером воздушного судна.

Гидролокационные транспондеры работают под водой и используются для измерения дистанции до объектов.

Радарные транспондеры применяются для поиска потерявшихся (на спасательных плотках, на спасательных жилетах и т.п.).

Транспондеры применяются в *RFID*-метках (радиочастотных) для идентификации товаров, людей и любых других объектов.

Спутниковый транспондер – приёмопередатчик (трансивер) или повторитель (репитер), установленный на спутниках (космических аппаратах – КА). Используются для передачи сигналов телевидения, радиовещания, интернета и космической связи в *C*-, *Ku*-, *Ka*-диапазонах.

Особенностью использования транспондеров в КА является ограничение по мощности и частотному диапазону, что связано с ограниченными мощностями солнечных батарей на КА.

Транспондеры на КА могут быть с обработкой сигналов и без обработки (только передача на другой частоте).

На одном КА может быть до нескольких десятков транспондеров. Чем выше несущая частота, тем меньше размер приемо-передающих устройств.

C-диапазон – диапазон низких несущих частот спутниковой связи. Диапазон частот спутниковой связи от 4 до 8 ГГц (длина волны 7,5–3,75 см). Характерный размер параболических антенн 2,5 – 4,5 м.

Ku-диапазон – диапазон средних несущих частот спутниковой связи. Диапазон частот спутниковой связи от 10,7 до 18 ГГц (длина волны 2,8–1,67 см). Характерный размер параболических антенн 0,6 – 1,5 м.

Ka-диапазон – диапазон высоких несущих частот спутниковой связи. Диапазон частот спутниковой связи от 18 до 26,5 ГГц (длина волны 1,67–1,13 см), иногда до 31,5 ГГц. На этой несущей частоте самый маленький размер приемо-передающих устройств. Характерный размер параболических антенн 30 – 90 см.

K-диапазон – 84,0 – 86,0 ГГц. Характерный размер антенн 10 – 15 см.

Для подвижной спутниковой связи (спутниковые телефоны) выделены L-диапазон (1,4 – 1,7 ГГц) и S-диапазон (1,9 – 2,7 ГГц).

Соотношение диапазонов частот спутниковых каналов с другими приближенно показано на рис. 25.

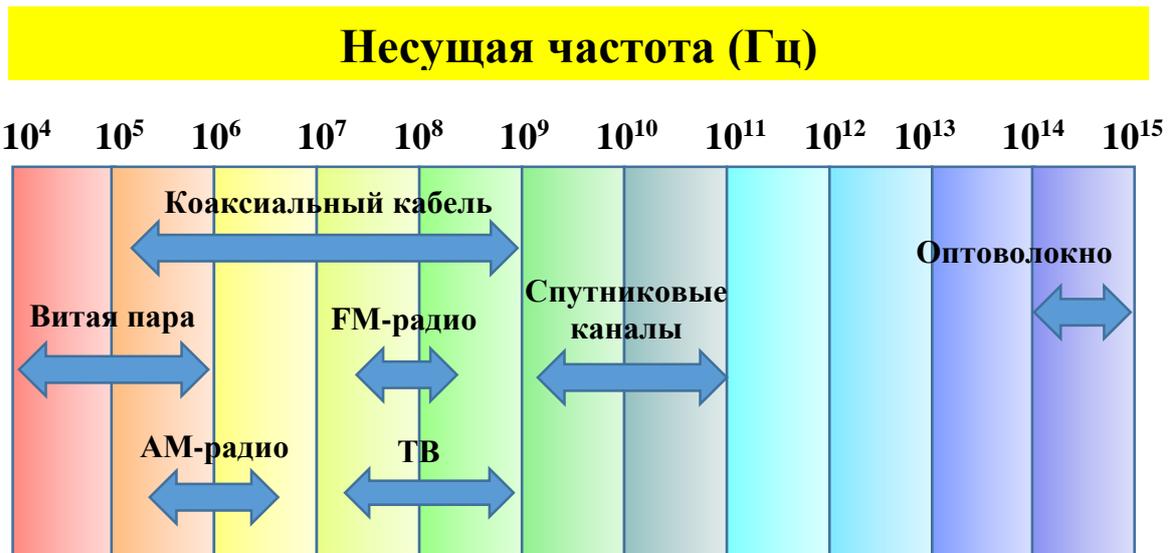


Рис. 25. Соотношение диапазонов частот спутниковых каналов с другими

Геостационарная орбита – круговая орбита, расположенная над экватором Земли (0° широты), находясь на которой спутник обращается вокруг планеты с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения Земли вокруг оси, и постоянно находится над одной и той же точкой на земной поверхности. Геостационарная орбита является разновидностью геосинхронной орбиты и используется для размещения спутников (коммуникационных, теле- радио-трансляционных и т. п.). Спутник должен обращаться в направлении вращения Земли, на высоте 35 786 км над уровнем моря. Именно такая высота обеспечивает спутнику период обращения, равный периоду вращения Земли относительно звёзд (сидерические сутки: 23 часа, 56 минут, 4,091 секунды) [11].

Геосинхронная орбита – орбита обращающегося вокруг Земли спутника, на которой период обращения равен звёздному периоду вращения Земли – 23 час. 56 мин. 4,1 с. Частным случаем является круговая орбита, лежащая в плоскости земного экватора, для которой спутник в небе практически неподвижен (геостационарная). Если орбита наклонена к экваториальной плоскости Земли, то при наблюдении с Земли спутник в течение суток описывает на небе восьмёрку [11]. Примерный вид спутниковых орбит представлен на рис. 26.

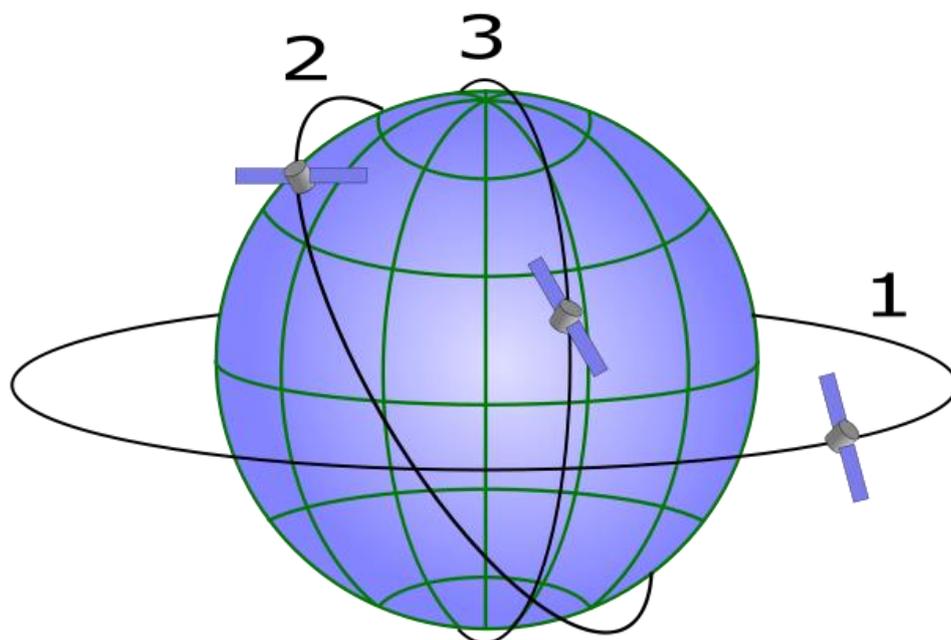


Рис. 26. Примерный вид орбит спутников (1 – геостационарная, 2 – геосинхронная, 3 – полярная)

Низкоорбитальные спутники – спутники, высота орбит которых находится в диапазоне 700–1500 км (для справки высота полета Международной Космической Станции с космонавтами лежит в диапазоне 330–430 км). Преимущества низкоорбитальных спутников (НОС): предоставление услуг персональной связи, включая радиотелефонный обмен, при использовании сравнительно дешевых малогабаритных спутниковых терминалов; меньшая мощность СВЧ-излучателя по сравнению с геостационарными (для человека рекомендуется использовать СВЧ-излучатели с мощностью менее 50 мВт).

Недостаток низкоорбитальных спутников – меньшая зона покрытия, поэтому требуется целая группировка НОС, чтобы обеспечить достаточно большую зону покрытия. Наиболее известные группировки: **Iridium** (66 НОС на высоте около 780 км), **Globalstar** (48 спутников на высоте около 1000 км), **Гонец** (РФ, 9 НОС, в планах – 45, для охвата территории России, высота около 1400 км, передача пока только текстовых сообщений).

Среднеорбитальные спутники (Mean Earth Orbit – МЕО) – спутники с высотой орбиты в диапазоне 5–20 тыс. км. При таких орбитах время видимости одного спутника с одной точки на Земле доходит до

нескольких часов, что позволяет снизить количество спутников в группировке до 10–12 и, кроме того, увеличить углы, под которыми их «наблюдают» абонентские терминалы.

Наиболее известные среднеорбитальные системы спутниковой связи: *ICO*, *Odyssey*. Пользователям этих систем предоставляются следующие виды услуг: двухсторонняя речевая связь, передача факсимильных данных, передача данных на скорости 2,4 кбод. Качество речевой связи соответствует стандарту GSM. Спутниковые телефоны выпускаются как отдельные устройства, так и совмещенные с обычным сотовым телефоном. При отсутствии спутника в пределах прямой видимости имеется оповещение абонентов о вызове, о наличии сообщения по электронной почте и отображения на экране номера вызывающего абонента.

Группировки, обеспечивающие спутниковую навигацию, также относятся к среднеорбитальным (американская группировка *GPS* высота около 20 тыс. км, российская *ГЛОНАСС* – высота 19100 км). Кроме этих двух навигационных группировок в последнее время активно развивается китайская группировка *Beidou* (будет завершена в 2015 г.) и европейская *Galileo* (планируется завершить к 2020 г.). Для среднеорбитальных спутников задержка распространения радиосигнала составляет 40–140 мс, что незаметно для восприятия речи на слух.

Высокоорбитальные спутники – это спутники, которые находятся на геосинхронной или геостационарной орбите (высота 35 786 км над уровнем моря, задержка передачи радиосигнала – от 400 до 600 мс). Наиболее известные системы: *Inmarsat BGAN* (3 спутника на геостационарной орбите), *Thuraya* (также 3 спутника). Российские высокоорбитальные спутники коммерческого типа предоставляются фирмой ЗАО «СЕТЬТЕЛЕКОМ» (<http://altegrosky.ru/>)

Схема геостационарных спутников – список геостационарных спутников начинается и заканчивается от Международной линии перемены даты. Геостационарные спутники расположены строго над экватором, на высоте 35 786 км над уровнем моря, в связи с этим для описания положения спутника достаточно указать, над каким меридианом он находится. Для неподвижного наземного наблюдателя геостационарный спутник как бы висит в одной и той же точке неба, не меняя своего положения в зависимости от времени суток и времени года [11]. На момент написания этой страницы в открытых источниках опубликовано 486 коммерческих спутников на геостационарных орбитах. Примерная их схема приведена на рис. 27.

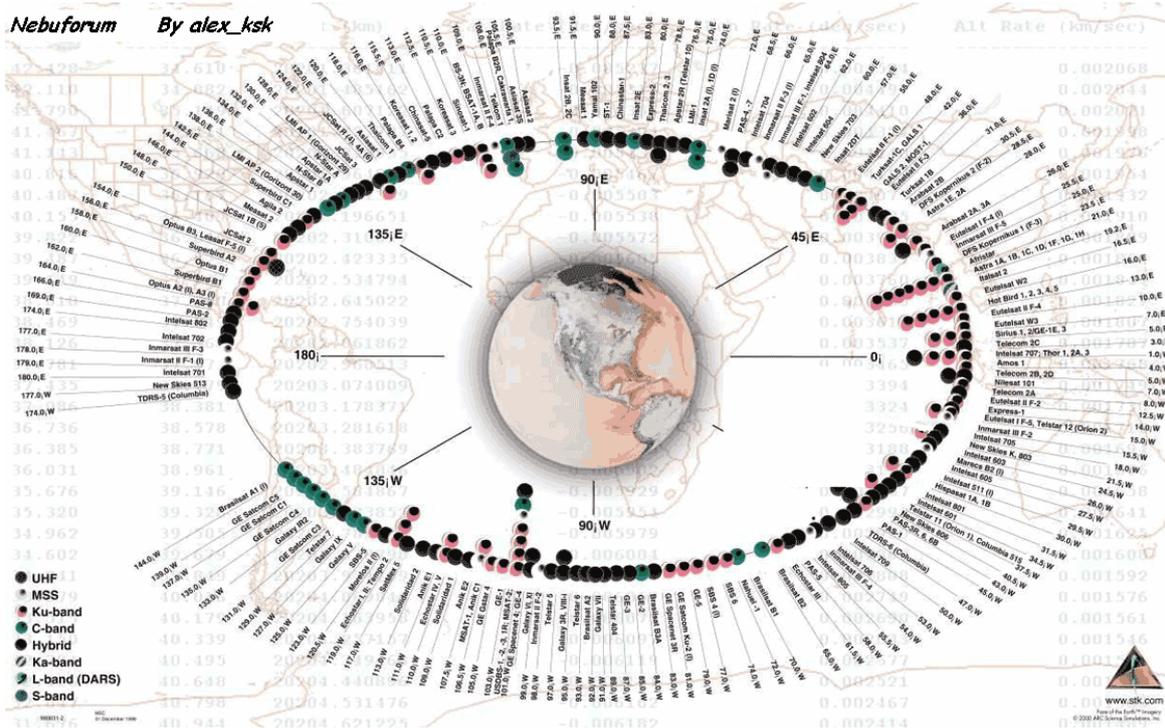


Рис. 27. Примерная схема геостационарных спутников

2.2. Спутниковые антенны и выбор спутников связи

Как видно из предыдущего рисунка, коммерческих спутников связи достаточно много и встает вопрос об их выборе. Для этого необходимо познакомиться еще с несколькими терминами и определениями.

Зона покрытия спутника – часть поверхности земного шара, в пределах которой обеспечивается уровень сигналов от спутника, необходимый для их приема с заданным качеством, а также гарантируется способность приема на входе спутника сигналов от земной станции, обладающей определенными параметрами.

Зона покрытия зависит от таких параметров как позиция спутника на орбите (необязательно геостационарной), диаграммы направленности транспондеров и мощности передатчика. Виды зон покрытия спутника: глобальные (вся видимая со спутника часть поверхности Земли при малой неравномерности усиления бортовой антенны), полуглобальные, зональные.

Зоны покрытия разных спутников можно посмотреть реально на сайте <http://www.satbeams.com/> (англ.) или <http://sat-media.net/map/map.htm> (рус.)

На рис. 28 показан пример определения зоны покрытия спутника Ямал-202, полученный с помощью ресурса <http://www.satbeams.com/>.

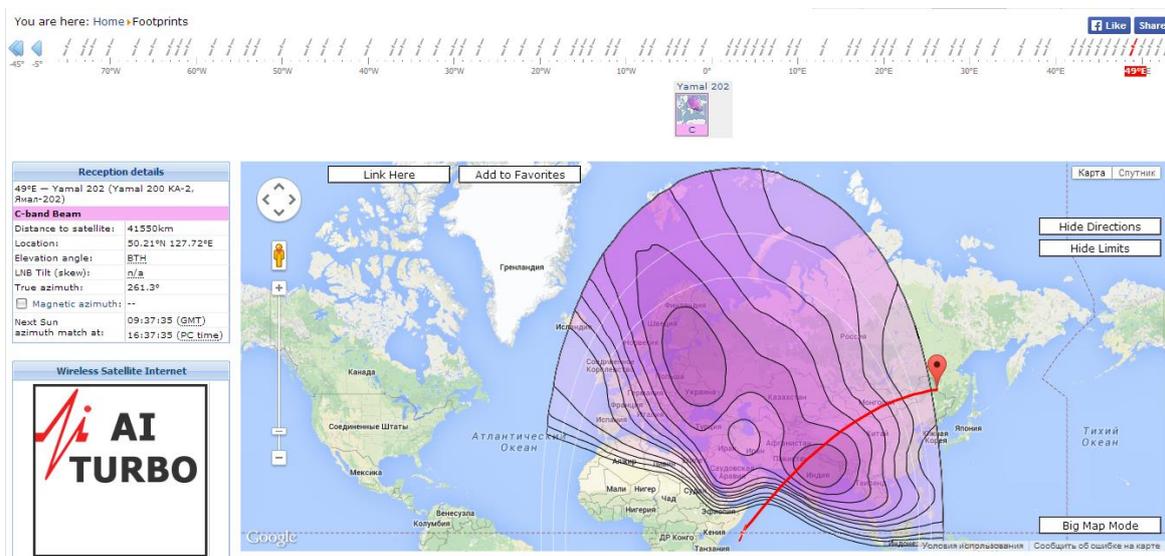


Рис. 28. Пример зоны покрытия спутника Yamal 202 (Россия)

Сверху расположена линейка спутников, по которой можно двигаться и выбирать щелчком любой спутник (в данном случае выбран спутник Ямал-202, который находится на 49° в. д.)

Цветная область на карте показывает зону гарантированного приема сигнала. На карте можно поставить точку в любом месте и ресурс определит уровень мощности сигнала от спутника и рекомендуемый диаметр спутниковой антенны.

Слева в таблице показано расстояние от выбранной точки до спутника (*Distance to satellite*), координаты выбранной точки (*Location*), астрономический азимут (*True azimuth*), угол поворота конвертора антенны (*LNB Tilt (skew)*) и угол места (*Elevation angle*). Последние три значения необходимы для настройки антенны.

Астрономический азимут отсчитывается от направления на юг. Угол поворота конвертора нулевой, если антенна находится на той же долготе, что и спутник (угол отрицательный, если долгота расположения антенны больше, чем долгота расположения спутника и наоборот). Угол места представляет собой угол между горизонталью и направлением на спутник и показан на рис. 29.

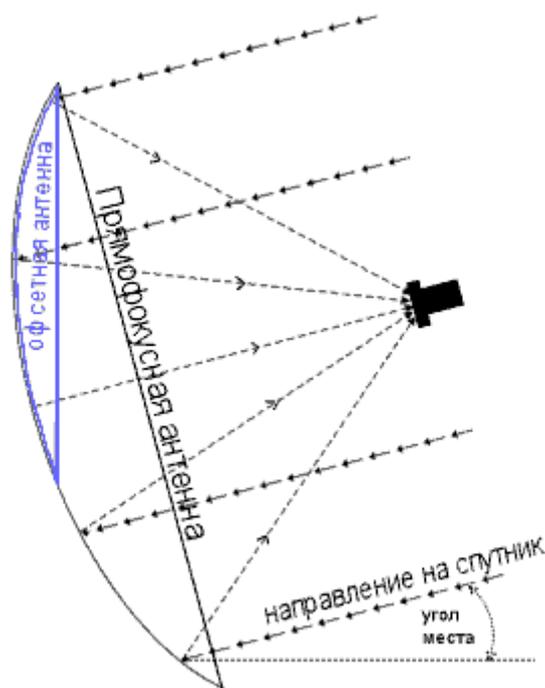


Рис. 29. Пример установки угла места для прямофокусной и офсетной антенн

Настройка антенны на спутник производится с помощью специальных приборов, например, *Sat-Finder*. Этот прибор подключается между конвертером антенны и ресивером (спутниковым модемом) и показывает уровень сигнала.

Заметим, что точная предварительная установка угла места для офсетной антенны является достаточно непростой задачей. Дело в том, что офсетная антенна как бы вырезана из параболоида вращения немного сбоку от его центра. Поэтому направление, совпадающее с осью параболоида вращения на офсетной антенне, не зная ее конструктивных параметров, определить практически невозможно. Для каждой конструкции офсетной антенны должен быть известен угол между плоскостью среза этой антенны и плоскостью среза прямофокусной антенны, направленной в ту же точку. Измерить его на готовой антенне очень сложно, а узнать обычно можно только из документации производителя антенны [12].

Карту на ресурсе <http://www.satbeams.com/> можно уменьшать и увеличивать, чтобы видно было конкретный населенный пункт. Например, на рис. 30а показан пример проверки города Благовещенск на попадание в зону покрытия спутника Ямал-202 (вне зоны). А на рис. 30б показан пример, когда населенный пункт (в данном случае – город Хулун-Буир, Монголия) попадает в зону покрытия спутника Ямал-202. В этом случае

ресурс показывает уровень сигнала от спутника (в децибелах) и рекомендуемый диаметр прямофокусной параболической антенны (в данном случае – 1,7 м).

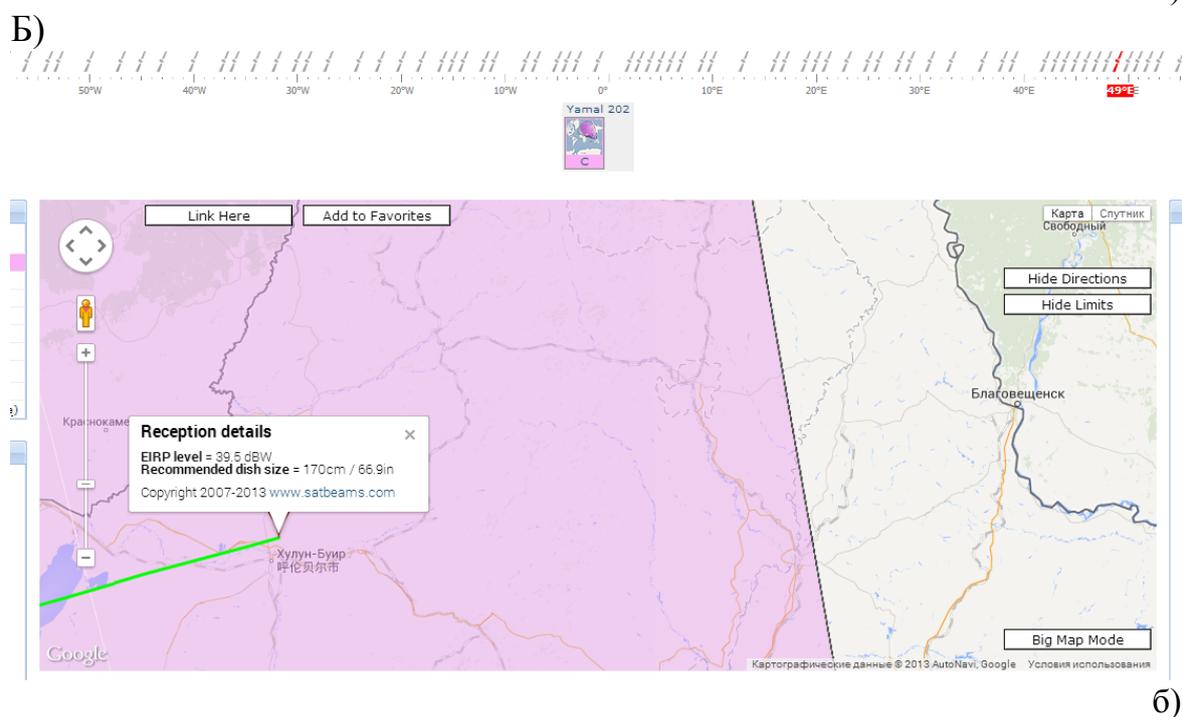
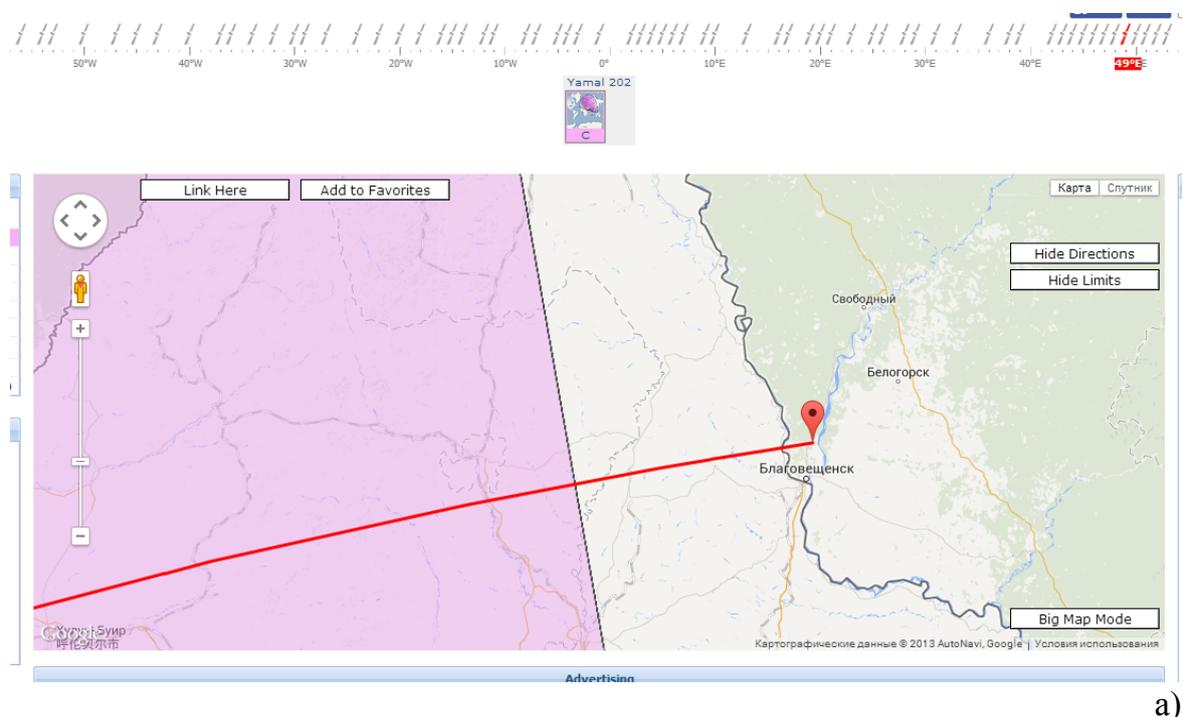


Рис. 30. Примеры непопадания (а) и попадания (б) в зону покрытия спутника Yamal 202 (Россия)

Зеркальная спутниковая антенна – антенна, у которой сигнал для последующего использования формируется в результате отражения электромагнитной волны от поверхности рефлектора (зеркала). Зеркальные антенны подразделяются на прямофокусные, офсетные и тороидальные. Кроме однозеркальных антенн выпускаются также двухзеркальные.

Прямофокусная (осесимметричная) спутниковая антенна – антенна, у которой корпус представляет собой симметричный параболоид вращения. В зависимости от используемого геостационарного спутника, диаметры приемных антенн могут быть от 0,55 м до 4,5 м, что определяется уровнем сигнала со спутника. Недостатки прямофокусных антенн – затенение полезной площади облучателем, залив воды, снега (рис. 31).



Рис. 31. Внешний вид прямофокусной спутниковой антенны

Офсетная спутниковая антенна – антенна, у которой корпус представляет собой несимметричную вырезку из параболоида вращения с облучателем в фокусе параболоида. Фокус такого сегмента расположен ниже геометрического центра антенны. Это устраняет затенение полезной площади антенны облучателем и его опорами, что повышает ее коэффициент полезного использования при одинаковой площади зеркала с осесимметричной антенной [11]. Схематическое отличие офсетной антенны от прямофокусной показано на рис. 32.

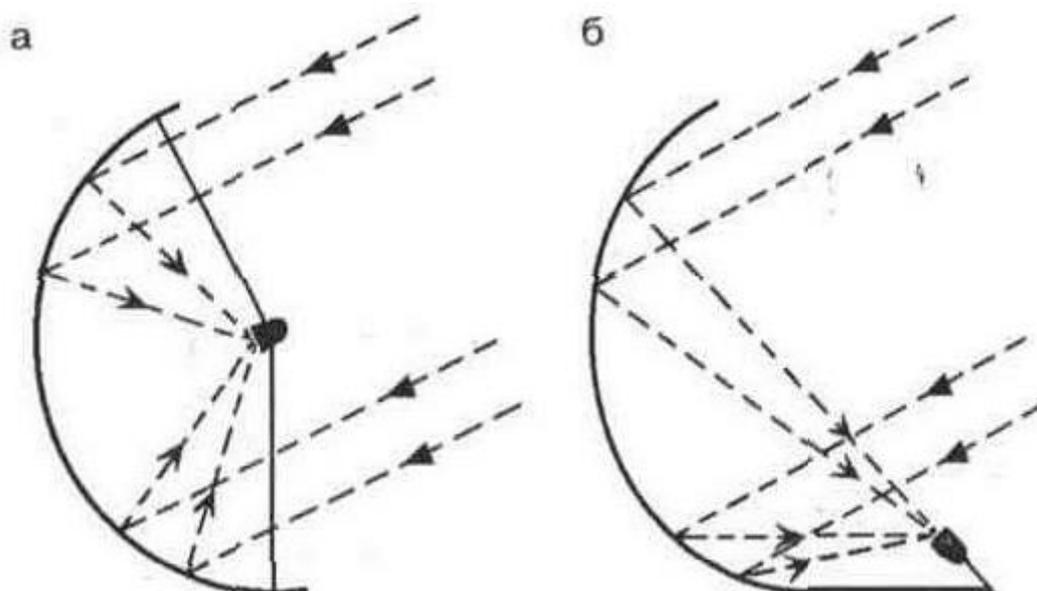


Рис. 32. Отличие прямофокусной (а) от офсетной спутниковой антенны (б)

Тороидальная спутниковая антенна – применяется, когда необходимо реализовать прием с нескольких спутников. Она имеет меньшее усиление, но более широкую диаграмму направленности, что позволяет легче навести на спутник или работать одновременно с несколькими спутниками. Достигается это за счет того, что антенна имеет дополнительный отражатель в форме части тора. Такие антенны еще называют **двухзеркальными**.

Этот отражатель позволяет принимать сигналы одновременно с нескольких спутников (их количество определяется числом конвертеров в антенне) в пределах дуги 40–55°. Внешнее основное зеркало тороидальной антенны отличается от обычной офсетной параболической антенны, так как представляет собой скорее всего не овал, а яйцеподобную форму.

Точность изготовления тороидальной антенны должна быть очень высокой. Конвертеры для них также изготавливаются специальные с меньшей толщиной, что позволяет их расположить ближе и принимать сигналы от спутников, находящихся друг от друга на расстоянии в 3°. За счет такого сложного профиля и отражения от вспомогательного зеркала в пространстве формируется не отдельный точечный фокус, а протяжённая кривая, на которой и располагаются конвертеры (рис. 33).



Рис. 33. Внешний вид тороидальных спутниковых антенн с разным количеством облучателей

Антенна на фазированной решетке – тип антенн на фазированных антенных решетках (ФАР). Представляет собой группу антенных излучателей, в которых относительные фазы сигналов изменяются комплексно, так, что эффективное излучение антенны усиливается в каком-то одном, желаемом направлении и подавляется во всех остальных направлениях [13]. Эти (и некоторые другие) свойства ФАР, а также возможность применять для управления ФАР современные средства автоматики и вычислительной электроники обусловили их перспективность и широкое использование в радиосвязи, радиолокации, радионавигации, радиоастрономии и т. д. ФАР, содержащие большое число управляемых элементов, входят в состав различных наземных (стационарных и подвижных), корабельных, авиационных и космических радиоустройств. Ведутся интенсивные разработки в направлении дальнейшего развития теории и техники ФАР и расширения области их применения [13].

Создаются ФАР с активной решеткой. В активной фазированной антенной решетке каждый элемент решетки или группа элементов имеют свой собственный миниатюрный микроволновый передатчик, обходясь без одной большой трубки передатчика, применяемой в радарх с пассивной фазированной решеткой. В активной фазированной решетке каждый элемент состоит из модуля, который содержит щель антенны, фазовращатель, передатчик, и часто также приёмник. На рис. 34 показано фото одной из самых крупных антенн на фазированных решетках.



Рис. 34. Антенна на фазированной решетке американского радара в Калифорнии. Фото: U.S. Army Corps of Engineers

Мобильные спутниковые антенны – это антенны, предназначенные для установки на транспортных средствах и обеспечивающие устойчивую связь со спутником во время движения. Антенны-тарелки направленного действия для этих целей малопригодны и могут применяться только при остановке транспортного средства и настройки антенны на спутник. Мобильная антенна должна двумя признаками, не свойственными обычным параболическим аналогам:

1. минимальным сопротивлением воздушному потоку (т. е. хорошей аэродинамикой, чего нет у параболических антенн);
2. Высокой скоростью подстройки под спутник на геостационарной орбите во время движения транспортного средства.

Такие антенны в настоящее время уже созданы для морских судов, для самолетов и для автомобилей. Хотя их цены в десятки раз выше, чем цены обычных «тарелок». На рис. 35 приведен пример мобильной спутниковой антенны TracVision A7 на автомобиле.



Рис. 35. Внешний вид антенны на фазированной решетке для автомобиля

Принцип действия антенн TracVision A7 – плоская фазированная антенная решётка с электромеханическим приводом. Проще говоря, если в обычной спутниковой тарелке есть только один приёмник, то в TracVision A7 на одной плоской поверхности установлены две сотни маленьких приёмников на одной поверхности.

С помощью подобной конструкции достигается эффект усиления, сопоставимый с оффсетной параболической антенной диаметром 60 см. Электрический привод способен вращать решётку на 180 градусов вокруг своей оси, а также изменять её угол наклона к горизонту настолько быстро, что антенна реагирует даже на резкие манёвры водителя. На рис. 36 показан внутренний вид мобильной спутниковой антенны TracVision A7.

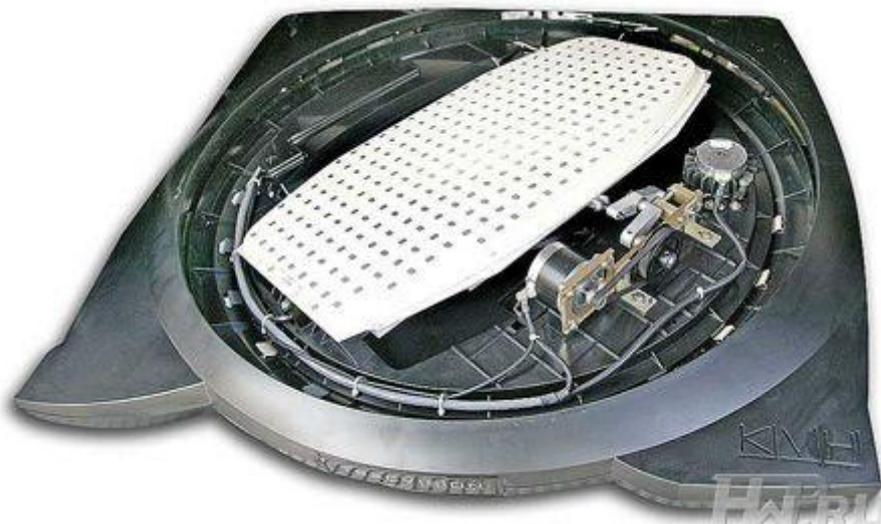


Рис. 36. Внутренний вид антенны на фазированной решетке для автомобиля

Существуют и другие аналоги таких антенн, выпускаемые другими фирмами, например, *TracPhone*, предназначенная для морских судов.

2.3. Спутниковые системы VSAT

VSAT (Very Small Aperture Terminal) – малая спутниковая наземная станция. Это технология создана в начале 90-х годов в США в противовес большим спутниковым системам, которые могли себе позволить только крупные фирмы. *VSAT* сразу задумывалась, как и персональный компьютер – в каждый дом, где нет стационарных линий связи.

Сеть спутниковой связи на базе *VSAT* включает в себя три основных элемента: центральная земная станция (*Ground Station*, с выходом на наземную кабельную сеть), спутник-ретранслятор (*Satellite*) и абонентские *VSAT*-терминалы (*Remote*, в любом месте Земли, которое охватывает зона покрытия спутника).

Сигналы по направлению Земля – Спутник называют *Uplink*, сигналы по направлению Спутник – Земля – *Downlink*. На рис. 2 показана примерная структура сети спутниковой связи на базе *VSAT* (A, B, C – *Remotes*, G – *Ground Station*) с множественным доступом с разделением по частоте (*FDMA*, Frequency Division Multiple Access). В такой сети каждый абонентский терминал обменивается данными со спутником на своей несущей частоте. На рис. 37 показана условная схема такой сети.

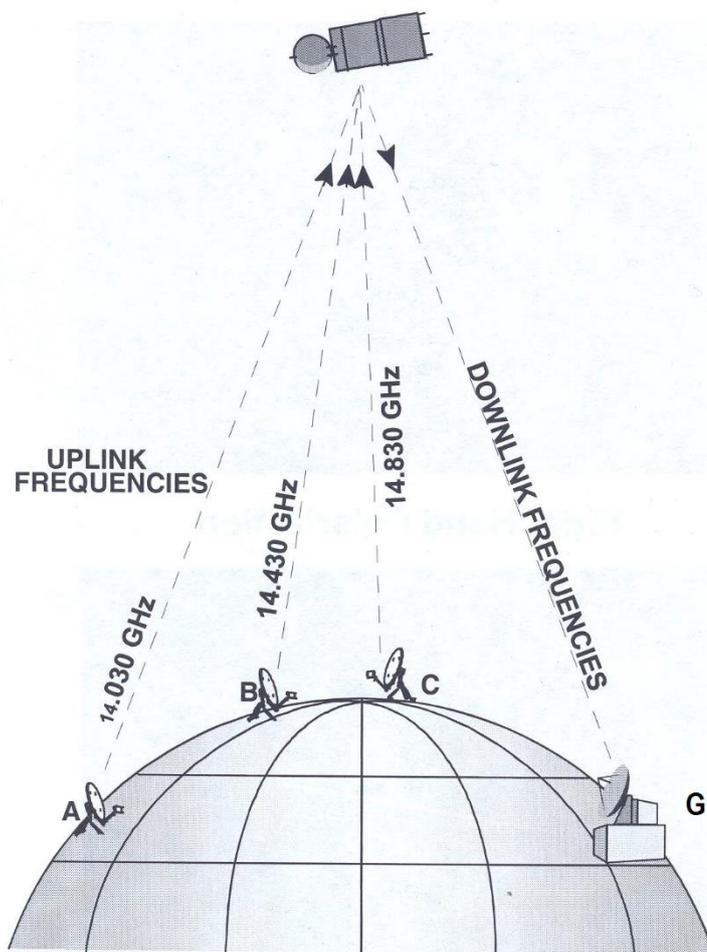


Рис. 37. Примерная структура сети спутниковой связи на базе **VSAT** (A, B, C – **Remotes**, G – **Ground Station**), множественный доступ с разделением по частоте (**FDMA**)

Системы с разделением по частоте исторически были первыми, сейчас применяется более эффективная система множественного доступа с разделением по времени (**TDMA**, Time Division Multiple Access). В этой системе терминалы работают на одной частоте и формируют пакеты данных фиксированной длины. Каждому терминалу выделен свой **Timeslot** – фиксированный интервал времени, в течение которого терминал может передавать пакеты данных. На рис. 38 показана примерная структура сети спутниковой связи **VSAT** с разделением по времени.

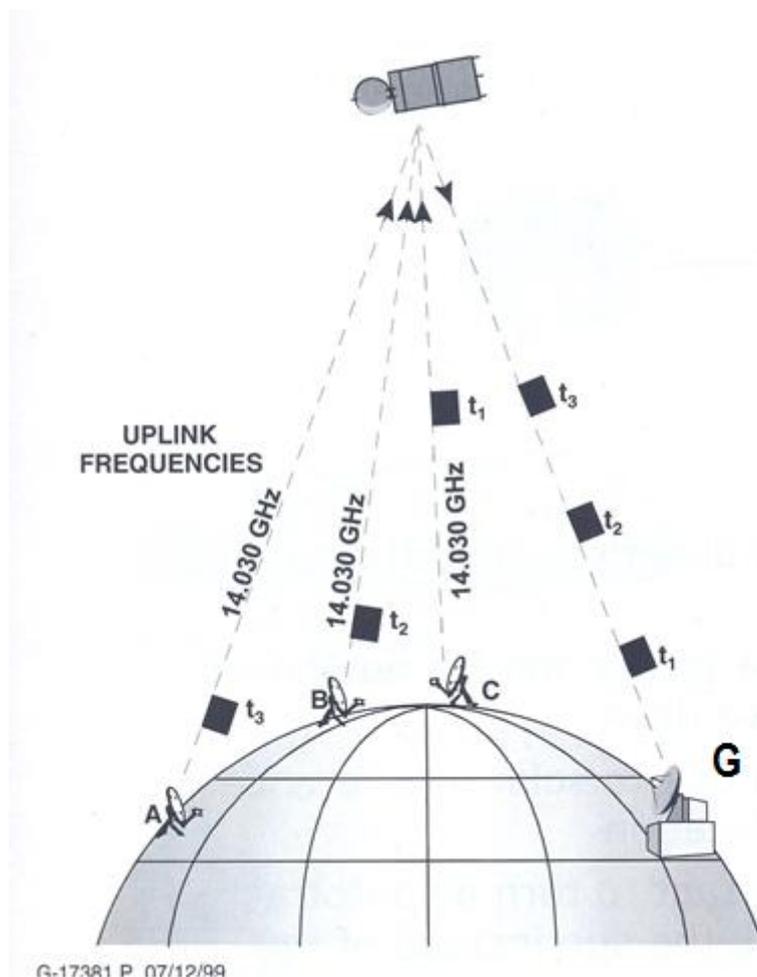


Рис. 38. Примерная структура сети спутниковой связи на базе VSAT (A, B, C – Remotes, G – Ground Station), множественный доступ с разделением по времени (TDMA)

В настоящее время в передовых странах (США, Евросоюз) созданы еще более эффективные системы множественного доступа с кодовым разделением (*CDMA*, Code Division Multiple Access). Это сложный метод, поскольку каждый терминал не ограничен ни частотой, ни временным промежутком, а использует специальное (уникальное для терминала) кодирование. Общий сигнал получается на первый взгляд сильно зашумленным. Но каждый терминал-приемник, зная систему кодирования, может из этого шума выделить предназначенный ему сигнал.

Следует отметить, что в сотовой телефонной связи системы *CDMA* начинают применяться и в России.

Наземная станция системы *VSAT* содержит одну или несколько спутниковых антенн и серверную стойку, которая с одной стороны обес-

печивает радиочастотную связь со спутниками (а через них – с наземными терминалами удаленных пользователей), а с другой стороны – с кабельным высокоскоростным Интернетом. За счет такой организации удаленные пользователи через спутниковые антенны и наземную станцию получают доступ к высокоскоростному Интернету. На рис 39. показаны основные элементы наземной станции **VSAT**.

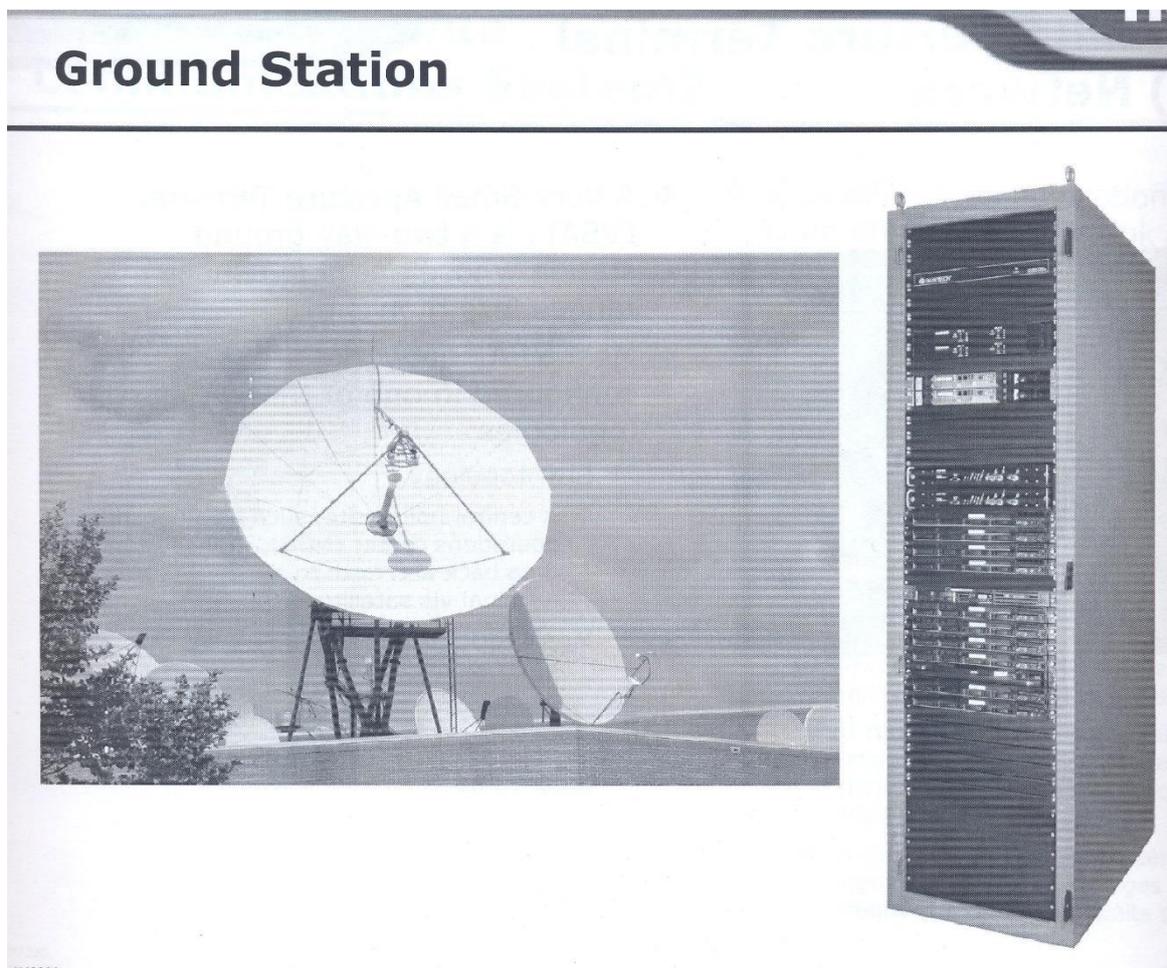


Рис. 39. Основные элементы (антенны и серверная стойка) спутниковой системы **VSAT**

Основные элементы пользовательского спутникового терминала – это спутниковый модем, который преобразует цифровой сигнал компьютеры в радиочастотный, и спутниковая антенна, которая передает и принимает радиочастотный сигнал. Конечно, еще необходим обычный персональный компьютер с установленным на нем специальным программным обеспечением. На рис. 40 показан примерная структура такого комплекта спутникового терминала пользователя.

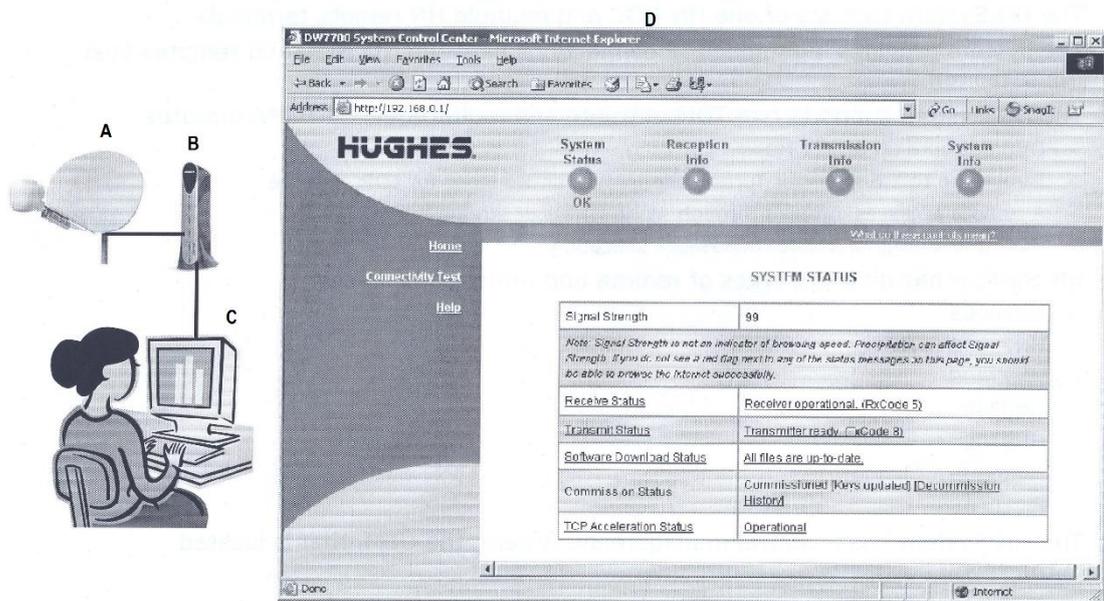


Рис. 40. Примерная структура комплекта спутникового терминала пользователя (А – спутниковая антенна, В – спутниковый модем, С – персональный компьютер, D – специальное программное обеспечение)

На рынке спутниковых систем **VSAT** доминирующее положение занимает корпорация **HUGHES**. Эту компанию основал Говард Хьюз, известный авиаконструктор и пилот первой половины XX века. Сейчас компания полностью сосредоточилась на спутниковых системах связи, выпуская полную линейку продуктов и услуг (от аппаратуры до специального программного обеспечения).

Фирма **HUGHES** не только предоставляет услуги связи, но и обеспечивает весь комплекс сервисов, необходимых для функционирования современных информационных систем. Сюда входят: инструментальные средства для масштабирования сети, встроенная система информационной безопасности, управление уровнями обслуживания, встроенные функции маршрутизатора, обеспечение режима **Multicast** (одновременная передача пакетов данных множеству получателей) и др.

Также фирма поставляет спутниковые сети «под ключ» типа **HN** (для широкого круга пользователей) и **HX** (для корпоративных пользователей).

На рис. 41 показано примерное распределение терминалов корпорации **HUGHES** по континентам (на момент написания этой страницы).



Рис. 41. Примерное распределение спутниковых терминалов фирмы HUGHES

Следует отметить и другие крупные фирмы, работающие на рынке *VSAT*: *iDirect Technologies* (США), *ViaSat* (США), *Gilat Satellite Networks* (Израиль), *STM Networks* (США), *Advantech Satellite Network* (Канада). Услугами и оборудованием этих фирм пользуются такие российские предприятия, как Газпром, Роснефть, ЦБ РФ, Сбербанк, Минфин Якутии, Ямал-телепорт, Норильск-телеком, Морсвязьспутник и др.

2.4. Мобильные спутниковые услуги *MSS*

Мобильные спутниковые услуги (*MSS, Mobile Satellite Services*) – это услуги связи через спутники (геостационарные, среднеорбитальные и низкоорбитальные), для организации которых используются портативные устройства и антенны. Причем антенны достаточно просто и быстро нацелить на спутник. Такие услуги востребованы там, где нет хорошей наземной инфраструктуры связи, а *VSAT* оказывается чересчур громозд-

ким или дорогим. Примеры – спутниковый телефон в высокогорной экспедиции или видеоконференцсвязь с места приземления космического аппарата Союз.

К этому кластеру следует отнести все спутниковые телефоны, спутниковые навигаторы, мобильные спутниковые терминалы, которые могут переноситься вручную или устанавливаться на транспортных средствах. Существует несколько крупных компаний, которые производят оборудование и оказывают услуги *MSS: Inmarsat BGAN, Iridium, Thuraya, Globalstar, Hughes*. Краткое сравнение основных систем MSS приведено в таблице 1 [<http://incom.tomsk.ru/?n=66>].

Таблица 1
Сравнительные характеристики основных систем *MSS*

	<i>Iridium</i>	<i>Thuraya</i>	<i>Globalstar</i>	<i>Inmarsat BGAN</i>
Зона покрытия	Глобальная 100%	Восточная Европа, Западная Сибирь, Казахстан и Средняя Азия	Глобальная 70 гр Ю.Ш. -70 гр С.Ш.	Глобальная 76 гр Ю.Ш. -76 гр. С.Ш.
Скорость передачи данных	«dial-up» :2,4 кбит/с; прямой доступ в Интернет :до 10 кбит/с	до 60/15 Кбит/с (прием/передача) – ThurayaModule Низкая – до 9,6 Кбит/с – портативные АТ	9,6 Кбит/с	464/448 kbps (без QoS); 32/64/128/256/384 kbps
Стоимость услуг по передаче данных (с НДС)	1,5 у.е./1 мин	1,49 у.е./1 Мб	От 0,81 у.е. до 1,19 у.е./1мин	3,99 у.е./1 Мб
Стоимость услуг по передаче голоса (с НДС)	1,5 у.е./1 мин	1,49 у.е./1 мин	1,36 у.е./1 мин	От 1,17 у.е./1 мин
Перечень предоставляемых услуг	Телефония, SMS, передача данных, доступ в Интернет	Телефония, передача данных. Доступ в Интернет, FTP-сервис, эл.почта., SMS. Пакетная передача данных GPRS	Телефония, передача данных асинхронная, пакетная. Доступ в Интернет, FTP-сервис, эл.почта. Прием SMS.	Передача данных (в т.ч. больших объемов), Интернет, телефония, SMS, многоадресная рассылка.

На рис. 42 представлен спутниковый терминал (моноблок) TT-3026 фирмы *Inmarsat BGAN* [инком].



Рис. 42. Спутниковый терминал (моноблок) TT-3026 фирмы Inmarsat BGAN

У этого терминала низкая скорость передачи данных (600 бит/с) и он предназначен для пакетной передачи данных. Он имеет встроенный GPS, все-направленную антенну и спутниковый модем в одном корпусе. Рекомендован для установки на морских и речных судах для передачи трекинга, поддерживает передачу сообщений по E-mail, факсу. Угол места от 90 до -15°. Интерфейс (для связи с компьютером) *RS-232*. Напряжение питания 12 В. Диаметр 163 мм, высота 146 мм. Рабочие частоты: прием 1525,0 – 1545,0 МГц, передача 1626,5 – 1646,5 МГц [<http://www.polarmar.ru/products/radio/inmarsat/tt%203026d>].

На рис. 43 показан компактный спутниковый терминал *Nera WorldPro 1000*.



Рис. 43. Спутниковой терминал Nera WorldPro 1000

Его габариты: 20 см х 15 см х 4,5 см. Вес 995 г (с батареей). Скорость передачи данных: до 384/240 кбит/с (прием/передача). Поддерживает подключение к компьютеру через **USB, Ethernet, Bluetooth**, к телефону и факсу через **RJ-45**.

Несколько выше скорость передачи данных у терминала **Explorer 700** фирмы **Inmarsat BGAN** 492 кбит/с (прием/передача). Но и вес у него составляет 3,2 кг. На рис. 44 приведен его внешний вид (а) и пример использования (б).



а)



б)

Рис. 44. Спутниковой терминал Explorer 700 (а) и пример его использования (б)

Этот терминал также имеет встроенный **GPS**, точку доступа **Wi-Fi**, поддерживает подключение к компьютеру через **USB, Ethernet, Bluetooth**, к телефону и факсу через **RJ-45**.

Спутниковые телефоны в последнее время существенно уменьшили свои размеры. В качестве примера приведем модель 9555 компании **Iridium Satellite, Limited Liability Corporation** (краткое название – **Iridium**). Внешний вид модели 9555 представлен на рис. 2. Цена (вместе с СИМ-картой и 220 минутами эфирного времени, а также прочими аксессуарами включая кожаный чехол) около 50 тыс. руб. Вес 266 г. Продолжительность работы в режиме разговора – 4 часа, в режиме ожидания – 30 часов. Расширенные возможности для работы с E-mail и SMS.

Модель **Iridium 9575 EXTREME** в дополнение ко всему перечисленному имеет встроенный GPS-приемник, который обеспечивает: определение GPS местоположения, передачу местоположения через SMS, Online трекинг (через SBD-модуль), программируемую кнопку SOS (рис. 45). Цена соответственно выше – около 62 тыс. руб.



Рис. 45. Спутниковой телефон модель 9555 компании Iridium

Спутниковые телефоны фирмы **Thuraya** немного дешевле и начинаются примерно от 30 тыс. руб. Например, модель **Thuraya XT** имеет вес 193 г., пыле-влагозащищенный корпус, позволяет передавать данные на скоростях 15/60 кбит/с, имеет цветной дисплей (176 на 200 пикселей), поддерживает SMS (рис. 46). Время работы в режиме разговора – 6 часов, время ожидания – 80 часов. Эта модель также позволяет определять свои координаты по GPS с сохранением 10 последних показаний.



Рис. 46. Спутниковой телефон модель Thuraya XT

Спутниковые телефоны *Globalstar* имеют выдвигающуюся антенну (рис. 47), но принимать вызов могут и с задвинутой антенной.

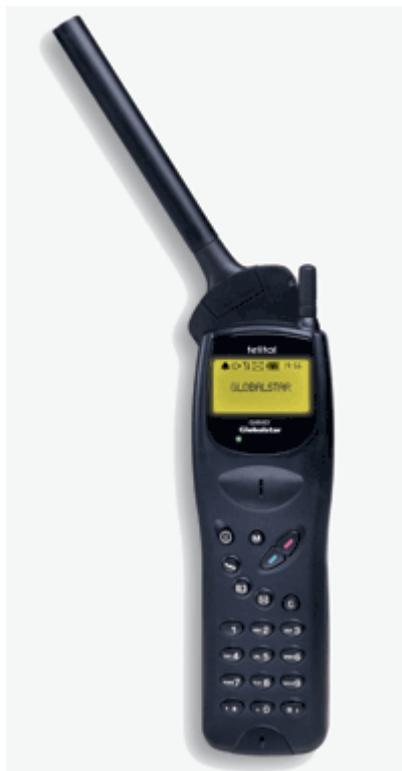


Рис. 47. Спутниковый телефон Globalstar модель Telit SAT550

Эта модель характеризуется пониженным временем разговора (1,6 часа через спутник; 3,9 часа через GSM) и временем ожидания (6 часов в режиме спутника). Кроме спутниковой связи этот телефон может работать как обычный сотовый телефон по GSM-каналу. Имеет маленький дисплей (4 строки по 12 символов).

2.5. Вопросы к Главе 2

1. Что такое транспондер и спутниковый транспондер?
2. Чем отличаются *C*-, *Ku*-, *Ka*-диапазоны частот спутниковых каналов связи?
3. Что такое геостационарная орбита спутника связи?
4. Что такое геосинхронная орбита спутника связи?
5. Особенности низкоорбитальных спутников, привести примеры.

6. Особенности среднеорбитальных спутников, привести примеры.
7. Особенности высокоорбитальных спутников, привести примеры.
8. Что такое схема геостационарных спутников?
9. Что такое зона покрытия спутника?
10. Какие характеристики позволяет узнать Интернет-ресурс <http://www.satbeams.com/>?
11. Назовите виды спутниковых антенн.
12. Чем отличается тороидальная спутниковая антенна от обычных антенн?
13. Каковы особенности и достоинства спутниковой антенны на фазированной решетке?
14. Каковы особенности мобильных спутниковых антенн?
15. Что такое спутниковая система VSAT?
16. Что такое система множественного доступа с разделением по времени?
17. Что такое система множественного доступа с разделением по частоте?
18. Что такое система множественного доступа с разделением по коду?
19. Из каких основных элементов состоит система VSAT?
20. Что такое режим *Multicast* в спутниковых информационных системах?
21. Что такое мобильные спутниковые услуги?
22. Назовите основные системы, которые поддерживают спутниковую телефонию?
23. Что такое спутниковая навигация и какие системы ее обеспечивают?
24. Что такое спутниковый терминал и каковы его основные достоинства?
25. Какая характерная задержка сигнала в спутниковых системах связи?

3. УПРАВЛЕНИЕ РАЗРАБОТКОЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Задача управления любым технологическим процессом подразумевает выбор управляющих воздействий (при соблюдении всех существующих ограничений), при которых критерий качества управления принимает оптимальное значение (минимальное или максимальное).

Если критериев несколько, то такие задачи называют многокритериальными. Если оптимальных значений возможно несколько, то такие задачи называют многоэкстремальными. В этом случае говорят о поиске глобального экстремума.

Под *разработкой месторождений* полезных ископаемых (ПИ) понимают процесс извлечения полезных ископаемых из недр Земли. Он включает подземные, наземные и подводные технологии. Разработка месторождения включает четыре стадии: разведка, оценка, определение качества и объема запасов ПИ и добыча полезных ископаемых. [<http://dic.academic.ru/dic.nsf/ntes/3949>].

3.1. Особенности управления разработкой месторождений нефти и газа

Разработка месторождений нефти и газа имеет свою специфику, связанную с выполнением поисково-разведочных работ, бурением скважин, строительством наземных, подземных, надводных и подводных сооружений для добычи, сбора и транспортировки нефти и газа потребителям. Немаловажную роль при этом играет необходимость выполнения показателей, заложенных в проектных технологических документах, например, по коэффициенту извлечения нефти (КИН), по экологическим требованиям и т.п.

Задача управления таким объектом, как нефтяное месторождение, является очень сложной. Это обусловлено в первую очередь неполнотой исходной информации, которую необходимо постоянно уточнять на всех стадиях разработки, а также большим количеством ограничений и требований которые необходимо учитывать в процессе разработки.

Например, давление насыщенных паров товарной нефти должно быть не более 500 мм рт. ст. Это требование ГОСТ Р 51858-2002. Если это требование не выполнить, то в процессе транспортировки товарной нефти возможны утечки паров нефти, скопление их в низинах, и аварийная ситуация со взрывом и пожаром.

Кроме этого, эта задача оптимального управления осложняется многокритериальностью, причем зачастую критерии являются противоречащими друг другу и возникает необходимость в оптимальной стратегии выбора соотношения критериев на разных стадиях разработки месторождения.

Например, для морских нефтегазовых месторождений экологические критерии являются преобладающими, поскольку загрязнение морской акватории утечкой нефти локализовать очень сложно. Самая крупная авария такого типа произошла на морской буровой платформе Deepwater Horizon компании British Petroleum 20 апреля 2010 г. в Мексиканском заливе (рис. 48). Перед взрывом прошла информация, что расход бурового



Рис. 48. Авария на морской буровой платформе Deepwater Horizon

Пожар длился 36 часов, но не мог быть потушен, т.к. из пробуренной скважины на поверхность поднимался огромный поток газонефтяной смеси. Пожар прекратился только тогда, когда остатки обгоревшей платформы вместе с соединяющей трубой обрушились вниз на глубину около

1500 м. После этого утечка нефти началась в Мировой океан. Сначала публиковались данные об утечке 5000 брл/сут. Видимо это были расчетные данные технологического проекта. Но спустя 2 месяца, когда компании BP удалось спустить на глубину 1500 метров специальное оборудование и измерить утечку, то оказалось, что реальный дебет превышает расчетный в 20 раз (рис. 49).

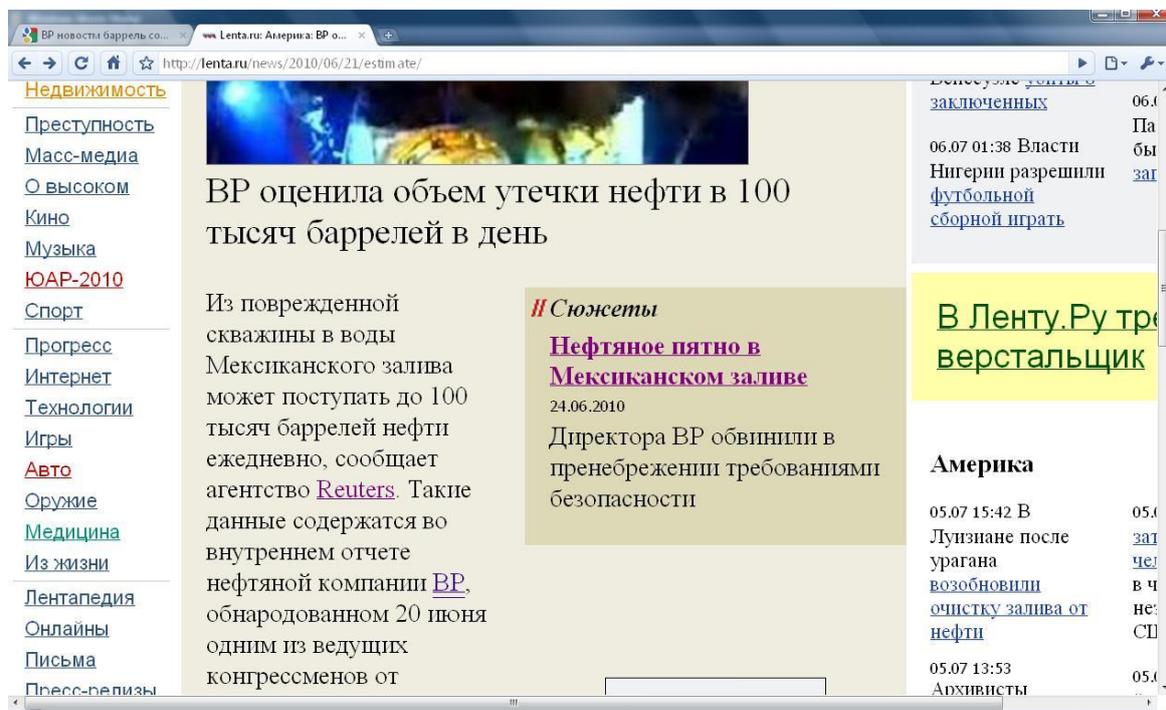


Рис. 49. Переоценка компанией BP объема утечки нефти после аварии на морской буровой платформе Deepwater Horizon

Остановить утечку смогли только 15 июля 2010 г. с помощью уникальной подводной операции, выполненной роботами.

Следует отметить, что самой компании BP было невыгодно завышать объем утечки с (5 тыс. до 100 тыс.), поскольку ей пришлось платить многомиллиардные штрафы. Поэтому ее оценку можно считать достоверной (по оценкам других источников, в том числе экологов, утечка была меньше).

Бюро по управлению, регулированию и охране океанских энергоресурсов (BOEMRE) опубликовало доклад, в котором назвала 35 причин, повлекших взрыв, пожар и разлив нефти. Есть среди них и такая, которая на наш взгляд является основной – недостаток информации об объеме месторождения нефти. Эта причина подтверждается и той низкой

первоначальной оценкой утечки нефти, по сравнению с результатами дальнейших измерений.

Нефтегазовое месторождение как объект управления относится к классу многосвязных систем. Все скважины гидродинамически в той или иной степени связаны между собой. Поэтому увеличение добычи скважинной жидкости в одной группе скважин может привести к ее падению в оставшихся скважинах. В некоторых случаях это может привести к снижению суммарной добычи со всего месторождения.

Одна из типовых задач управления разработкой месторождения – это задача максимизации количества чистой нефти, добываемой со всего месторождения в текущий момент времени (режим форсированного отбора). Эта задача описывается системой линейных алгебраических уравнений, связывающие дебиты и депрессии скважин (дебит – объем поступающей из скважины жидкости в единицу времени, депрессия – разность между пластовым давлением в районе скважины и ее давлением на забое) и относится к классу задач линейного программирования.

Увеличение депрессии ведет к увеличению дебита, однако существуют ограничения, которые надо учитывать в этой оптимизационной задаче. Они связаны с такими явлениями (которые могут возникнуть при дальнейшем увеличении депрессии), как: подтягивание пластовой воды и увеличение обводненности, разрушение призабойной зоны, образование газогидратов, смятие эксплуатационных колонн и т.п.

Такая задача называется *статической оптимизацией*, поскольку в ней не учитывается изменение параметров пласта во времени, в частности – обводненность пласта. Поэтому необходимо следить за водным режимом пласта и периодически пересчитывать оптимальные параметры.

Центральной проблемой нефтедобывающей промышленности является достижение максимальной нефтеотдачи пластов при учете всех геологических, гидродинамических, технико-экономических и экологических ограничений.

Техническим критерием качества управления может быть количество чистой нефти, извлекаемой за весь период разработки. Экономическим критерием качества управления может быть суммарная прибыль компании за весь период разработки. Необходимость учета динамики и многокритериальность приводит к более сложным оптимизационным задачам, которые в настоящее время решаются с помощью хорошо разработанных методов оптимизации.

3.2. Математическая постановка и классификация оптимизационных методов

Итак, в предыдущем разделе мы установили, что оптимальное управление разработкой месторождений сводится в простейшем случае к задаче линейного программирования или к более сложным задачам в случае учета дополнительных факторов.

Существует множество классификаций методов оптимизации, мы рассмотрим особенности некоторых из них, близких к линейному программированию, а также некоторые численные методы.

3.2.1. Линейное программирование

Общей (стандартной) задачей линейного программирования называется задача нахождения минимума линейной целевой функции (линейной формы) вида [14]:

$$f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

где $x = \{x_1, \dots, x_n\}$ – вектор варьируемых переменных; $\{c_1, \dots, c_n\}$ – заданные коэффициенты; $f(x)$ – целевая функция, экстремум которой требуется найти

Задача, в которой фигурируют ограничения b_i в форме неравенств, называется – основной задачей линейного программирования (ОЗЛП)

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$
$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n).$$

Задача линейного программирования будет иметь канонический вид, если в общей задаче вместо первой системы неравенств имеет место система уравнений с ограничениями в форме равенства:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

Основную задачу можно свести к канонической путём введения дополнительных переменных.

К этой постановке сводятся: задача о максимальном паросочетании, задача о максимальном потоке, транспортная задача и некоторые другие. Основой метод решения – симплекс-метод. Этот метод имеет экспоненциальную сложность, т.е. если размерность задачи возрастает линейно, то время ее решения увеличивается экспоненциально.

3.2.2. Дробно-линейное программирование

Дробно-линейное программирование является обобщением линейного программирования. Целевая функция является отношением двух линейных функций. Алгоритмы решения основаны на приведения этой задачи к виду линейного программирования путем замены переменных и/или введения дополнительных переменных

3.2.3. Целочисленное (дискретное) программирование

В целочисленном (дискретном) программировании на множество варьируемых переменных накладывается дополнительное ограничение – они должны быть целыми числами. Простейший метод решения – сведение к задаче линейного программирования с дополнительной проверкой целочисленности аргументов. Также широко применяется алгоритм Гомори и метод ветвей и границ. Частный случай – булевское программирование (переменные принимают только два значения). К ним сводятся задача о назначениях, задача коммивояжера, задача о ранце.

3.2.4. Нелинейное программирование

Наиболее общий случай постановки задач оптимизации, когда нелинейными могут быть как целевая функция, так и ограничения. В зависимости от их соотношения различают выпуклую и невыпуклую оптимизацию. Основные методы решения: метод множителей Лагранжа, метод Куна-Такера, метод ветвей и границ.

3.2.5. Динамическое программирование

Основано на разбиении сложной задачи оптимизации на последовательность простых, связанных условием оптимальности Беллмана: каково бы не было начальное состояние системы перед очередным шагом, управления на этом этапе выбирается так, чтобы выигрыш на данном шаге плюс оптимальный выигрыш на всех последующих шагах был оптимальным [15].

Из принципа оптимальности следует, что оптимальную стратегию управления можно получить, если сначала найти оптимальную стратегию управления на n -ом шаге, затем на двух последних шагах, затем на трёх последних шагах и т. д., вплоть до первого шага. Таким образом, решение рассматриваемой задачи динамического программирования целесообразно начинать с определения оптимального решения на последнем, n -ом шаге. Для того чтобы найти это решение, очевидно, нужно сделать различные предположения о том, как мог закончиться последний шаг, и с учётом этого выбрать управление u_n^o , обеспечивающее максимальное значение функции дохода $W(x^{(n-1)}; u_n)$, где $x^{(n-1)}$ – вектор состояния системы на $(n-1)$ шаге. Такое управление, выбранное при определённых предположениях о том, как закончился предыдущий шаг, называется *условно оптимальным управлением*.

Таким образом, принцип оптимальности требует находить на каждом шаге условно оптимальное управление для любого из возможных исходов предшествующего шага.

3.2.6. Стохастические и эволюционные методы оптимизации

Стохастическая постановка задач оптимизации, во-первых, наиболее адекватно отражает реальные процессы и позволяет учитывать влияние случайных событий на процесс. Во-вторых, для вычислительно сложных задач, в которых поиск точного решения требует недопустимых затрат времени, алгоритмы, основанные на случайном выборе, позволяют за ограниченное время добиваться приемлемых решений с определенной вероятностью. А возможность рандомизации наблюдений позволяет компенсировать отрицательный эффект от систематических погрешностей [16].

Эволюционные алгоритмы (*Evolutionary Algorithms*) также имеют стохастическую составляющую, обеспечивающую моделирование механизма «мутаций». Они являются поисковыми методами, основная идея которых заимствована из биологического процесса естественного отбора и процесса выживания.

Такие алгоритмы отличаются от традиционных методов оптимизации тем, что поиск производится из «популяции» решений, а не из одной точки. Каждая итерация метода производит «естественный отбор», который отсеивает неподходящие решения. Решения с высокой пригодностью

стью («биологической реакцией на естественный отбор») «скрещиваются» с другими решениями путем обмена частями одних решений на другие. Решения могут «мутировать» из-за небольших замен одного элемента решения. Скрещивания и мутации генерируют новые решения, которые «генетически» настроены на области допустимого множества, для которых уже было обнаружено хорошее решение. Существует несколько различных типов эволюционных поисковых алгоритмов: алгоритмы генетического программирования (*Genetic Programming*); алгоритмы эволюционного программирования (*Evolutionary Programming*); алгоритмы эволюционных стратегий (*Evolutionary Strategies*); генетические алгоритмы (*Genetic Algorithms*).

Эволюционные алгоритмы обладают слабой сходимостью к глобальному решению, но вместе с тем, хорошо обрабатывают сильно зашумленные функции с большим числом незначительных локальных решений, не «прилипают» к локальным экстремумам и способны получить глобальное решение [16].

3.2.7. Моделируемый отжиг (*Simulated Annealing*)

Метод поиска глобального минимума, известный в литературе под названием *Simulated Annealing (SA)*, или метод «имитации отжига» применяется при построении математических моделей и решения сложных оптимизационных задач в нейрокомпьютерной технике, нефтегазогеологии, микроэлектронике, микробиологии, ядерной физике и др. [36]. Метод *SA* базируется на аналогии с физическим процессом кристаллизации металла при постепенном переходе из жидкой фазы в твердую (отжиге), в результате которого достигается глобальный минимум энергетического состояния (энтропии). Метод *SA* сочетает стохастические алгоритмы с детерминированными. Главное его достоинство – это преодоление ловушек локальных минимумов и сходимость к глобальному минимуму.

Каждый пробный шаг по пространству координат поиска генерируется случайно по некоторому закону (Больцмана, Коши, Гаусса). В работе [17] предложена модификация метода *SA* с помощью применения адаптивного бинормального распределения плотности вероятности следующего шага $P(X_j)$.

Параметры адаптивного бинормального распределения изменяются детерминировано по ходу поиска, а каждый следующий шаг генерируется случайно в соответствии с текущими параметрами бинормального распределения (рис.50).

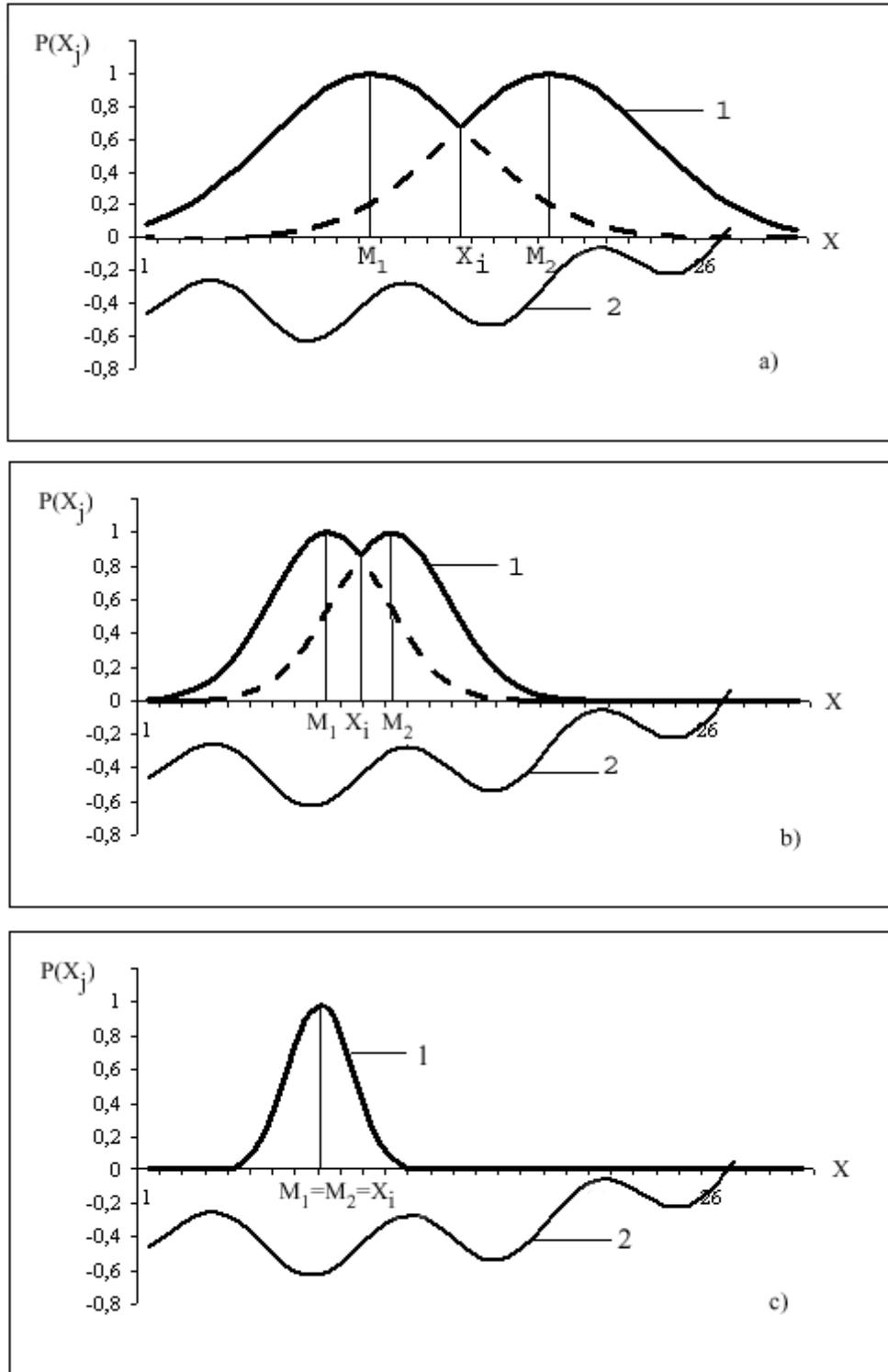


Рис. 50. Пример адаптивного бинормального распределения плотности вероятности следующего шага (1) при поиске глобального минимума целевой функции (2) в начале (a), в середине (b) и в конце поиска (c).

Из рис. 3 видно, как алгоритм постепенно «сужает» бинормальное распределение плотности вероятности следующего шага $P(X_j)$, сосредотачиваясь в области глобального минимума несмотря на наличие двух локальных минимумов. Таким образом, метод SA следует применять при наличии ловушек локальных минимумом.

3.2.8. Метод покоординатного спуска

Метод покоординатного спуска (метод Гаусса) является наиболее простым и понятным, поэтому его рекомендуют для проведения так называемой экспериментальной оптимизации. Это означает, что оптимизация проводится не на математической модели, а на реально существующем объекте.

Координатами называют варьируемые переменные по аналогии с географическими координатами. Сам метод действительно похож на спуск в овраг поочередно: сначала по одной координате (до точки локального минимума), затем по другой координате (также до точки локального минимума). Этот процесс повторяют до тех пор, пока изменение минимума целевой функции не станет меньше сколь угодно малого наперед заданного числа ε . Поэтому метод является приближенным с погрешностью ε .

На рис. 51. показан примерный ход процесса в методе покоординатного спуска. Овалами показаны линии равного уровня (высота рельефа).

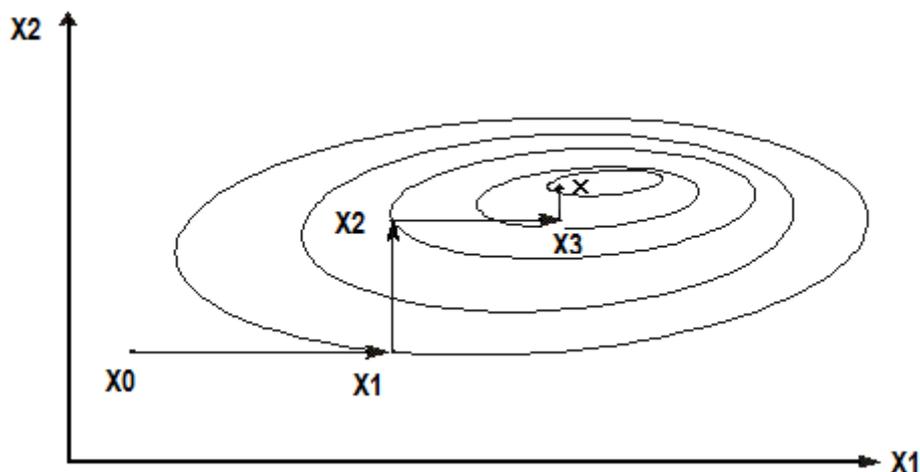


Рис. 51. Примерный ход процесса в методе покоординатного спуска

Следует отметить, что в методе покоординатного спуска возможны случаи, когда экстремум не достигнут, а дальнейшее движение по координате не дает улучшения целевой функции. В этом случае можно порекомендовать выбрать другую начальную точку и повторить процесс поиска экстремума заново.

3.3. Инструментальные средства оптимизации

Мы не будем здесь рассматривать методы оптимизации в классическом их понимании, поскольку это является предметом отдельного учебного пособия. Здесь мы рассмотрим инструментальные средства решения типовых оптимизационных задач на базе надстройки Excel «Поиск решения». Задачи 3.3.2 – 3.3.5 составлены по материалам первичника [18] с нашими изменениями и дополнениями.

3.3.1. Надстройка «Поиск решения» приложения Excel

Надстройка «**Поиск решения**» предназначена для решения интуитивно понятной всем задачи – поиска оптимального значения (минимума или максимума) заданной функции, которую называют целевой, при наличии некоторых ограничений на варьируемые параметры. Например, при покупке продуктов на рынке ограничениями могут быть: список продуктов, которые надо купить; имеющиеся в наличии деньги; время нахождения на рынке; вес купленных продуктов, который мы можем унести.

Целевая функция, наверное, почти у всех будет одинакова: минимум истраченных на покупку денег. Пример целевой функции, для которой мы всегда ищем максимальное значение, наблюдается в задаче трудоустройства. Человек всегда ищет работу с максимальной зарплатой, но при наличии целого ряда ограничений: образование, стаж предыдущей работы, возраст и т.п.

Надстройка «**Поиск решения**» приложения Excel позволяет формализовать подобные оптимизационные задачи и быстро определять действительные минимумы или максимумы, которые вручную подобрать крайне сложно.

Изначально надстройка «**Поиск решения**» не видна в меню и ее необходимо активировать с помощью меню **Файл–Параметры–Надстройки**.

Чтобы надстройка работала правильно мы должны указать ей:

- Целевую ячейку листа Excel, минимум или максимум (это тоже указывается) значения которой надстройка должна искать. В этой ячейке должна быть записана некоторая формула, выражающая нашу целевую функцию в зависимости от некоторых аргументов.

- Изменяемые ячейки. Это то, что надстройка будет менять, чтобы найти минимум (максимум) значения в заданной целевой ячейке. В этих изменяемых ячейках должны быть упомянутые выше аргументы целевой функции.

- Ограничения. Их значения также следует разместить в ячейках на листе Excel, а в надстройке прописать их адреса и выбрать знаки (<, =, > и т.п.).

Рассмотрим пример простой оптимизации, чтобы разобраться где и что мы должны указать для правильной работы надстройки. Для этого зададим простейшую целевую функцию $Y = X^2$ на листе Excel и построим ее график (для наглядности). Ее минимум очевиден, он равен 0 и при этом единственный аргумент тоже будет равен 0. Лист с исходными данными представлен на рис. 52.

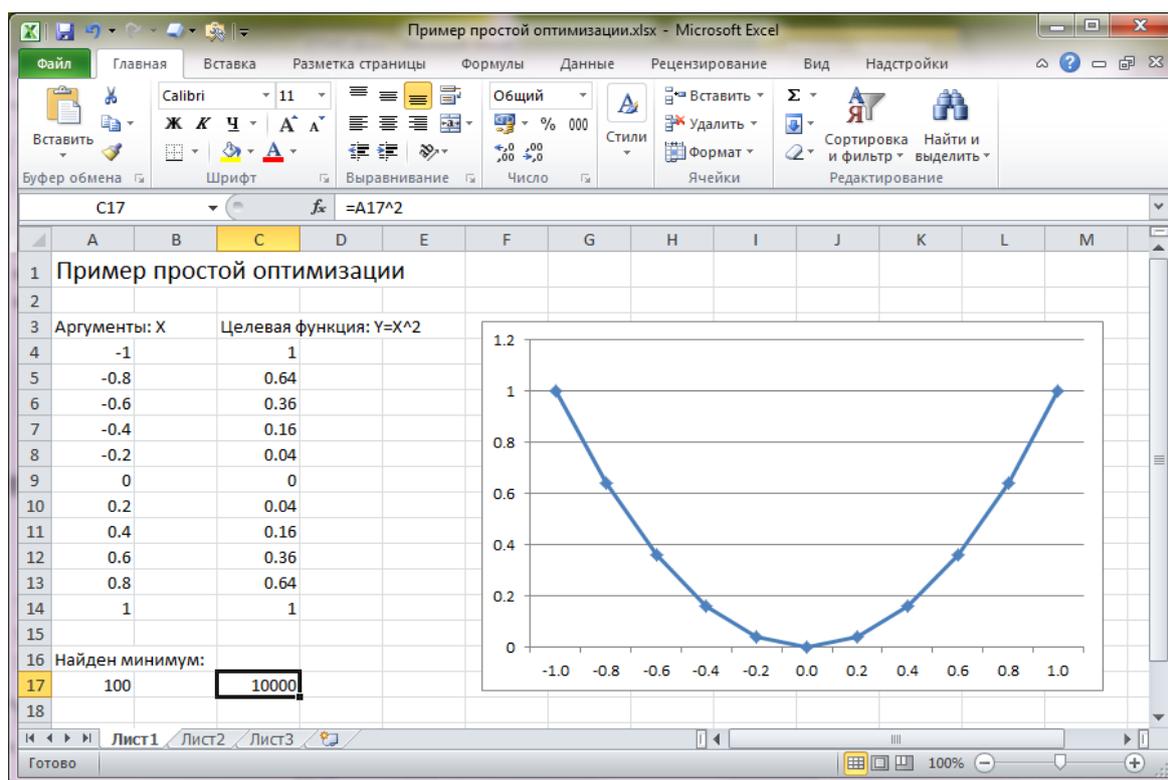


Рис. 52. Пример простой оптимизации: исходные данные

Теперь вызовем надстройку и укажем ей адрес целевой ячейки (C17), введя туда ту же функцию, и адрес изменяемых ячеек (A17), в который внесем заведомо не оптимальное значение. Адреса ячеек в надстройке проще не прописывать, а указывать щелчками на нашем листе. Поле ограничений пока оставим пустым (рис. 53).

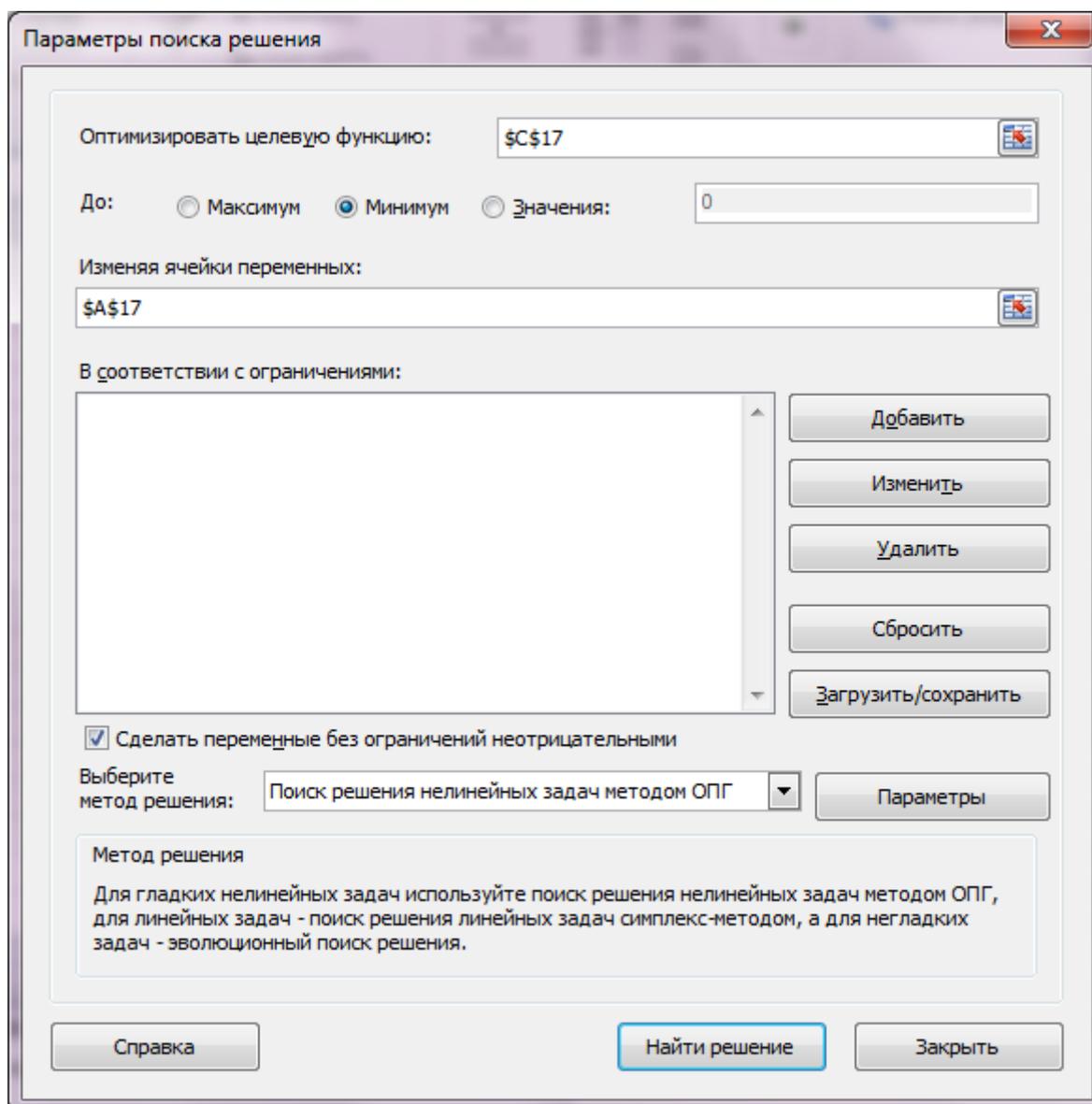


Рис. 53. Пример простой оптимизации: задание ячейки целевой функции и изменяемых ячеек

После этого можно сохранить найденное решение (рис. 54).

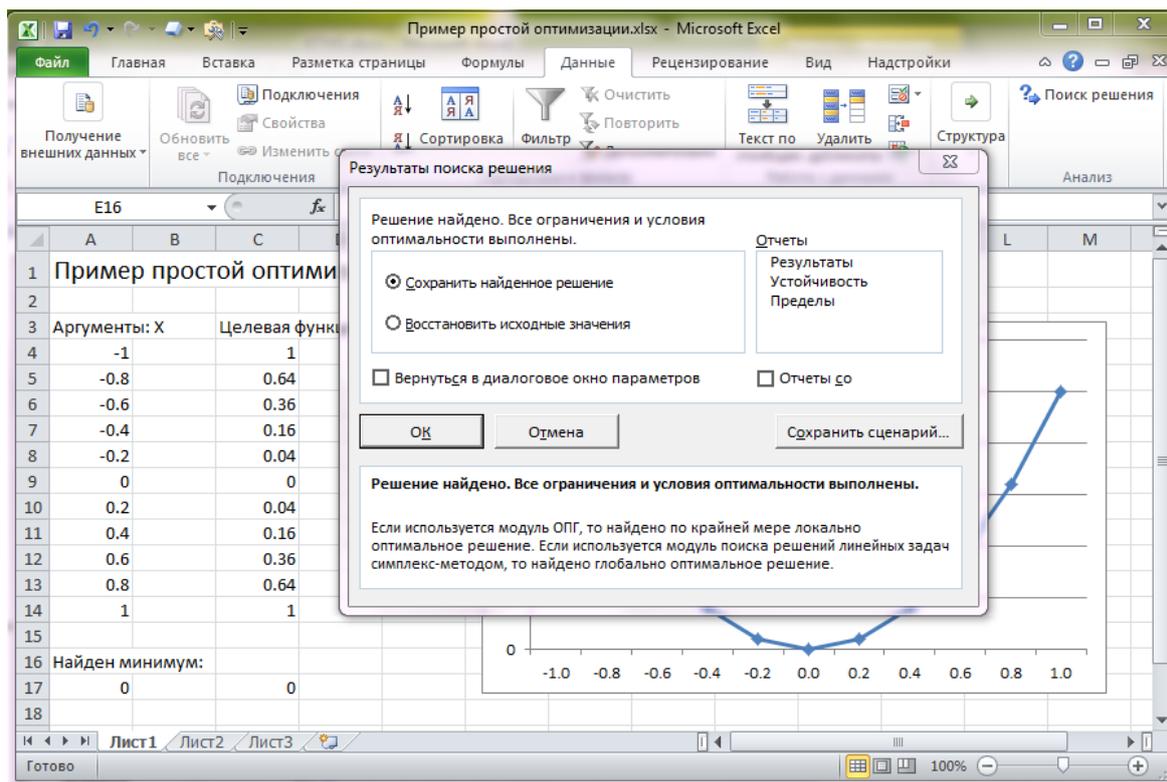


Рис. 54. Пример простой оптимизации: результаты поиска решения

Теперь потренируемся задавать ограничения. Например, потребуем, чтобы аргумент был не менее 7. Для этого в поле ограничений (через кнопку «Добавить») укажем адрес аргумента (A20) и адрес конкретного ограничения (C20). В ячейку A20 занесем адрес изменяемой ячейки (A17, рис. 55).

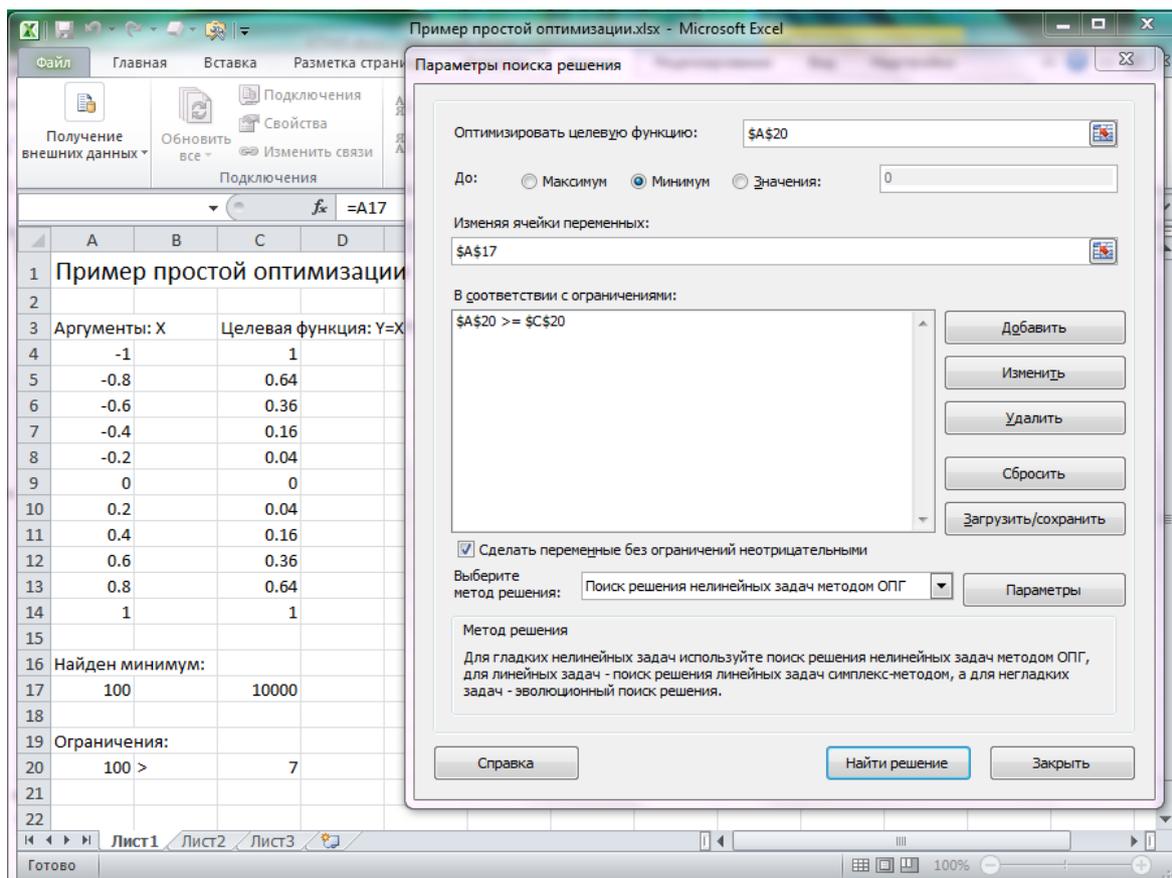


Рис. 55. Пример простой оптимизации: задание ограничений

Теперь результат работы надстройки будет уже другим с учетом заданного ограничения (рис.56).

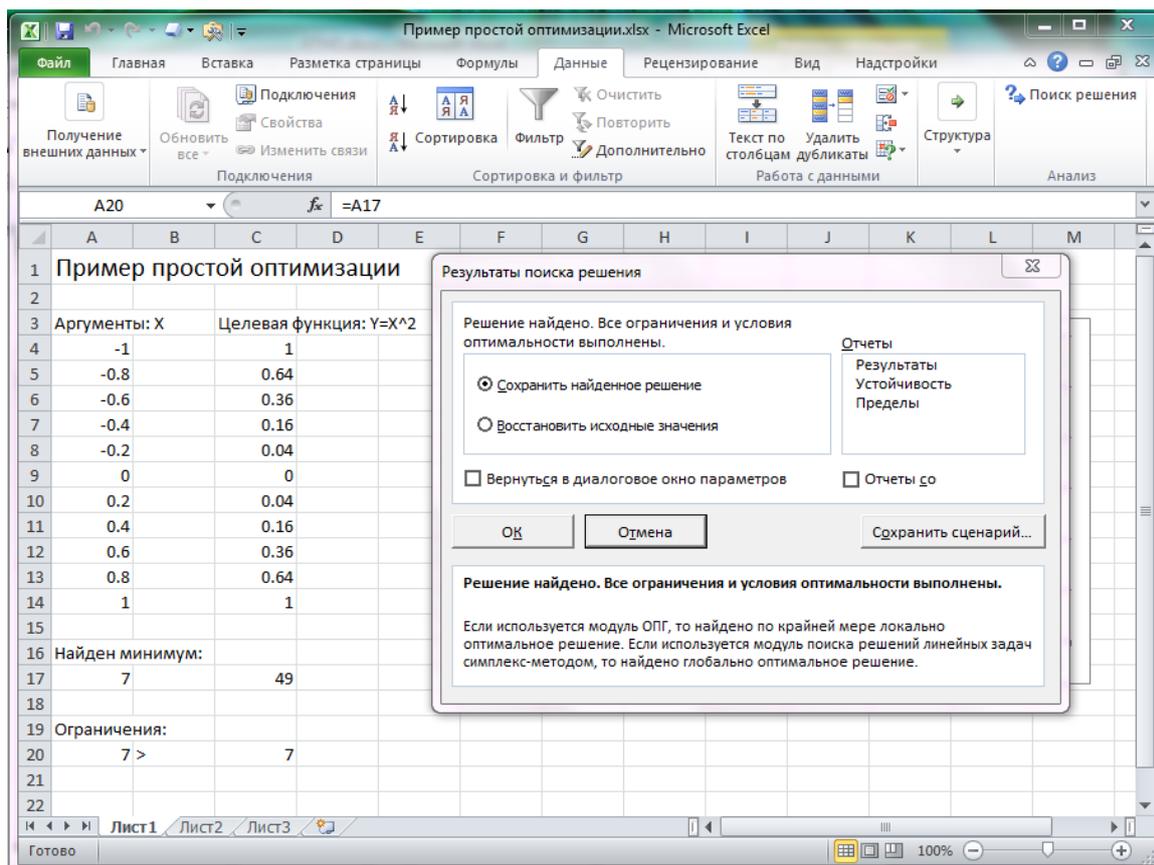


Рис. 56. Пример простой оптимизации: результат поиска решения с учетом ограничений

3.3.2. Задача получения максимальной прибыли производства

Проблема

Предположим у Вас имеется нефтесервисная компания, производящая 6 реагентов-деэмульгаторов. Эти препараты необходимы для предотвращения образования нефтяных эмульсий при подготовке нефти на промысле для отделения от нее пластовой воды и попутного газа. Производство каждого препарата требует определенных трудовых ресурсов и сырья. Прибыль от реализации каждого препарата определяется, как разность между заданной ценой и получающейся при производстве себестоимостью, включающей затраты на сырье и трудовые ресурсы. Сколько каждого препарата нужно производить, чтобы добиться максимальной прибыли при заданных ограничениях?

Ограничения

- не использовать трудозатрат и сырья больше, чем есть в запасе;

- производить препарат не больше, чем спрос на него;
- количество препаратов не может быть отрицательным.

Ход решения задачи

1. Заготовим следующую таблицу с исходными данными (рис.57)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1									
2		Изготовлено фунтов	0	0	0	0	0	0	
3	В наличии	Препарат	1	2	3	4	5	6	
4	4500	Трудозатраты	6	5	4	3	2,5	1,5	
5	1600	Сырье	3,2	2,6	1,5	0,8	0,7	0,3	
6		Цена единицы, долл.	12,50	11,00	9,00	7,00	6,00	3,00	
7		Себестоимость, долл.	6,50	5,70	3,60	2,80	2,20	1,20	
8		Спрос	960	928	1041	977	1084	1055	
9		Прибыль на единицу, долл	6,00	5,30	5,40	4,20	3,80	1,80	
10									
11									
12		Прибыль, долл.	0,00						
13									
14		Трудозатраты общие	0 <=		4500				
15		Использованное сырье	0 <=		1600				
16									
17									

Рис. 57. Таблица с исходными данными

В строку «**Прибыль на единицу**» заносим формулу (строка «**Цена единицы**» – строка «**Себестоимость**»). В ячейку «**Прибыль**» (ячейка D12) заносим целевую функцию: сумма произведений строки «**Изготовлено фунтов**» на строку «**Прибыль на единицу**». Аналогичные формулы заносим в ячейки «**Трудозатраты общие**» (D14) и «**Использованное сырье**» (D15), умножая строку «**Изготовлено фунтов**» на, соответственно, строку «**Трудозатраты**» и строку «**Сырье**».

2. Решаем задачу с помощью созданной нами линейной модели вручную. Для этого поочередно задаем количество производимых препаратов (строка «**Изготовлено фунтов**»), наблюдая за тем, чтобы их значения не превышали чисел в строке «**Спрос**», и чтобы значения в ячейках «**Трудозатраты общие**» и «**Использованное сырье**» не превышали «**Доступные ресурсы**». Фиксируем найденную методом моделирования

максимальную прибыль, например, такую (использовано все сырье, рис. 58):

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1									
2		Изготовлено фунтов	185	160	170	180	190	200	
3	В наличии	Препарат	1	2	3	4	5	6	
4	4500	Трудозатраты	6	5	4	3	2,5	1,5	
5	1600	Сырье	3,2	2,6	1,5	0,8	0,7	0,3	
6		Цена единицы, долл.	12,50	11,00	9,00	7,00	6,00	3,00	
7		Себестоимость, долл.	6,50	5,70	3,60	2,80	2,20	1,20	
8		Спрос	960	928	1041	977	1084	1055	
9		Прибыль на единицу, долл.	6,00	5,30	5,40	4,20	3,80	1,80	
10									
11									
12		Прибыль, долл.	4714,00						
13					Доступные ресурсы				
14		Трудозатраты общие	3905	<=	4500				
15		Использованное сырье	1600	<=	1600				
16									
17									

Рис. 58. Пример ручного решения задачи получения максимальной прибыли производства

3. Найдем оптимальное решение задачи с помощью встроенного в Excel метода оптимизации (настройка **Поиск решения**). Если эта настройка не установлена на Вашем компьютере, то открываем **Сервис – Настройки**, ставим галочку в поле **Поиск решения**, нажимаем **Ок** и она установится автоматически. Открываем **Сервис – Поиск решения**. В поле **Установить целевую ячейку** указываем адрес нашей целевой функции (ячейка D12). Устанавливаем **Равной: максимальному значению**. В поле **Изменяя ячейки** указываем адрес строки «Изготовлено фунтов» (ячейки D2:I2), значения которых нам надо найти в результате оптимизации. В поле **Ограничения** записываем заданные ограничения в виде неравенств, указывая адреса ячеек, где эти ограничения записаны. Нажимаем на кнопку **Параметры** и ставим галочки напротив пунктов: **Линейная модель** и **Неотрицательные значения** (рис.59).

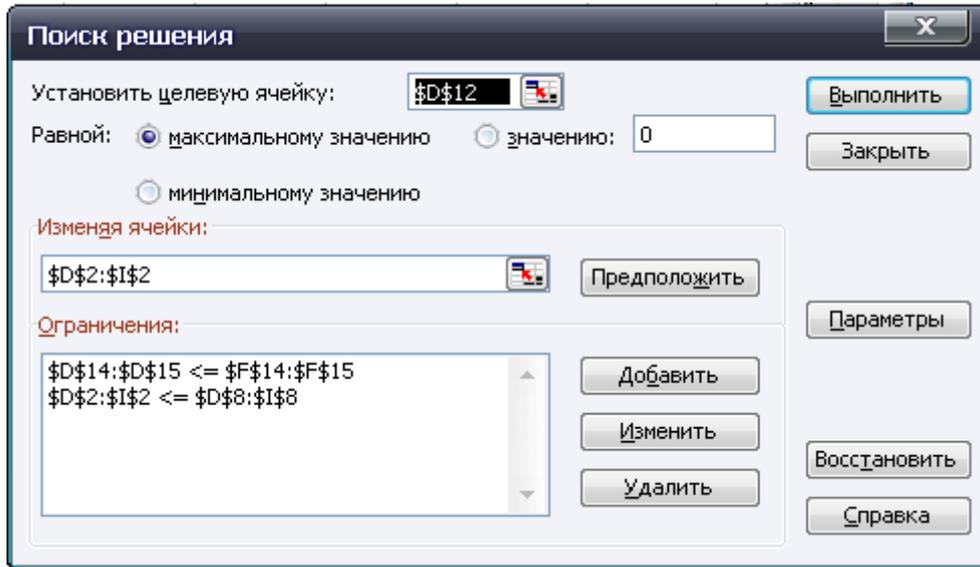


Рис. 59. Задание параметров надстройки «Поиск решения»

Нажимаем кнопку **Выполнить** и фиксируем найденную методом оптимизации максимальную прибыль (рис. 60):

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1									
2		Изготовлено фунтов	0	0	0	596,6667	1084	0	
3	В наличии	Препарат	1	2	3	4	5	6	
4	4500	Трудозатраты	6	5	4	3	2,5	1,5	
5	1600	Сырье	3,2	2,6	1,5	0,8	0,7	0,3	
6		Цена единицы, долл.	12,50	11,00	9,00	7,00	6,00	3,00	
7		Себестоимость, долл.	6,50	5,70	3,60	2,80	2,20	1,20	
8		Спрос	960	928	1041	977	1084	1055	
9		Прибыль на единицу, долл	6,00	5,30	5,40	4,20	3,80	1,80	
10									
11									
12		Прибыль, долл.	6625,20						
13						Доступные ресурсы			
14		Трудозатраты общие	4500 <=		4500				
15		Использованное сырье	1236,13333 <=		1600				
16									
17									

Рис. 60. Результат оптимального решения задачи получения максимальной прибыли производства

4. Сравниваем решения, полученные по п.2 и п.3 и делаем вывод: *«В результате применения надстройки «Поиск решения» приложения Excel мы нашли для заданных ограничений максимально возможную прибыль. По сравнению с ручным решением (\$4714) она составила \$6625, что больше по сравнению с первоначальным вариантом на 40,5%».*

5. Повторяем пп. 1–4 для индивидуального задания и составляем отчет в электронной форме.

Индивидуальные задания

Увеличить количество производимых в компании препаратов с 6 до $6+n$. Где n – число, равное порядковому номеру студента в журнале преподавателя. Варьируя параметры добиться, чтобы производство новых препаратов стало выгодным (приносило прибыль).

3.3.3. Задача оптимизации численности персонала

Проблема

Предположим у Вас имеется нефтегазовый банк, офис которого обрабатывает чеки 7 дней в неделю, а банковские служащие работают 5 дней в неделю. Известно сколько каждый день требуется сотрудников для обработки чеков. Какое минимальное количество персонала на обработку чеков банк должен принять, чтобы сэкономить на зарплате, но своевременно обрабатывать все чеки?

Ограничения

- каждый день сотрудников должно быть не меньше заданного;
- количество сотрудников должно быть целым числом.

Ход решения задачи

1. Заготовим следующую таблицу с исходными данными (рис. 61)

	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж
2	Итого работников		Работает	1						
3	0		Не работает	0						
4	Количество начавших работу в этот день	День начала трудовой недели	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота	Воскресенье	
5	0	Понедельник	1	1	1	1	1	0	0	
6	0	Вторник	0	1	1	1	1	1	0	
7	0	Среда	0	0	1	1	1	1	1	
8	0	Четверг	1	0	0	1	1	1	1	
9	0	Пятница	1	1	0	0	1	1	1	
10	0	Суббота	1	1	1	0	0	1	1	
11	0	Воскресенье	1	1	1	1	0	0	1	
12	Число работающих		0	0	0	0	0	0	0	
13			>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=	
14	Необходимое количество		17	13	15	17	9	9	12	

Рис. 61. Таблица с исходными данными

Для учета ежедневно работающих составим двоичную таблицу, где строка будет обозначать день начала трудовой пятидневки сотрудника, а столбец – день продолжения работы (1 – работает, 0 – не работает). В строку «**Число работающих**» занесем формулу: сумму произведений столбца «**Количество начавших работу в этот день**» на столбец двоичных чисел, соответствующий каждому дню недели. В ячейку «**Итого работников**» занесем целевую функцию: сумму элементов столбца «**Количество начавших работу в этот день**».

1. Решаем задачу с помощью созданной нами линейной модели вручную. Для этого поочередно задаем количество работников в столбце «**Количество начавших работу в этот день**», наблюдая за тем, чтобы все числа в строке «**Число работающих**» были не меньше, чем в строке «**Необходимое количество**». Фиксируем найденное методом моделирования решение, например, такое (рис. 62):

Количество начавших работу в этот день	День начала трудовой недели	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота	Воскресенье
4	Понедельник	1	1	1	1	1	0	0
4	Вторник	0	1	1	1	1	1	0
4	Среда	0	0	1	1	1	1	1
4	Четверг	1	0	0	1	1	1	1
4	Пятница	1	1	0	0	1	1	1
4	Суббота	1	1	1	0	0	1	1
4	Воскресенье	1	1	1	1	0	0	1
Число работающих		20	20	20	20	20	20	20
Необходимое количество			17	13	15	17	9	12

Рис. 62. Пример ручного решения задачи оптимизации численности персонала

2. Найдем оптимальное решение задачи с помощью встроенного в *Excel* метода оптимизации (настройка **Поиск решения**). Если эта настройка не установлена на Вашем компьютере, то открываем **Сервис – Настройки**, ставим галочку в поле **Поиск решения**, нажимаем **Ок** и она установится автоматически. Открываем **Сервис – Поиск решения**. В поле **Установить целевую ячейку** указываем адрес нашей целевой функции (A3). Устанавливаем **Равной: минимальному значению**. В поле **Изменяя ячейки** указываем адрес столбца «Количество начавших работу в этот день» (ячейки A5:A11), значения которых нам надо найти в результате оптимизации. В поле **Ограничения** записываем заданные ограничения в виде неравенств, указывая адреса ячеек, где эти ограничения записаны. Нажимаем на кнопку **Параметры** и ставим галочки напротив пунктов: **Линейная модель** и **Неотрицательные значения** (рис. 63).

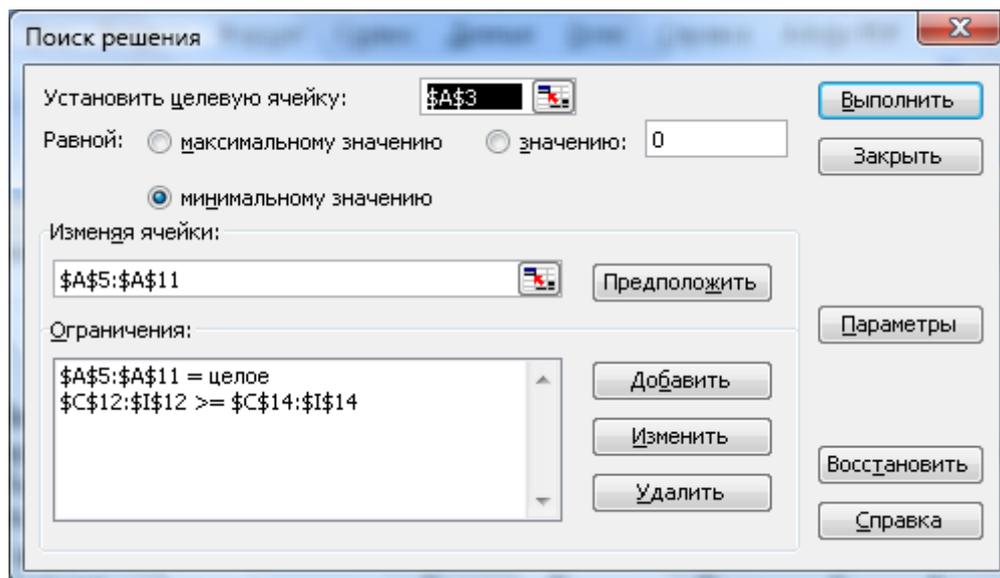


Рис. 63. Задание параметров надстройки «Поиск решения»

Нажимаем кнопку **Выполнить** и фиксируем найденное методом оптимизации решение (рис. 64).

Количество начавших работу в этот день	День начала трудовой недели	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота	Воскресенье
2	Понедельник	1	1	1	1	1	0	0
0	Вторник	0	1	1	1	1	1	0
2	Среда	0	0	1	1	1	1	1
4	Четверг	1	0	0	1	1	1	1
1	Пятница	1	1	0	0	1	1	1
2	Суббота	1	1	1	0	0	1	1
9	Воскресенье	1	1	1	1	0	0	1
Число работающих		18	14	15	17	9	9	18
Необходимое количество		>=	>=	>=	>=	>=	>=	>=
		17	13	15	17	9	9	12

Рис. 64. Результат оптимального решения задачи оптимизации численности персонала

Проверяем, единственное ли это решение, соответствующее найденному минимуму, путем повторной оптимизации. Фиксируем, сколько таких оптимальных решений имеется.

3. Сравниваем решения, полученные по п.2 и п.3 и делаем вывод: *«В результате применения надстройки «Поиск решения» приложения Excel мы нашли для заданных ограничений минимально возможную численность персонала офиса. По сравнению с ручным решением (28 человек) она составила 20 человек, что позволит сэкономить 28,5 % на зарплате персонала либо повысить ее на столько же оставшимся сотрудникам».*

4. Повторяем пп. 1–4 для индивидуального задания и составляем отчет в электронной форме.

Индивидуальные задания

Таблица 2

Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Рабочих дней в неделю	Необходимое количество работников						
		пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
1	4	17	13	15	17	9	19	11
2	5	16	14	16	16	8	18	12
3	6	15	15	17	15	7	17	13
4	7	14	16	18	14	6	16	14
5	2	13	17	19	13	5	15	15
6	3	12	18	10	12	4	14	16
7	4	11	19	11	11	5	13	17
8	5	10	20	12	10	7	12	18
9	6	9	21	13	11	8	11	19
10	4	8	22	14	12	9	10	20
11	2	7	13	15	13	10	9	21
12	3	17	11	16	14	11	8	22
13	4	16	12	17	15	12	7	23
14	5	15	11	18	16	13	6	24
15	6	14	10	19	17	14	5	23
16	6	13	13	20	18	15	6	22
17	5	12	11	21	19	16	7	21
18	4	11	10	22	20	17	8	20
19	3	10	13	23	21	18	9	19
20	2	17	12	24	22	19	10	18

3.3.4. Задача минимизации транспортных расходов

Проблема

Предположим у Вас есть компания в США, которая производит нефтепродукты на 3-х заводах (в Лос-Анджелесе, Атланте и Нью-Йорке) и отправляет их в 4 региона (Восток, Ср.Запад, Юг, Запад). Известна стоимость производства и поставки 1 т нефтепродуктов на каждом заводе в каждый регион. Сколько каждый завод должен производить нефтепродуктов, чтобы общая стоимость затрат для фирмы была минимальна и все договора поставок были выполнены?

Ограничения

- План производства нефтепродуктов не должен превышать заданную производственную мощность завода;
- в регион должно поставляться нефтепродуктов не менее заданного количества по договору поставки (спрос).

Ход решения задачи

1. Заготовим следующую таблицу с исходными данными (рис. 65)

СТОИМОСТЬ	В	С	Д	Е	ПРОИЗВ. МОЩНОСТЬ	
2	СТОИМОСТЬ					
3	ВОСТОК	СР. ЗАПАД	ЮГ	ЗАПАД	ПРОИЗВ. МОЩНОСТЬ	
4	Лос-Анджелес	5,00	3,50	4,20	2,20	10000
5	Атланта	3,20	2,60	1,80	4,80	12000
6	Нью-Йорк	2,50	3,10	3,30	5,40	14000
8	Поставки					
9	ВОСТОК	СР. ЗАПАД	ЮГ	ЗАПАД	Отправлено	ПРОИЗВ. МОЩНОСТЬ
10	Лос-Анджелес	0	0	0	0 <=	10000
11	Атланта	0	0	0	0 <=	12000
12	Нью-Йорк	0	0	0	0 <=	14000
13	Получено	0	0	0	0	
14	>=	>=	>=	>=		
15	СПРОС	9000	6000	6000	13000	
18	Общая стоимость	0,00	долл.			

Рис. 65. Таблица с исходными данными

При этом диапазону ячеек В4:Е6 присвоим имя «стоимость», для этого выделим этот диапазон и выполним:

Вставка–Имя–Присвоить стоимость

А диапазону ячеек В10:Е12 присвоим имя «поставки», для этого выполним аналогичные действия (рис. 66):

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж
1									
2	Стоимость								
3	ВОСТОК	СР. ЗАПАД	ЮГ	ЗАПАД	ПРОИЗВ. МОЩНОСТЬ				
4	Лос-Анджелес	5,00	3,50	4,20	2,20	10000			
5	Атланта	3,20	2,60	1,80	4,80	12000			
6	Нью-Йорк	2,50	3,10	3,30	5,40	14000			
7									
8	Поставки								
9	ВОСТОК	СР. ЗАПАД	ЮГ	ЗАПАД	Отправлено	ПРОИЗВ. МОЩНОСТЬ			
10	Лос-Анджелес	0	0	0	0	0 <=	10000		
11	Атланта	0	0	0	0	0 <=	12000		
12	Нью-Йорк	0	0	0	0	0 <=	14000		
13	Получено	0	0	0	0				
14		>=	>=	>=	>=				
15	СПРОС	9000	6000	6000	13000				
16									
17									
18	Общая стоимость	0,00 долл.							
19									
20									

Рис. 66. Таблица с исходными данными (продолжение)

В строку «получено» занесем сумму ячеек по столбцам диапазона «поставки», а в столбец «отправлено» занесем сумму ячеек по строкам этого же диапазона. В ячейку «Общая стоимость» занесем формулу: сумма произведений диапазона «поставки» на диапазон «стоимость». Получим итоговую таблицу, представленную на рис. 67.

Microsoft Excel - Transport.xls

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка Adobe PDF Введите вопрос

В18 $f_x = \text{СУММПРОИЗВ}(\text{стоимость}; \text{поставки})$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	Стоимость									
3		ВОСТОК	СР. ЗАПАД	ЮГ	ЗАПАД	ПРОИЗВ. МОЩНОСТЬ				
4	Лос-Анджелес	5,00	3,50	4,20	2,20	10000				
5	Атланта	3,20	2,60	1,80	4,80	12000				
6	Нью-Йорк	2,50	3,10	3,30	5,40	14000				
7										
8	Поставки									
9		ВОСТОК	СР. ЗАПАД	ЮГ	ЗАПАД	Отправлено	ПРОИЗВ. МОЩНОСТЬ			
10	Лос-Анджелес	0	0	0	0	0 <=	10000			
11	Атланта	0	0	0	0	0 <=	12000			
12	Нью-Йорк	0	0	0	0	0 <=	14000			
13	Получено	0	0	0	0					
14		>=	>=	>=	>=					
15	СПРОС	9000	6000	6000	13000					
16										
17										
18	Общая стоимость	0,00	долл.							
19										
20										

МОДЕЛЬ / Лист2 / Лист3 /

Готово

Рис. 67. Таблица с исходными данными (итоговая)

2. Решаем задачу с помощью созданной нами линейной модели вручную. Для этого поочередно задаем количество тонн производимых и поставляемых нефтепродуктов в диапазоне «поставки», соблюдая заданные ограничения, например, (рис. 68):

Microsoft Excel - Transport.xls

В18 fx =СУММПРОИЗВ(стоимость;поставки)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	Стоимость									
3		ВОСТОК	СР. ЗАПАД	ЮГ	ЗАПАД	ПРОИЗВ. МОЩНОСТЬ				
4	Лос-Анджелес	5,00	3,50	4,20	2,20	10000				
5	Атланта	3,20	2,60	1,80	4,80	12000				
6	Нью-Йорк	2,50	3,10	3,30	5,40	14000				
7										
8	Поставки									
9		ВОСТОК	СР. ЗАПАД	ЮГ	ЗАПАД	Отправлено	ПРОИЗВ. МОЩНОСТЬ			
10	Лос-Анджелес	3000	2000	2000	3000	10000 <=	10000			
11	Атланта	3000	2000	2000	3000	10000 <=	12000			
12	Нью-Йорк	3000	2000	2000	7000	14000 <=	14000			
13	Получено	9000	6000	6000	13000					
14		>=	>=	>=	>=					
15	СПРОС	9000	6000	6000	13000					
16										
17										
18	Общая стоимость	127900,00	долл.							
19										
20										

Готово

Рис. 68. Пример ручного решения задачи минимизации транспортных расходов

3. Найдем оптимальное решение задачи с помощью встроенного в *Excel* метода оптимизации (настройка **Поиск решения**). Если эта настройка не установлена на Вашем компьютере, то открываем **Сервис – Настройки**, ставим галочку в поле **Поиск решения**, нажимаем **Ок** и она установится автоматически. Открываем **Сервис – Поиск решения**. В поле **Установить целевую ячейку** указываем адрес нашей целевой функции (B18). Устанавливаем **Равной: минимальному значению**. В поле **Изменяя ячейки** указываем адрес диапазона «поставки» (ячейки B10:E12), значения которых нам надо найти в результате оптимизации. В поле **Ограничения** записываем заданные ограничения в виде неравенств, указывая адреса ячеек, где эти ограничения записаны. Нажимаем на кнопку **Параметры** и ставим галочки напротив пунктов: **Линейная модель** и **Неотрицательные значения** (рис. 69):

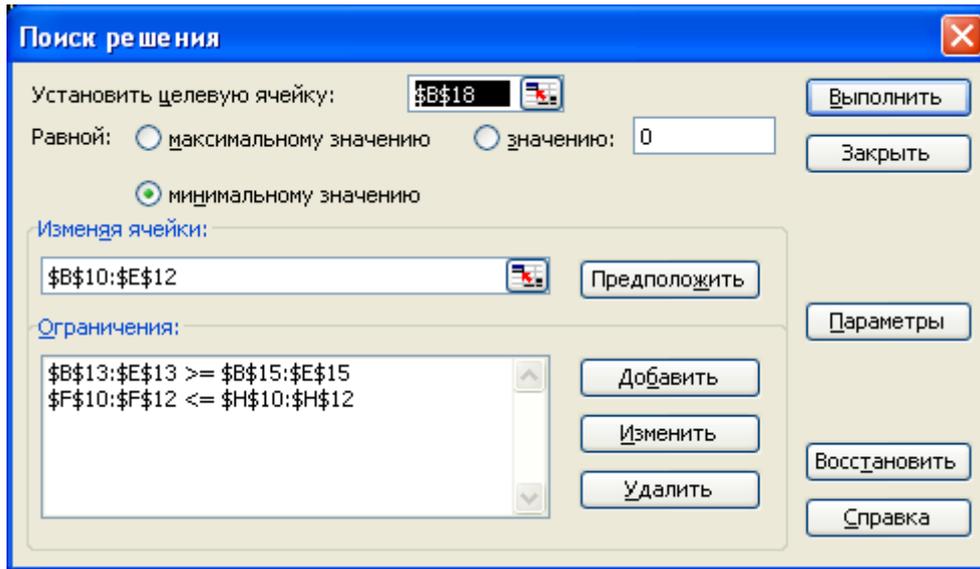


Рис. 69. Задание параметров надстройки «Поиск решения»

Нажимаем кнопку **Выполнить** и фиксируем найденное решение методом оптимизации (рис. 70):

	ВОСТОК	СР. ЗАПАД	ЮГ	ЗАПАД	ПРОИЗВ. МОЩНОСТЬ	
Лос-Анджелес	5,00	3,50	4,20	2,20	10000	
Атланта	3,20	2,60	1,80	4,80	12000	
Нью-Йорк	2,50	3,10	3,30	5,40	14000	
Поставки						
	ВОСТОК	СР. ЗАПАД	ЮГ	ЗАПАД	Отправлено	ПРОИЗВ. МОЩНОСТЬ
Лос-Анджелес	0	0	0	10000	10000 <=	10000
Атланта	0	3000	6000	3000	12000 <=	12000
Нью-Йорк	9000	3000	0	0	12000 <=	14000
Получено	9000	6000	6000	13000		
СПРОС	9000	6000	6000	13000		
Общая стоимость	86800,00 долл.					

Рис. 70. Результат оптимального решения задачи минимизации транспортных расходов

4. Сравниваем решения, полученные по п.2 и п.3 и делаем вывод:
«В результате применения надстройки «Поиск решения» приложения Excel мы нашли для заданных ограничений минимально возможные транспортные расходы. По сравнению с ручным решением (\$127900) они составила \$86800, что позволит сэкономить 32% от суммы первоначальных транспортных расходов».

5. Повторяем пп. 1–4 для индивидуального задания и составляем отчет в электронной форме.

Индивидуальные задания

Таблица 3

Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Количество заводов	Количество потребителей	Стоимость производства и поставки
1	4	5	1...5
2	5	4	5...20
3	4	6	4...10
4	5	7	10...20
5	6	4	5...10
6	3	8	8...20
7	4	7	2...10
8	5	3	1...5
9	7	8	4...12
10	7	9	1...7
11	4	8	2...5
12	5	7	1...8
13	3	5	5...11
14	4	9	7...10
15	5	6	8...18
16	6	9	3...15
17	7	3	2...22
18	8	5	1...11
19	9	6	6...12
20	10	5	5...35

3.3.5. Задача получения максимальной прибыли капиталовложений

Проблема

Предположим Ваша нефтяная компания объявила Конкурс инвестиционных проектов, на который поступило 20 разных проектов, каждый из которых требует некоторых финансовых и трудовых ресурсов и должен принести потом некоторую прибыль. Какие проекты следует поддержать (профинансировать в условии существующих рамок), чтобы суммарная прибыль оказалась максимальной?

Ограничения

- Каждый поддержанный проект должен финансироваться 3 года;
- каждый год суммарные затраты на все поддержанные проекты не должны превышать имеющихся средств и трудовых ресурсов;
 - 1-е дополнительное ограничение: если поддержан проект i , то поддержать и проект j (если это задано в условиях);
 - 2-е дополнительное ограничение: из первых n проектов поддержать можно не более m ($m < n$)

Ход решения задачи

2. Заготовим следующую таблицу с исходными данными (рис. 71)

Выполнить его?	Прибыль	Затраты года 1	Затраты года 2	Затраты года 3	Трудозатраты года 1	Трудозатраты года 2	Трудозатраты года 3
1	Общая прибыль	0	0	0	0	0	0
2	Используется	0	0	0	0	0	0
3	В наличии	2500	2800	2900	900	900	900
4	Проект 1	928	398	180	368	111	108
5	Проект 2	908	151	269	248	139	86
6	Проект 3	801	129	189	308	56	61
7	Проект 4	543	275	218	220	54	70
8	Проект 5	944	291	252	228	123	141
9	Проект 6	848	80	283	285	119	84
10	Проект 7	545	203	220	77	54	44
11	Проект 8	808	150	113	143	67	101
12	Проект 9	638	282	141	160	37	55
13	Проект 10	841	214	254	355	130	72
14	Проект 11	664	224	271	130	51	79
15	Проект 12	546	225	150	33	35	107
16	Проект 13	699	101	218	272	43	90
17	Проект 14	599	255	202	70	3	75
18	Проект 15	903	228	351	240	60	93
19	Проект 16	859	303	173	431	60	90
20	Проект 17	748	133	427	220	59	40
21	Проект 18	668	197	98	214	95	96
22	Проект 19	888	313	278	291	66	75
23	Проект 20	655	152	211	134	85	59

Рис. 71. Таблица с исходными данными

При этом диапазону ячеек A6:A25 присвоим имя «выполнить_его», для этого выделим этот диапазон и выполним:

Вставка–Имя–Присвоить выполнить_его

Аналогично выделяем столбец «Прибыль» и присвоим ему имя **Прибыль** для использования его в формулах.

В строку «Используется» занесем сумму произведений диапазона «выполнить_его» на соответствующий столбец затрат. В ячейку «Общая прибыль» занесем формулу: сумма произведений диапазона «выполнить_его» на столбец «прибыль» (рис. 72).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		Общая прибыль									
2		0.00		Используется	0	0	0	0	0	0	
3					<=	<=	<=	<=	<=	<=	
4				В наличии	2500	2800	2900	900	900	900	
5	Выполнить его?		Прибыль		Затраты года 1	Затраты года 2	Затраты года 3	Трудозатраты года 1	Трудозатраты года 2	Трудозатраты года 3	
6	Проект 1	928			398	180	368	111	108	123	
7	Проект 2	908			151	269	248	139	86	83	
8	Проект 3	801			129	189	308	56	61	23	
9	Проект 4	543			275	218	220	54	70	59	
10	Проект 5	944			291	252	228	123	141	70	
11	Проект 6	848			80	283	285	119	84	37	
12	Проект 7	545			203	220	77	54	44	42	
13	Проект 8	808			150	113	143	67	101	43	
14	Проект 9	638			282	141	160	37	55	64	
15	Проект 10	841			214	254	355	130	72	62	
16	Проект 11	664			224	271	130	51	79	58	
17	Проект 12	546			225	150	33	35	107	63	
18	Проект 13	699			101	218	272	43	90	71	
19	Проект 14	599			255	202	70	3	75	83	
20	Проект 15	903			228	351	240	60	93	80	
21	Проект 16	859			303	173	431	60	90	41	
22	Проект 17	748			133	427	220	59	40	39	
23	Проект 18	668			197	98	214	95	96	74	
24	Проект 19	888			313	278	291	66	75	74	
25	Проект 20	655			152	211	134	85	59	70	

Рис. 72. Таблица с исходными данными (продолжение)

2. Решаем задачу с помощью созданной нами линейной модели вручную. Для этого задаем двоичные числа в диапазоне «выполнить_его» (1 – проект поддержан, 0 – проект не поддержан), соблюдая заданные ограничения, например, (рис. 73):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		Общая прибыль									
2		7804.00		Используется	2173	2119	2392	890	822	606	
3					<=	<=	<=	<=	<=	<=	
4				В наличии	2500	2800	2900	900	900	900	
5	Выполнить его?		Прибыль		Затраты года 1	Затраты года 2	Затраты года 3	Трудозатраты года 1	Трудозатраты года 2	Трудозатраты года 3	
6	1	Проект 1	928		398	180	368	111	108	123	
7	1	Проект 2	908		151	269	248	139	86	83	
8	1	Проект 3	801		129	189	308	56	61	23	
9	1	Проект 4	543		275	218	220	54	70	59	
10	1	Проект 5	944		291	252	228	123	141	70	
11	1	Проект 6	848		80	283	285	119	84	37	
12	1	Проект 7	545		203	220	77	54	44	42	
13	1	Проект 8	808		150	113	143	67	101	43	
14	1	Проект 9	638		282	141	160	37	55	64	
15	1	Проект 10	841		214	254	355	130	72	62	
16	0	Проект 11	664		224	271	130	51	79	58	
17	0	Проект 12	546		225	150	33	35	107	63	
18	0	Проект 13	699		101	218	272	43	90	71	
19	0	Проект 14	599		255	202	70	3	75	83	
20	0	Проект 15	903		228	351	240	60	93	80	
21	0	Проект 16	859		303	173	431	60	90	41	
22	0	Проект 17	748		133	427	220	59	40	39	
23	0	Проект 18	668		197	98	214	95	96	74	
24	0	Проект 19	888		313	278	291	66	75	74	
25	0	Проект 20	655		152	211	134	85	59	70	

Рис. 73. Пример ручного решения задачи минимизации персонала

3. Найдем оптимальное решение задачи с помощью встроенного в *Excel* метода оптимизации (настройка **Поиск решения**). Если эта настройка не установлена на Вашем компьютере, то открываем **Сервис – Настройки**, ставим галочку в поле **Поиск решения**, нажимаем **Ок** и она установится автоматически. Открываем **Сервис – Поиск решения**. В поле **Установить целевую ячейку** указываем адрес нашей целевой функции (B2). Устанавливаем **Равной: максимальному значению**. В поле **Изменяя ячейки** указываем адрес диапазона «выполнить_его» (ячейки A6:A25), значения которых нам надо найти в результате оптимизации. В поле **Ограничения** записываем заданные ограничения в виде неравенств, указывая адреса ячеек, где эти ограничения записаны. В поле **Ограничения** также указываем, что диапазона «выполнить_его» должен быть двоичными числами. Нажимаем на кнопку **Параметры** и ставим галочки напротив пунктов: **Линейная модель** и **Неотрицательные значения** (рис. 74):

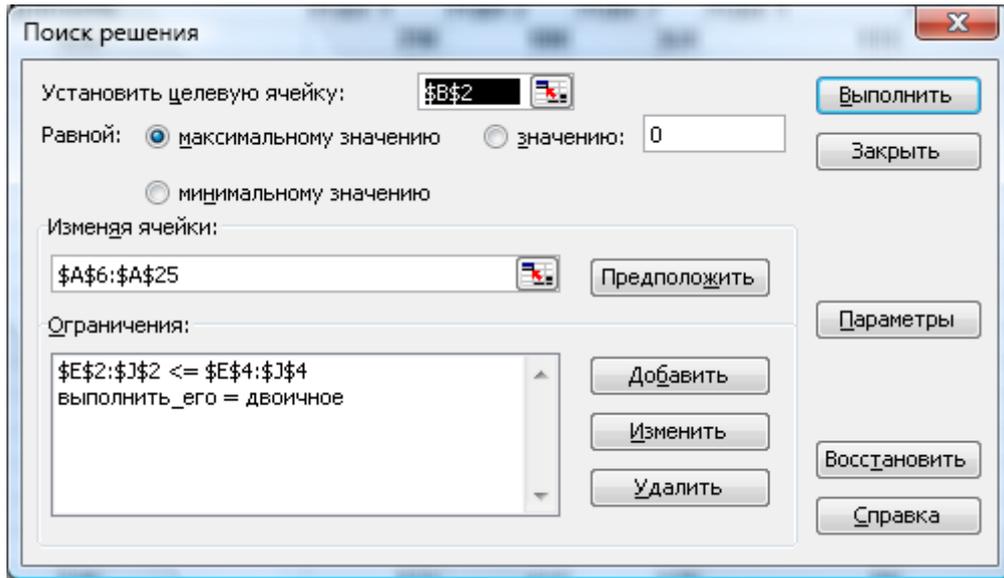


Рис. 74. Задание параметров надстройки «Поиск решения»

Нажимаем кнопку **Выполнить** и фиксируем найденное решение методом оптимизации (рис. 75):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		Общая прибыль									
2		9293,00	Используется		2460	2684	2742		876	895	702
3				<=	<=	<=	<=		<=	<=	
4			В наличии		2500	2800	2900		900	900	900
5	Выполнить его?		Прибыль		Затраты года 1	Затраты года 2	Затраты года 3		Трудозатраты года 1	Трудозатраты года 2	Трудозатраты года 3
6	0	Проект 1	928		398	180	368		111	108	123
7	1	Проект 2	908		151	269	248		139	86	83
8	1	Проект 3	801		129	189	308		56	61	23
9	0	Проект 4	543		275	218	220		54	70	59
10	0	Проект 5	944		291	252	228		123	141	70
11	1	Проект 6	848		80	283	285		119	84	37
12	1	Проект 7	545		203	220	77		54	44	42
13	1	Проект 8	808		150	113	143		67	101	43
14	1	Проект 9	638		282	141	160		37	55	64
15	1	Проект 10	841		214	254	355		130	72	62
16	0	Проект 11	664		224	271	130		51	79	58
17	0	Проект 12	546		225	150	33		35	107	63
18	0	Проект 13	699		101	218	272		43	90	71
19	1	Проект 14	599		255	202	70		3	75	83
20	1	Проект 15	903		228	351	240		60	93	80
21	1	Проект 16	859		303	173	431		60	90	41
22	0	Проект 17	748		133	427	220		59	40	39
23	0	Проект 18	668		197	98	214		95	96	74
24	1	Проект 19	888		313	278	291		66	75	74
25	1	Проект 20	655		152	211	134		85	59	70

Рис. 75. Результат оптимального решения задачи

4. Сравниваем решения, полученные по п.2 и п.3 и делаем вывод:
«В результате применения надстройки «Поиск решения» приложения Excel мы нашли для заданных ограничений проекты, капиталовложения в которые дадут максимальную прибыль. По сравнению с ручным решением (\$7804) суммарная прибыль составила \$9293, что больше на 19% прибыли от первоначального варианта капиталовложений».

5. Повторяем пп. 1–4 для индивидуального задания и составляем отчет в электронной форме.

Индивидуальные задания

Таблица 4

Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Задание
1	Если поддержан проект 2, то поддержать проекты 4 и 14. Из первых 5 проектов должно быть выбрано не более 3.
2	Если поддержан проект 3, то поддержать проекты 5 и 10. Из первых 6 проектов должно быть выбрано не более 4.
3	Если поддержан проект 6, то поддержать проекты 11 и 12. Из первых 7 проектов должно быть выбрано не более 5.
4	Если поддержан проект 7, то поддержать проекты 12 и 13. Из первых 8 проектов должно быть выбрано не более 3.
5	Если поддержан проект 8, то поддержать проекты 13 и 14. Из первых 9 проектов должно быть выбрано не более 4.
6	Если поддержан проект 9, то поддержать проекты 1 и 4. Из первых 10 проектов должно быть выбрано не более 5.
7	Если поддержан проект 10, то поддержать проекты 1 и 5. Из первых 11 проектов должно быть выбрано не более 6.
8	Если поддержан проект 14, то поддержать проекты 4 и 6. Из первых 12 проектов должно быть выбрано не более 5.
9	Если поддержан проект 15, то поддержать проекты 1 и 17. Из первых 13 проектов должно быть выбрано не более 6.
10	Если поддержан проект 16, то поддержать проекты 11 и 18. Из первых 14 проектов должно быть выбрано не более 7.
11	Если поддержан проект 19, то поддержать проекты 1 и 11. Из последних 15 проектов должно быть выбрано не более 3.
12	Если поддержан проект 20, то поддержать проекты 5 и 14. Из последних 14 проектов должно быть выбрано не более 4.

13	Если поддержан проект 2, то поддержать проекты 5 и 18.
14	Из последних 13 проектов должно быть выбрано не более 5.
15	Если поддержан проект 3, то поддержать проекты 17 и 1.
16	Из последних 12 проектов должно быть выбрано не более 6.
17	Если поддержан проект 6, то поддержать проекты 11 и 18.
18	Из последних 11 проектов должно быть выбрано не более 7
19	Если поддержан проект 8, то поддержать проекты 5 и 1.
20	Из последних 10 проектов должно быть выбрано не более 2.

Для выполнения индивидуальных заданий необходимо внести 1-е и 2-е дополнительные ограничения. Пример 1-го дополнительного ограничения показан на рис. 76:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		Общая прибыль										
2		0		Используется	0	0	0	0	0	0		
3					<=	<=	<=	<=	<=	<=		
4				В наличии	2500	2800	2900	900	900	900		
5	Выполнить его?		Прибыль		Затраты года 1	Затраты года 2	Затраты года 3	Трудозатраты года 1	Трудозатраты года 2	Трудозатраты года 3		
6		Проект 1	928		398	180	368	111	108	123		
7		Проект 2	908		151	269	248	139	86	83		
8		Проект 3	801		129	189	308	56	61	23		Проект 3
9		Проект 4	543		275	218	220	54	70	59		0
10		Проект 5	944		291	252	228	123	141	70		<=
11		Проект 6	848		80	283	285	119	84	37		Проект 4
12		Проект 7	545		203	220	77	54	44	42		0
13		Проект 8	808		150	113	143	67	101	43		
14		Проект 9	638		282	141	160	37	55	64		
15		Проект 10	841		214	254	355	130	72	62		
16		Проект 11	664		224	271	130	51	79	58		
17		Проект 12	546		225	150	33	35	107	63		
18		Проект 13	699		101	218	272	43	90	71		
19		Проект 14	599		255	202	70	3	75	83		
20		Проект 15	903		228	351	240	60	93	80		
21		Проект 16	859		303	173	431	60	90	41		
22		Проект 17	748		133	427	220	59	40	39		
23		Проект 18	668		197	98	214	95	96	74		
24		Проект 19	888		313	278	291	66	75	74		
25		Проект 20	655		152	211	134	85	59	70		

Рис. 76. Пример первого дополнительного ограничения

Пример 2-го дополнительного ограничения показан на рис. 77:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		Общая прибыль										
2		0		Используется	0	0	0	0	0	0		
3					<=	<=	<=	<=	<=	<=		
4				В наличии	2500	2800	2900	900	900	900		
5	Выполнить его?		Прибыль		Затраты года 1	Затраты года 2	Затраты года 3	Трудозатраты года 1	Трудозатраты года 2	Трудозатраты года 3		Максимум 4 из Проектов 1-10
6		Проект 1	928		398	180	368	111	108	123		
7		Проект 2	908		151	269	248	139	86	83		
8		Проект 3	801		129	189	308	56	61	23		0
9		Проект 4	543		275	218	220	54	70	59		<=
10		Проект 5	944		291	252	228	123	141	70		4
11		Проект 6	848		80	283	285	119	84	37		
12		Проект 7	545		203	220	77	54	44	42		
13		Проект 8	808		150	113	143	67	101	43		
14		Проект 9	638		282	141	160	37	55	64		
15		Проект 10	841		214	254	355	130	72	62		
21		Проект 16	859		303	173	431	60	90	41		
22		Проект 17	748		133	427	220	59	40	39		
23		Проект 18	668		197	98	214	95	96	74		
24		Проект 19	888		313	278	291	66	75	74		
25		Проект 20	655		152	211	134	85	59	70		

Рис. 77. Пример второго дополнительного ограничения

3.4. Вопросы к Главе 3

1. Что понимается под разработкой месторождения?
2. Какова общая задача управления технологическим процессом?
3. Каковы задачи и особенности управления разработкой месторождений?
4. Какие ограничения необходимо выполнять в задаче управления разработкой месторождений?
5. Приведите пример крупной аварии, связанной с ошибками управления разработкой нефтяного месторождения.
6. Почему нефтегазовое месторождение относится к классу многосвязных систем?
7. Что такое статическая оптимизация?
8. Что такое целевая функция, варьируемые переменные и ограничения в оптимизационной задаче?
9. Математическая постановка задачи оптимизации.
10. Классификация оптимизационных методов.
11. В чем особенности поиска глобального экстремума?

12. В чем заключается метод покоординатного спуска?
13. Какие задачи позволяют решать инструментальные средства оптимизации?
14. Каковы этапы решения задачи оптимизации в надстройке Excel «Поиск решения»?
15. Приведите пример простой оптимизации с помощью надстройки Excel «Поиск решения».
16. Как сформулировать задачу получения максимальной прибыли производства с помощью надстройки Excel «Поиск решения»?
17. Как сформулировать задачу оптимизации численности персонала с помощью надстройки Excel «Поиск решения»?
18. Как сформулировать задачу минимизации транспортных расходов с помощью надстройки Excel «Поиск решения»?
19. Как сформулировать задачу получения максимальной прибыли капиталовложений с помощью надстройки Excel «Поиск решения»?
20. Что такое экспериментальная оптимизация?
21. Что такое «целевая ячейка» в надстройке Excel «Поиск решения»?
22. Что такое «изменяемые ячейки» в надстройке Excel «Поиск решения»?
23. Как задать ограничения в надстройке Excel «Поиск решения»?
24. Как присвоить имя диапазону ячеек в надстройке Excel «Поиск решения»?
25. Как повысить точность оптимального решения в надстройке Excel «Поиск решения»?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков А.А., Хамухин А.А. Введение в информатику процессов первичной переработки нефти: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 232 с.
2. Хамухин А.А. Введение в информатику для инженеров нефтегазового дела. / Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 284 с.
3. Хамухин А.А. Способ предварительной подготовки нефти на промыслах при многоступенчатой сепарации / Патент РФ на изобретение № 2496550. Заяв. 01.06.2012; Оpubл. 27.10.2013, Бюл.30.– 12 с.
4. Хамухин А.А., Новиков А.А., Ямпольский В.З., Марчуков А.В. Перспективы оптимизации установок подготовки нефти на примере компании ТНК-ВР / «Нефтегазовые технологии». – 2009. – № 8. – С. 2–4.
5. Мееров М.В. Управление разработкой нефтяных месторождений / М.: Недра, 1983. – 309 с.
6. Мухин В.И. Основы теории управления. Учебник / М.: Экзамен, 2002. – 256 с.
7. Избычков Ю.С., Петров В.Н. Информационные системы – 2-е издание. / Спб : Изд-во Питер, 2006. – 656 с.
8. Дубинин М.Ю., Костикова А.А. Введение в геоинформационные системы / GISLAB. – URL: <http://gis-lab.info/docs/giscourse/index.html> (дата обращения: 01.01.2014).
9. Самардак А.С. Геоинформационные системы / Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2005. – 124 с.
10. Подъездков Ю.А. Спутниковые системы связи и вещания / М.: Радиотехника, 2008. – 406 с.
11. HN System Introduction/ Student Manual / Hughes Network System, LLC, 2012.
12. Gravina E., Moskovits P. OracleAS Portal 10g: Build Corporate Portals. Student Guide. / Oracle Corporation, 2003
13. Винстон У. *Microsoft Office Excel 2007*. Анализ данных и бизнес-моделирование. // Пер. с англ. – М.: Русская редакция, 2008. – 608 с.
14. Росляк А.Т., Санду С.Ф. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений / Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 152 с.
15. Aspen HYSYS. Tutorials and Applications / Aspen Technology, Inc., 2009. – URL: http://chemelab.ucsd.edu/aspdocs/v7/HYSIS/AspenHYSYSV7_1-Tutorial.pdf (дата обращения: 01.01.2014).

16. Моделирование установившегося потока флюидов (PIPESIM) / Schlumberger, 2009. – URL: <http://www.sis.slb.ru/sis/pipesim/> (дата обращения: 01.01.2014).

17. Программное обеспечение для разработки месторождений (ECLIPSE) / Schlumberger, 2009. – URL: <http://www.sis.slb.ru/sis/ECLIPSE/> (дата обращения: 01.01.2014).

18. Методические рекомендации по проектированию разработки нефтяных и газонефтяных месторождений / Приложение к приказу МПР России от 21.03.2007 № 61. – 94 с.

19. ГОСТ Р 51858-2002 – Нефть. Общие технические условия / ГОСТы, СНИПы, СанПиНы. Образовательный ресурс. URL: <http://www.gostedu.ru/3207.html> (дата обращения: 01.01.2014).

20. ГОСТ Р 53712-2009 – Месторождения нефтяные и газонефтяные. Программные средства для проектирования и оптимизации процесса разработки месторождений. Основные требования / ГОСТы, СНИПы, СанПиНы. Образовательный ресурс. URL: <http://www.gostedu.ru/49255.html> (дата обращения: 01.01.2014).

21. ГОСТ Р 53713-2009 - Месторождения нефтяные и газонефтяные. Правила разработки / ГОСТы, СНИПы, СанПиНы. Образовательный ресурс. URL: <http://www.gostedu.ru/49173.html> (дата обращения: 01.01.2014).

22. ГОСТ Р 54104-2010 – Перспективные производственные технологии. Классификация и оценка соответствия продукции, работ и услуг для предприятий нефтяной и газовой промышленности / ГОСТы, СНИПы, СанПиНы. Образовательный ресурс. URL: <http://www.gostedu.ru/51171.html> (дата обращения: 01.01.2014).

23. ГОСТ Р ИСО 13880-2010 – Перспективные производственные технологии. Содержание и порядок составления технических требований для предприятий нефтяной и газовой промышленности / ГОСТы, СНИПы, СанПиНы. Образовательный ресурс. URL: <http://www.gostedu.ru/50563.html> (дата обращения: 01.01.2014).

24. ГОСТ Р ИСО 15926-2-2010 - Системы промышленной автоматизации и интеграция. Интеграция данных жизненного цикла для перерабатывающих предприятий, включая нефтяные и газовые производственные предприятия / ГОСТы, СНИПы, СанПиНы. Образовательный ресурс. URL: <http://www.gostedu.ru/52414.html> (дата обращения: 01.01.2014).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ПЕРВОИСТОЧНИКОВ

1. Новиков А.А., Хамухин А.А. Введение в информатику процессов первичной переработки нефти: учебное пособие / Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 232 с. URL: <http://window.edu.ru/resource/837/73837/files/InformProcPererNeft.pdf> (дата обращения: 01.01.2014).
2. Разработка базы данных для методического кабинета ГБОУ СПО СО «Каменск-Уральский радиотехникум» / URL: http://knowledge.allbest.ru/programming/2c0b65625a3bc68b5d43b89521316c36_0.html (дата обращения: 01.01.2014).
3. Петров В.Н. Информационные системы / Спб.: Питер, 2003. – 688 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/4624/> (дата обращения: 01.01.2014).
4. Системы управления базами данных / URL: http://knowledge.allbest.ru/programming/3c0a65625b2ad68b5c53b88521216d37_0.html (дата обращения: 01.01.2014).
5. Моделирование нефтяных месторождений / URL: <http://history-matching.ru/> (дата обращения: 01.01.2014).
6. Использование ИКТ при открытии собственного дела / URL: <http://bus.znate.ru/docs/index-2739.html?page=25> (дата обращения: 01.01.2014).
7. Управление персоналом / Википедия. Свободная энциклопедия. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Управление_персоналом (дата обращения: 01.01.2014).
8. Организация баз данных / URL: http://knowledge.allbest.ru/programming/2c0b65635a2ac68a4d53b89521206c27_4.html (дата обращения: 01.01.2014).
9. Электронная цифровая подпись / Единый портал ЭЦП в РФ. URL: <http://www.iecp.ru/eds/legislation/fz/> (дата обращения: 01.01.2014).
10. Федеральный закон Российской Федерации от 6 апреля 2011 г. N 63-ФЗ / Российская газета. URL: <http://www.rg.ru/2011/04/08/podpis-dok.html> (дата обращения: 01.01.2014).
11. Технология ремонта, настройки и регулировки ресивера Samsung DSB-350 / URL: <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=564276> (дата обращения: 01.01.2014).
12. Установка и настройка спутниковой антенны / Телеспутник. Журнал о цифровом телевидении. URL: <http://www.telesputnik.ru/archive/45/article/52.html> (дата обращения: 01.01.2014).

13. Долганов Н.А., Шишаков К.В. Устройства СВЧ и антенны. Приложение 1. – ИжГТУ, 2009. URL: <http://www.istu.ru/obshchaya-informatsiya/links/pub/viewdownload/3/641> (дата обращения: 01.01.2014).
14. Линейное программирование / Википедия. Свободная энциклопедия. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Линейное_программирование (дата обращения: 01.01.2014).
15. Динамическое программирование / Википедия. Свободная энциклопедия. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Динамическое_программирование (дата обращения: 01.01.2014).
16. Жадан И.В. Исследование и разработка алгоритмов и комплекса программ для реализации модифицированного метода поиска глобального экстремума функции многих переменных / Автореф. дисс. канд. тех. наук, М. – 2001. URL: <http://dlib.rsl.ru/01004950990> (дата обращения: 01.01.2014).
17. Хамухин А.А. Применение адаптивного бинормального распределения в методе поиска глобального минимума Simulated Annealing / URL: <http://ru.convdocs.org/docs/index-206554.html> (дата обращения: 01.01.2014).
18. Винстон У. Microsoft Office Excel 2007. Анализ данных и бизнес-моделирование. // Пер. с англ. – М.: «Русская редакция», 2008. – 608 с.
19. Ясенев В.Н. Информационная безопасность в экономических системах. Учебное пособие / Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2006. – 253 с.

Учебное издание

ХАМУХИН Александр Анатольевич

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКОЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Учебное пособие

Издано в авторской редакции

Научный редактор *доктор технических наук,
профессор В.К. Погребной*

Компьютерная верстка *А.А.Хамухин*

Зарегистрировано в Издательстве ТПУ

Размещено на корпоративном портале ТПУ

в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина,30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru