УДК 004.67:910.27 (075.8)

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ: ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ, АРХИТЕКТУРА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Марков Николай Григорьевич,
markovng@tpu.ru

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность работы определяется необходимостью интеллектуализации производства предприятий нефтегазовой отрасли с использованием самых современных методов обработки и анализа данных и информационно-телекоммуникационных технологий. При этом особую значимость сегодня имеют геоинформационные системы (ГИС). Они позволяют обрабатывать и анализировать не только атрибутивные, но и пространственные данные о производственных объектах добывающих и транспортирующих углеводородное сырье предприятий отрасли.

Цель работы: *анализ функциональности и архитектуры современных универсальных ГИС на соответствие требованиям предприятий нефтегазовой отрасли и выявление перспективных направлений развития таких систем.*

Методы исследования: *системный анализ универсальных ГИС и ГИС-платформ на основе сформулированных требований к их характеристикам и функциональности исходя из необходимого перечня решаемых с их помощью классов задач отрасли; методы анализа архитектур информационных систем различного назначения.*

Результаты. *Показано, что на предприятиях нефтегазовой отрасли имеется большое число классов задач, которые необходимо решать с помощью ГИС; проведен анализ векторных универсальных ГИС на соответствие требованиям предприятий отрасли, и сделан вывод, что среди них существуют четыре ГИС-платформы, удовлетворяющие этим требованиям и позволяющие создавать проблемно-ориентированные ГИС для решения разных классов задач отрасли; проанализированы различные архитектуры универсальных ГИС, и по результатам анализа разработана концептуальная архитектура корпоративной ГИС в узком смысле; в рамках этой архитектуры разработан способ организации пространственных баз данных, и предложены перспективные направления развития таких корпоративных ГИС; разработана архитектура, и описаны функции корпоративной ГИС «Магистраль-Восток» для управления производством нефтегазодобывающего предприятия.*

Ключевые слова:
Предприятия нефтегазовой отрасли, пространственные данные, универсальные геоинформационные системы, корпоративные геоинформационные системы.

Введение

В последнее десятилетие большинство крупных предприятий нефтегазовой отрасли выделяют всё больше финансовых ресурсов на развитие систем автоматизации не только технологических процессов, но и многих производственных процессов. При этом наряду с информационными системами управления ресурсами предприятий часто приобретаются и внедряются географические информационные системы (часто говорят геоинформационные системы – ГИС), позволяющие специалистам различных служб обрабатывать и анализировать не только атрибутивные, но и пространственные данные (иногда говорят геоданные) о технологических объектах, зданиях, сооружениях и т. д.

Исторически сложилось так, что в геологической и нефтегазовой отраслях как в России, так и за рубежом полнофункциональные автоматизированные системы обработки и интерпретации геолого-геофизических данных и моделирования нефтяных и газовых резервуаров месторождений углеводородного сырья (УВС), у которых есть отдельные функции анализа пространственных данных, появились значительно раньше, чем ГИС с развитым набором средств пространственного анализа, ориентированные на эти отрасли. К таким полнофункциональным системам обработки и интерпретации геолого-геофизических данных можно отнести IES/IESX, CHARISMA-Seismic (компания Schlumberger, Франция), Integral+ (компания CGG-Petrosystems, Франция), Z-Map Plus (компания Landmark, Франция), СЦС-5 и DV-Geo (Центральная геофизическая экспедиция, Россия) и др. [1]. К развитым системам геологического и гидродинамического моделирования нефтяных и газовых резервуаров, востребованным службами промысловой геологии и разработки месторождений добывающих предприятий, следует отнести системы Roxar/RMS и Roxar Tempest (компания Roxar, Норвегия) [2], CHARISMA-RM, Eclipse и Petrel (компания Schlumberger Ltd, США, Франция) [3] и т. п. Все эти системы, как и упомянутые системы обработки и интерпретации геолого-геофизической информации, имеют в своем составе программные модули, реализующие только отдельные функции обработки пространственных данных о контурах продуктивных пластов (резервуаров) месторождений, о местоположении скважин и т. д.

Появившиеся несколько позднее универсальные ГИС, в первую очередь, такие, как зарубежные системы ArcInfo, ArcView, затем ArcGIS (компания Esri Inc., США) и MapInfo Professional (компания MapInfo Corp., США), и ряд отечественных систем также оказались весьма востребованными на предприятиях этих отраслей. Более того, в России и Казахстане компания Esri Inc. и некоторые другие зарубежные компании через свои дочерние предприятия активно ведут себя на рынке ГИС,

разрабатывая на базе своих универсальных ГИС проблемно-ориентированные системы для предприятий геологической и нефтегазовой отраслей. В то же время всё большее число специалистов различных производственных служб предприятий нефтегазовой отрасли желают использовать в своей деятельности инструменты для обработки и анализа пространственных данных [4, 5]. Многие из них в качестве таких инструментов видят современные универсальные ГИС, адаптированные к решению задач их производственных служб. Это обусловлено ещё и тем, что именно на основе универсальных ГИС можно создать проблемно-ориентированные геоинформационные системы, позволяющие решать комплексные производственные задачи. Более того, по мнению ряда авторов [6–8], внедрение и использование современных ГИС в нефтегазовой отрасли является одним из важных этапов в решении актуальной проблемы интеллектуализации производства нефтегазодобывающих и нефтегазотранспортных предприятий отрасли. Это указывает на актуальность задачи анализа современного состояния рынка ГИС и анализа возможностей этих систем для нефтегазовой отрасли.

Кроме того, бурное развитие за последние 3–5 лет новых информационных технологий привело к появлению универсальных ГИС с новой архитектурой. Необходимо выявить возможность применения систем с такими архитектурами в нефтегазовой отрасли, в том числе для создания корпоративных ГИС.

Изложенное выше позволяет считать, что актуальность данной работы обусловлена необходимостью дальнейшей интеллектуализации производства предприятий нефтегазовой отрасли, в том числе за счет внедрения современных ГИС. При этом значимыми для топ-менеджеров и специалистов этих предприятий, принимающих решение о внедрении ГИС, являются результаты анализа функционала и архитектуры современных универсальных ГИС. Важными для них будут также исследования способов создания корпоративных ГИС и приведенные в статье результаты внедрения одной из таких систем в нефтегазовой отрасли.

Задачи, решаемые с помощью ГИС

Рассмотрим задачи, которые сегодня можно и следует решать на предприятиях нефтегазовой отрасли с использованием атрибутивных и пространственных данных средствами современных ГИС. Приведем перечень основных классов таких задач для добывающих предприятий:

- мониторинг процессов разработки месторождений УВС и управление добычей УВС (управления фондом скважин месторождений); при этом для анализа в ГИС используются пространственные данные в виде координат скважин, данные инклинометрии по скважинам, данные о контурах залежей (резервуаров) УВС и водонефтяных контактах и т. п. [9, 10]; более того, концепция интеллектуального месторождения (англ. Smart Field/iField) [6, 8] предполагает эффективное управление добычей УВС с использованием интеллектуальных методов и систем управления, в том числе ГИС, с помощью которых ведется сложный пространственный анализ данных с целью принятия эффективных управленческих решений;
- техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) объектов (оборудования) наземной инженерной инфраструктуры промыслов; в этих задачах важна координатная привязка как технологических объектов в целом, так и отдельного входящего в их состав оборудования, привязка линейных объектов типа внутрипромысловые трубопроводные сети сбора УВС и линии электропередач, а также координатная привязка межпромысловых нефтегазопроводов, находящихся в ведении предприятия [4]; такие пространственные данные позволяют решать средствами ГИС как задачи планирования работ по ТОиР с учётом местоположения объектов на картах и технологических схемах, так и задачи оптимизации маршрутов ремонтных бригад, последние задачи особенно важны в случае протяженных линейных объектов;
- ведение имущественного кадастра (технологические объекты промыслов, здания и сооружения и т. п.); при решении этих задач используются пространственные данные для традиционного кадастрового учета, а также построенные ортофотокарты и ортофотопланы;
- ведение кадастра земельных участков, полученных добывающими предприятиями в пользование в соответствии с лицензиями на геологическое изучение недр и (или) разработку месторождений УВС, а также земельных участков, взятых на временное пользование у других субъектов хозяйственной деятельности;
- задачи охраны окружающей среды на территориях, занимаемых промыслами и межпромысловыми сооружениями (нефте- и газопроводами, линиями электропередач и т. д.); при их решении используется картирование и прогнозирование зон загрязнений почвы от разливов нефти, шламовых амбаров с отходами от бурения скважин и тому подобных потенциальных источников загрязнений; важными являются также пространственные данные и результаты их анализа с помощью ГИС о загрязнениях водных объектов, лесных массивов и других природных объектов на территории деятельности добывающих предприятий [11–14].

Классы задач, присущих нефте- и газотранспортным предприятиям отрасли, при решении которых используются пространственные данные и ГИС для их обработки и анализа, в части задач кадастров имущества и земель, а также задач охраны окружающей среды, не сильно отличаются от подобных задач добывающих предприятий. При их решении используются практически те же методы пространственного анализа, что и для добываю-

щих предприятий. Единственная особенность, которую необходимо учитывать при сборе, хранении и анализе пространственных данных транспортными предприятиями, – это обычно большая (сотни и тысячи километров) протяженность линейных технологических объектов (магистральных нефте- и газопроводов) и наличие промежуточных компрессорных станций (цехов), а в случае газовой подотрасли и наличие газораспределительных станций с множеством отводов и развитой сетью газопроводов среднего и низкого давления (межпоселковые и внутригородские (внутрипоселковые) газопроводы) [7].

Эта же особенность технологических объектов нефтегазотранспортных предприятий должна учитываться при создании карт и технологических схем для решения задач их ТОиР и действий в чрезвычайных ситуациях при доставке аварийных бригад. Кроме того, она должна учитываться при использовании ГИС для решения задач обеспечения технической безопасности при эксплуатации магистральных нефте- и газопроводов, в первую очередь, для задач выявления опасных природных и техногенных факторов, влияющих на безопасность нефтегазопроводов, и задач выявления нарушений охранных зон и зон минимальных безопасных расстояний. Пространственные данные для ГИС получают по результатам съемки участков земной поверхности с трассами трубопроводов с космических аппаратов или с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных оптическими датчиками сверхвысокого разрешения (0,5 м), а также по результатам мониторинга деформаций поверхности Земли в зонах с активными сейсмическими, геодинамическими, оползневыми и карстовыми процессами, вблизи которых проходят трассы трубопроводов. Такие данные мониторинга получают на основе высокоточных ГЛОНАСС/GPS-измерений и от космической радиолокационной съемки с использованием метода радиолокационной интерферометрии [15]. В настоящее время при охране линейной части магистральных нефтегазопроводов всё чаще используются результаты её мониторинга с целью выявления несанкционированного доступа к трубопроводам, получаемые при космической съемке сверхвысокого разрешения и с БПЛА. В случаях обнаружения несанкционированного доступа ГИС должна позволять решать картографическую задачу прокладки оптимальных маршрутов движения тревожных групп к местам нарушений.

В газовой подотрасли имеется ряд предприятий подземного хранения газа. С помощью ГИС специалисты этих предприятий должны решать тот же перечень классов задач, присущих добывающим предприятием, поскольку в качестве объекта для хранения газа они часто используют резервуары выработанных месторождений УВС или выработки иной природы в горной толще. Подземные хранилища газа – это сложные технические сооружения с мощной подземной и наземной инженерной инфраструктурой. Закачка и отбор газа из них выполняются с помощью компрессорных станций через систему скважин. Учитывая возможность активного развития геодинамических и оползневых процессов в районах расположения подземных хранилищ газа, необходим мониторинг состояния наземной инженерной инфраструктуры хранилищ и мониторинг деформаций поверхности Земли. В результате мониторинга территорий хранилищ с использованием оптических датчиков высокого разрешения, установленных на космических аппаратах или БПЛА, и проведения высокоточных ГЛОНАСС/GPS-измерений деформаций земной поверхности получают пространственные данные. В итоге у таких предприятий появляется ещё один класс задач, связанных с анализом в ГИС полученных данных.

Наконец, сегодня отечественные предприятия по добыче УВС на шельфе северных и восточных морей России также начинают интенсивно применять ГИС [16, 17]. Кроме описанных выше классов задач, которые необходимо решать с помощью ГИС специалистам добывающих предприятий, создаются и используются для прогноза обстановки карты ледовой и айсберговой обстановки. Исходные данные для таких карт – радиолокационные и оптико-электронные снимки с космических аппаратов и БПЛА.

Следует отметить, что всем производственным предприятиям нефтегазовой отрасли вне зависимости от вида бизнеса сегодня необходимо решать с помощью ГИС дополнительные классы задач:

- мониторинг пожаров с целью обеспечения пожарной безопасности технологических объектов для добычи, транспорта и хранения нефти, газа и газового конденсата;
- мониторинг и выявление по данным высокоточной съемки из космоса и с помощью БПЛА противоправных посягательств и террористических угроз на технологические объекты предприятий.

Кроме того, некоторые проектные организации, ведущие изыскания и проектирование объектов нефтегазового комплекса, все чаще применяют пространственные данные и ГИС для решения следующих задач:

- картопостроение для проведения инженерных изысканий и собственно проектирования объектов строительства и реконструкции;
- мониторинг деформации земной поверхности при проведении инженерных изысканий под строительство и модернизацию инфраструктуры предприятий.

Современные универсальные ГИС

Первые ГИС для обработки и анализа пространственных данных в нефтегазовой отрасли были узкоспециализированными и позволяли решать одну–две простейших задачи отрасли с помощью нескольких функций пространственного анализа. Конечно, они не могли конкурировать с полнофункциональными системами обработки и интер-

претации геолого-геофизических данных и с системами геологического и гидродинамического моделирования нефтяных и газовых резервуаров, которые имели в то время в своем составе набор функций обработки и анализа пространственных данных, необходимых для реализации отдельных этапов при решении больших проблемных задач геологической и нефтегазовой отраслей.

Однако с конца восьмидесятых годов прошлого столетия появились коммерческие ГИС с большим набором функций для работы с пространственными данными. Среди них стоит отметить такие зарубежные системы, как ArcInfo и ArcView компании Esri Inc. (США) [18, 19], Idrisi университета Кларка (США) [19], MapInfo Professional компании MapInfo Corp. (США) [20] и др. Среди первых отечественных коммерческих ГИС можно назвать ГИС GeoDraw/GeoGraph института географии РАН [21], ГИС «Карта» КБ «Панорама» [22] и т. д. Большинство этих систем были изначально ориентированы на решение задач, обычно присущих той или иной отрасли экономики, охране окружающей среды, ведению кадастров и т. п.

Дальнейшее усложнение модели пространственных данных и развитие набора функций позволило перевести некоторые из этих систем из разряда проблемно-ориентированных (узкоотраслевых) в класс универсальных ГИС. Общепризнанно, что универсальные ГИС в силу их полной функциональности и наличия средств адаптации к нуждам конкретных предприятий позволяют решать задачи (классы задач) в самых различных областях человеческой деятельности, где требуются обработка и анализ пространственных данных. Первыми универсальными ГИС считают новые версии уже упомянутых систем ArcInfo, ArcView и MapInfo, а также российские ГИС Indor GIS (ныне Indor Map) [23], «Карта 2003» [24] и т. д. Именно такие системы более 20 лет назад начали интенсивно внедряться и на предприятиях нефтегазовой отрасли, в основном для управления имуществом и решения задач оценки воздействия производства на окружающую среду. Следует отметить, что проблемы внедрения и эксплуатации ГИС, в первую очередь универсальных систем на предприятиях нефтегазовой отрасли, ставились и весьма продуктивно обсуждались в течение ряда лет на всероссийской научно-практической конференции «Геоинформатика в нефтегазовой отрасли», проводимой под эгидой ГИС-Ассоциации России [25, 26]. Существует секция ГИС-Ассоциации, работа которой посвящена использованию пространственных данных и ГИС в этой отрасли. Кроме того, компания Esri Inc. (США) совместно с ООО «Esri CIS» и ООО «Дата+» (Россия) ежегодно проводят научно-практический семинар по обмену опытом в области создания на основе своих универсальных ГИС проблемно-ориентированных систем и внедрения их на предприятиях нефтегазовой отрасли [27].

В последнее десятилетие дальнейшее развитие получили универсальные ГИС, имеющие мощный функционал и средства разработки и поэтому названные ГИС-платформами [28–30]. Под ними понимаются современные универсальные ГИС, имеющие также программное обеспечение с высокой степенью адаптируемости к особенностям конкретных производств и предприятий. Возможность такой адаптации обусловлена современной архитектурой программного обеспечения, развитыми инструментальными средствами (обычно в виде интегрированной среды разработки), а также соответствующими методологиями внедрения и развития на основе той или иной платформы проблемно-ориентированных ГИС предприятий [31, 32].

Проведенный анализ рассмотренного выше перечня задач, которые необходимо решать с помощью ГИС на предприятиях нефтегазовой отрасли, позволил сформулировать ряд требований к универсальным ГИС для таких предприятий. Основные из них в виде перечня базовых характеристик и наборов функций ГИС приведены в таблице. В первую очередь была выявлена необходимость использования универсальных ГИС, поддерживающих векторную модель пространственных данных (первое требование). ГИС, имеющие именно такую базовую характеристику, называют векторными системами. ГИС с растровой моделью пространственных данных позволяют решать только некоторые из перечисленных выше задач предприятий и поэтому далее не анализируются. Более того, некоторые векторные универсальные ГИС имеют ряд функций для работы в рамках растровой модели. Кроме полного перечня наборов функций, присущих многим универсальным векторным ГИС (требования 2–9), необходимы функции, связанные с анализом двумерных геополей (требования 10, 11) [1]. Под геополями (поверхностями) в геоинформатике понимается большой класс пространственных объектов, главной особенностью которых является пространственная непрерывность, выражающаяся в том, что две близко расположенные точки поверхности скорее всего будут иметь и близкое значение геополя [1]. Такие объекты-поверхности обычно описывают в виде модели двумерных геополей, если они представляют собой поверхности, однозначно описываемые скалярной функцией от двух пространственных координат x и y. Модели геополей наиболее часто в нефтегазовой отрасли используются при обработке и интерпретации геолого-геофизических данных, в задачах, связанных с анализом рельефа местности и границ нефтяных и газовых резервуаров УВС, в экологическом моделировании и оценке ущерба при аварийных разливах нефти и т. п.

Другой перечень требований к ГИС формируется из необходимости обработки и визуализации на предприятии больших объемов атрибутивных и пространственных данных. Он содержит требования 12–14 к наличию средств для работы с внешними относительно ГИС системами управления базами данных (СУБД), средств 3D-визуализации и обмена данными с другими информационно-управляющими системами предприятия.

Наконец, под номерами 15 и 16 в таблице включены требования, связанные с необходимостью дальнейшего развития внедренных на предприятиях ГИС (наличие интегрированной среды разработки новых программных модулей, включая специализированные языки программирования, и наличие механизмов подключения внешних программных модулей и библиотек).

В результате анализа характеристик и функциональных возможностей большого числа современных универсальных векторных ГИС в качестве удовлетворяющих всем требованиям предприятий нефтегазовой отрасли были выбраны четыре ГИС-платформы (таблица).

Среди них ArcGIS 10.5 компании Esri Inc. [33], MapInfo Pro™ V. 16 компании Pitney Bowws (бывшая компания MapInfo Corp.) [29], ГИС «Панорама» 12 ЗАО «КБ «ПАНОРАМА» [34] и ГИС GET MAP компании Совзонд [35], созданная на основе концепции открытых ГИС и свободно распространяемой (Open Source) ГИС QGIS [36]. В ГИС-платформе «Панорама» 12 используется известная настольная ГИС «Карта 2011» [37].

Если первые две являются самими последними версиями универсальных ГИС известных зарубежных компаний, локализованных для русскоязычных пользователей, то последние две системы разработаны в России. Из таблицы следует, что требование 11 в первых трех ГИС-платформах реализуется с помощью дополнительных модулей, включаемых в платформы по мере необходимости; у ГИС-платформы MapInfo Pro™ V. 16 они созданы сторонними компаниями. Отметим, что к этим ГИС-платформам примыкают еще две уникальные по функциональным возможностям российские ГИС Indor Map ООО «Индорсофт» [23] и ГИС GeoBuilder™ Quantum АО «Геокибернетика» [38]. Однако они не в полной мере удовлетворяют сформулированным требованиям и не имеют некоторых инструментальных средств разработки, что не позволило рекомендовать их в качестве базовых систем для предприятий нефтегазовой отрасли.

Анализ показывает, что лидером среди выбранных ГИС-платформ как по функциональности, так и по наличию гибкой архитектуры, безусловно, является платформа ArcGIS 10.5 [33]. По сути, сегодня платформа – это линейка взаимоувязанных продуктов семейства ArcGIS 10.5. В этой линейке особое место занимают настольные (Desktop) ГИС [30]. К ним относятся *ArcGIS ArcView*, *ArcGIS ArcEditor* и *ArcGIS ArcInfo*. Эти ГИС позволяют специалистам решать множество задач на локальных рабочих местах и на корпоративном уровне. В состав линейки также входят базовые приложения *ArcMap* (решение картографических задач), *Arc Toolbox* (обработка пространственных данных) и *ArcCataloge* (доступ и управление пространственными данными в локальной вычислительной сети и через сеть Интернет). Кратко рассмотрим основные базовые продукты линейки.

ArcGIS ArcView – наиболее часто используемый базовый продукт семейства. Исторически, начи-

Таблица. *Характеристики и функции ГИС-платформ*
Table. *Characteristics and functions of GIS-platforms*

Требования Requirements	Характеристика или функции Characteristic or functions / Платформа Platform	ArcGIS 10.5	MapInfo ProTM V. 16	GET MAP	ГИС «Панорама» 12 GIS «Panorama» 12
1	Модель пространственных данных The model of spatial data	Векторная топологическая, растровая Vector topological, raster	Векторная нетопологическая, растровая Vector non topological, raster	Векторная топологическая, дополнительно растровая Vector topological, optional raster	
2	Функции для работы с картами Functions for working with map	Да/Yes			
3	Работа с картографическими проекциями Work with cartographic projection				
4	Функции визуализации Visualizing functions	Векторных и растровых карт/Vector and raster maps			
5	Функции пространственного анализа Functions for spatial analysis	Да/Yes			
6	Графический редактор Graphics editor	Векторный, растровый/Vector, raster			
7	Используемая СУБД Type of DBMS	Собственная/Internal		Postgre SQL/ PostGIS	Postgre SQL
8	Формирование атрибутивных и пространственных запросов Building attribute and spatial queries	SQL-запросы/SQL-queries			
9	Формирование отчетов Building reports	Да/Yes			

ная с версии ArcView 3.0, система позиционировалась как универсальная ГИС, сегодня в составе семейства *ArcGIS 10.5* продолжает оставаться самой полнофункциональной ГИС с большим набором мощных инструментов для получения (ввода), визуализации, управления и анализа пространственных данных.

ArcGIS ArcEditor – сочетает функциональность ArcView с возможностями создания и моделирования баз пространственных данных. Имеет механизм поддержки целостности и многопользовательского редактирования таких баз данных, управления версиями и построения топологических и геометрических сетей.

ArcGIS ArcInfo – расширяет функциональность продуктов ArcView и ArcEditor набором мощных процедур для обработки и анализа пространственных данных.

В линейке имеются продукты для создания серверных компонент ГИС. Так, *ArcGIS* for Server предназначен для разработки корпоративных ГИС с неограниченным числом рабочих мест, причем клиентом для этого продукта может быть как настольное, так и веб-приложение. *ArcIMS* – продукт для публикации пространственных данных, в том числе в виде карт, в интранет (уровень предприятия)/Интернет с возможностью геокодирования, поиска и анализа данных. *ArcSDE* обеспечивает хранение пространственных данных в наиболее распространенных промышленных СУБД, являющихся внешними по отношению к создаваемым с помощью этой платформы ГИС. При этом для представления и хранения данных используется объектно-реляционная модель данных. ArcSDE обеспечивает также интеграцию продуктов платформы ArcGIS 10.5 с системами автоматизированного проектирования (САПР) и с другими ГИС, а также с рядом известных производственных информационных систем предприятий отрасли. Для разработчиков в составе платформы имеется продукт *ArcGIS Engine* – набор библиотек встраиваемых компонентов и инструментов для создания проблемно-ориентированных ГИС.

Отметим, что в состав платформы ArcGIS 10.5 входит широкий спектр дополнительных модулей для создания проблемно-ориентированных ГИС. Примерами таких модулей служат модули для работы с геополями, модули 3D-визуализации и т. п. [30].

Имеющиеся у каждой из рассмотренных платформ средства адаптации позволяют учитывать особенности предприятий отрасли и формировать для них соответствующие ГИС. В тех случаях, когда для решения некоторых прикладных задач от ГИС требуются дополнительные функции, отсутствующие у платформы, для реализации такой функциональности используются ее инструментальные средства. Они позволяют создавать *ГИС-приложения.* Под ГИС-приложением понимается совокупность программных модулей, расширяющих функциональные возможности универсальной ГИС и ориентированных на решение отдельной прикладной задачи, а иногда и определенного класса (перечня) задач предприятия. ГИС-приложения обычно создаются на специализированном макроязыке (макроязыках), интерпретатор которого встроен в интегрированную среду платформы.

Существует несколько методов создания проблемно-ориентированных ГИС на основе ГИС-платформы и концепции ГИС-приложений для нее. На наш взгляд, наиболее перспективным из них является метод создания инструментальных ГИС (иногда говорят ГИС-средств) [1]. Суть его в том, что за счет добавления к пользовательскому интерфейсу универсальной ГИС нового интерфейса, реализующего доступ к ГИС-приложениям, на основе ГИС-платформы создается не отдельная проблемно-ориентированная ГИС, а *новая инструментальная ГИС*. На рис. 1 показана обобщенная структура инструментальной ГИС, разработанной с помощью такого метода. Видно, что через интерфейс пользователя ГИС-приложений реализуется доступ к программным модулям (к дополнительным функциям) для решения задачи (задач), выполнение которой невозможно стандартными средствами универсальной ГИС. Более того, через этот же интерфейс возможен доступ пользователя к некоторым функциям ядра универсальной ГИС. Такая инструментальная ГИС после соответствующих настроек дополнительного интерфейса пользователя и требующихся ГИС-приложений позволяет сформировать несколько проблемно-ориентированных ГИС для решения одного и более классов прикладных задач.

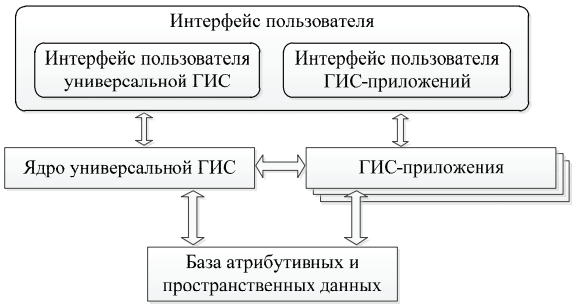

Рис. 1. *Обобщенная структура инструментальной ГИС*

Fig. 1. *General structure of instrumental GIS*

В качестве примера инструментальной ГИС, созданной на базе универсальной ГИС MapInfo Professional, можно привести ГИС SurfMapper 2.1 [1]. Она предназначена для анализа и визуализации двумерных геополей с использованием моделей геополей в виде регулярных и триангуляционных сетей. В свою очередь, ГИС SurfMapper 2.1 применялась для создания следующих проблемно-ориентированных ГИС: системы построения структурных карт и геологических разрезов на месторождениях УВС, системы для анализа качества подземных водных объектов, ГИС «Баланс-Гидродинамик» для подсчета запасов месторождений УВС, системы построения профилей нефтега-

зопроводов с учетом цифровой модели рельефа местности. Для разработки проблемно-ориентированных ГИС инструментальная ГИС SurfMapper 2.1 имеет собственную интегрированную среду разработки mb Studio 2.0.

Архитектура универсальных ГИС

Первые универсальные ГИС были настольного типа, когда на одном персональном компьютере установлены и программное обеспечение ГИС, включая ее СУБД, и база данных (БД). Следующим этапом развития архитектуры универсальных ГИС была файл-серверная архитектура [25]. При этом имеем «толстого» клиента в виде той же настольной универсальной ГИС на каждом из компьютеров локальной вычислительной сети и «тонкий» сервер в сети, в том смысле, что почти вся работа выполняется на стороне клиента, а от сервера требуется только достаточная емкость дисковой памяти для хранения файлов атрибутивных и пространственных данных. В этой архитектуре ГИС возможен многопользовательский режим работы, но с учетом довольно жестких требований поддержания целостного состояния и гарантированной надежности хранения информации в БД, которая является всего лишь набором файлов на сервере. Отметим, что все обращения к БД идут через СУБД универсальной ГИС клиента, которая инкапсулирует внутри себя все сведения о физической структуре БД. При запросе пользователя на данные СУБД инициирует обращение к данным на сервере, в результате чего часть файлов в БД копируется на клиентский компьютер и затем обрабатывается и анализируется.

Свободной от ряда недостатков файл-серверной архитектуры и более современной является клиент-серверная архитектура универсальных ГИС [39]. Двухзвенную (классическую) клиент-серверную архитектуру имеют многие универсальные ГИС. Для неё характерно то, что на клиентском компьютере лишь формируется запрос пользователем на данные и он отсылается на сервер баз данных. В оперативной памяти сервера функционирует централизованная СУБД, входящая в состав ГИС и обеспечивающая совместное использование клиентами БД (многопользовательский режим). СУБД обрабатывает запрос, и сервер в ответ на запрос передает клиенту только ту выборку из БД, которая удовлетворяет запросу пользователя. На клиентском компьютере ведется обработка и (или) анализ этой выборки данных средствами клиентской части ГИС. Анализ показывает, что классическая клиент-серверная архитектура ГИС наряду с большим числом достоинств имеет несколько недостатков, которые проистекают от использования клиентских компьютеров в качестве исполнителей бизнес-логики ГИС. Главный из недостатков – при любом изменении алгоритмов обработки и анализа атрибутивных или пространственных данных необходимо обновлять программное обеспечение ГИС на каждом клиентском компьютере сети.

Дальнейшим шагом в эволюции архитектур универсальных ГИС является трехзвенная (иногда говорят, трехуровневая) клиент-серверная архитектура [40, 41]. В этой архитектуре вся бизнес-логика ГИС, реализованная в случае двухзвенной архитектуры в клиенте, выносится и программно реализуется в виде отдельной компоненты ГИС, называемой сервером приложений. Тогда имеем три звена (уровня) архитектуры универсальной ГИС:

- клиент – это интерфейсный уровень ГИС, предоставляемый пользователю; такое звено не должно иметь прямых связей с БД (по требованиям безопасности и масштабируемости), а обращается только к серверу приложений;
- сервер приложений – второй уровень (звено), на нем сосредоточена бо?льшая часть бизнес-логики ГИС; серверы приложений создаются так, чтобы добавление к ним новых экземпляров таких же серверов обеспечивало горизонтальное масштабирование системы с целью повышения производительности программного обеспечения ГИС и не требовало внесения изменений в их программный код;
- сервер баз данных находится на третьем уровне и обеспечивает хранение атрибутивных и пространственных данных в виде БД, а также манипулирует этими данными с помощью входящей в его состав СУБД.

Итак, трехзвенная архитектура ГИС предполагает переход от «толстого» клиента, используемого при двухзвенной архитектуре, к «тонкому». При этом «толщина» такого клиента зависит от особенностей универсальной ГИС, в том числе от «объема» бизнес-логики, переносимой от клиента на сервер приложений. Самым «тонким» клиентом может служить обычный веб-браузер. В этом случае в состав сервера приложений входит веб-сервер. Например, сервер приложений, созданный на основе продуктов и технологий компании Microsoft, содержит веб-сервер IIS и средства ADO.NET [42] и ASP.NET [43].

В общем случае можно говорить о многозвенной клиент-серверной архитектуре универсальных ГИС. Причем возможно вертикальное и горизонтальное масштабирование клиентов и серверов. При горизонтальном масштабировании клиент или сервер могут содержать физически разделенные части логически однородного программного модуля, причем работа с каждой из частей может происходить независимо. Это делается для выравнивания загрузки при обработке больших объемов данных. Сегодня уже существуют примеры корпоративных информационных систем в нефтегазовой отрасли, имеющих многозвенную клиент-серверную архитектуру [44].

Отметим, что все выбранные выше для предприятий нефтегазовой отрасли ГИС-платформы позволяют создавать перспективные ГИС с двухзвенной и трехзвенной клиент-серверной архитектурой.

Корпоративные ГИС

Сегодня совершенствование системы управления любого предприятия нефтегазовой отрасли предполагает внедрение и развитие современных информационных систем и технологий. Известно, что магистральным путем развития информационных систем для многоуровневого управления такими предприятиями является создание комплексных информационных систем управления предприятием (часто говорят, корпоративных информационных систем управления – КИСУ) [4]. Такая КИСУ должна обеспечивать автоматизацию основных бизнес-процессов большинства служб предприятия и автоматизированное распределенное и многоуровневое управление даже крупномасштабным предприятием.

Авторы ряда работ [5, 40, 45, 46] считают перспективным направлением информатизации предприятий нефтегазовой отрасли создание КИСУ на основе современных универсальных ГИС. По сути дела, на предприятиях должны появиться корпоративные ГИС. Опираясь на приведенные выше результаты анализа большого перечня задач, которые необходимо решать на таких предприятиях с использованием ГИС, можно согласиться с этой идеей. Действительно, число таких задач уже сегодня велико и продолжает расти, а результаты их решения крайне необходимы многим специалистам и топ-менеджерам предприятий для принятия ими оптимальных управленческих решений. Более того, все большее число служб предприятий, в первую очередь производственных, нуждается в совместном использовании пространственных данных, результатов их обработки и анализа. Такую совместную работу проще организовать с использованием единой информационной среды типа корпоративной ГИС. Учтем также, что ГИС становится корпоративной, если её данные общедоступны в границах предприятия.

На наш взгляд, имеются два подхода к созданию КИСУ и, соответственно, корпоративных ГИС предприятий нефтегазовой отрасли. Первый предполагает, что ядром КИСУ служит одна из ГИС-платформ, приведенных в таблице, или векторная универсальная ГИС, имеющая интегрированную среду разработки. Используя интегрированную среду платформы и методологию разработки ГИС-приложений, можно создать программное обеспечение отсутствующих, но востребованных предприятием информационно-управляющих систем. Кроме того, средства платформы для взаимодействия с внешними СУБД и обмена данными с другими системами позволят интегрировать ядро такой КИСУ с существующими на предприятии информационно-управляющими системами, в том числе учетного типа. В итоге можно создать КИСУ предприятия в виде корпоративной, в широком смысле этого слова, ГИС.

Второй подход применим, если на предприятии уже имеется развитая информационно-управляющая система, играющая роль КИСУ. В качестве такой системы может быть система класса ERP (Enterprise Resource Planning – планирование и управление всеми ресурсами предприятия) и (или) класса MES (Manufacturing Execution System – исполнительная система управления производством предприятия) [4, 47]. В этом случае на основе ГИС-платформы или векторной универсальной ГИС создается ГИС уровня предприятия, которая интегрируется с существующей КИСУ и с рядом других информационно-управляющих систем предприятия. Такая ГИС является корпоративной в узком смысле, поскольку она не является системообразующей и охватывает только те службы предприятия, которые ведут обработку и анализ пространственных данных.

При создании корпоративной ГИС с использованием любого из этих подходов возникает серьезная проблема [46]. Она заключается в том, что теоретически правильная идея использования единой базы пространственных данных такой ГИС не может быть практически реализована, поскольку в первую очередь противоречит требованиям информационной безопасности предприятия. Более того, специалисты различных служб актуализируют свои тематические базы пространственных данных по своим регламентам и с различной скоростью, периодически меняют структуры данных. Для решения этой проблемы предлагается следующий способ. Разбить единую базу пространственных данных корпоративной ГИС на две, причем БД первого типа содержит базовые тематические данные (гидрография, рельеф местности и т. п.), которые находятся в неизменном виде длительное время и доступны всем заинтересованным службам предприятия. БД другого типа содержит специальные тематические пространственные данные, причем каждой службе доступен для внесения/редактирования этих данных только ее компонент БД. Доступ к компоненту без его редактирования могут иметь специалисты других служб. Более того, в БД второго типа предлагается хранить наряду с пространственными данными конкретного объекта укороченный набор его атрибутивных данных, включая ключи, наименование объекта и т. п. По этим атрибутивным данным налаживается связь ядра корпоративной ГИС с клиентом или с внешней информационно-управляющей системой, с которой работает соответствующая служба предприятия. Специалисты этой службы могут наполнять и редактировать пространственную и атрибутивную БД информационно-управляющей системы. Если наполнение или редактирование проведено, то пространственные и атрибутивные данные укороченного набора реплицируются и в актуальном виде появляются в соответствующем месте БД второго типа корпоративной ГИС. Кроме того, специалисты этой службы могут с помощью ГИС-приложений, установленных на их компьютерах и реализующих пользовательский интерфейс ГИС, формировать свои пространственные запросы. Эти запросы обрабатыва-

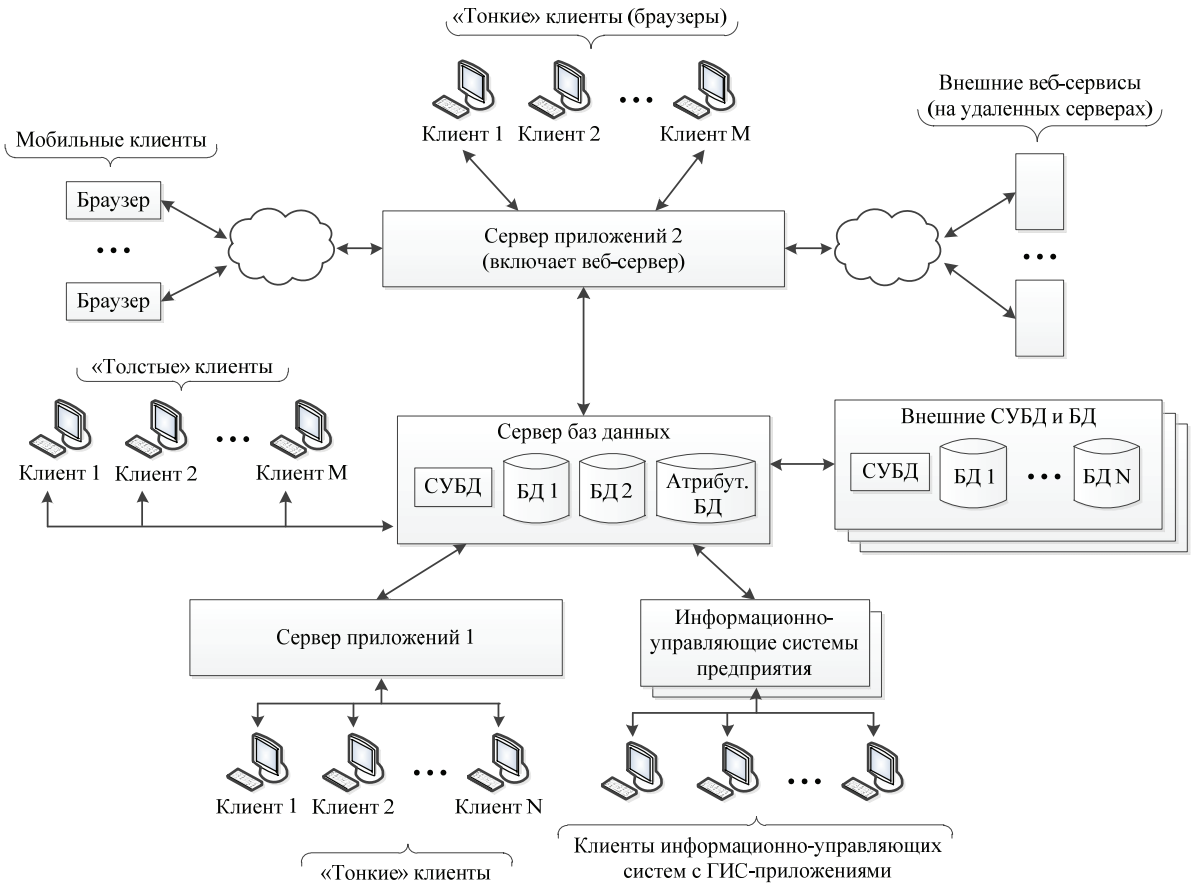

Рис. 2. *Концептуальная архитектура корпоративной ГИС*

Fig. 2. *Conceptual architecture of enterprise GIS*

ются СУБД корпоративной ГИС, данные извлекаются из её БД первого и второго типа и анализируются. Результаты анализа возвращаются пользователям. Если ГИС-приложения тесно интегрированы с информационно-управляющей системой службы, то это позволяет считать её, по сути дела, некоторой подсистемой корпоративной ГИС.

Учитывая изложенное выше, можно предложить концептуальную (обобщенную) архитектуру корпоративной ГИС (рис. 2). Она может быть адаптирована и детализирована в случае конкретного предприятия отрасли.

Приведенная на рис. 2 концептуальная архитектура больше присуща корпоративной ГИС в узком смысле, поскольку совокупность информационно-управляющих систем предприятия, интегрированная с ней, создается не на основе этой ГИС, и только некоторые из таких систем имеют в составе прикладного программного обеспечения ГИС-приложения для формирования пространственных запросов к серверу баз данных корпоративной ГИС. Среди таких информационно-управляющих систем может быть и КИСУ предприятия.

Предложенная архитектура является комбинацией традиционных двухзвенной и трехзвенной клиент-серверных архитектур ГИС, и в её составе имеются два сервера приложений (горизонтальное масштабирование). Все это обусловлено тем, что специалистами служб и топ-менеджерами современного предприятия востребован самый различный функционал корпоративной ГИС и, соответственно, используются «толстые» и «тонкие» клиенты, а также «тонкие» и мобильные клиенты в виде веб-браузеров. Более того, «толстые» клиенты взаимодействуют с сервером баз данных напрямую (двухзвенная архитектура), а для «тонких» и мобильных клиентов необходим еще второй сервер – сервер приложений (на рис. 2 таких серверов два). «Тонкие» и мобильные клиенты в виде веб-браузеров взаимодействуют с сервером баз данных через сервер приложений 2, который обязательно содержит веб-сервер. Такие клиенты могут использовать через этот сервер приложений внешние веб-сервисы, находящиеся на удаленных веб-серверах и не обязательно принадлежащих предприятию. Отметим, что сегодня в разных отраслях, в том числе нефтегазовой, используются проблемно-ориентированные ГИС, позволяющие решать определенные задачи с применением «тонких» клиентов в виде веб-браузеров. Такие системы получили название веб-ГИС [45]. На наш взгляд, существует тенденция в развитии корпоративных ГИС, когда «тонкие» клиенты таких систем будут представлены только в виде веб-браузеров.

Сервер баз данных включает СУБД корпоративной ГИС и, в соответствии с предложенным способом, базу пространственных данных первого типа (БД1), и базу пространственных данных второго типа (БД2), а также базу атрибутивных данных пространственных объектов предприятия. Сервер баз данных может получать атрибутивные и пространственные данные из внешних БД, взаимодействуя с внешними СУБД.

По нашему мнению, основные технические решения и компоненты предложенной архитектуры корпоративной ГИС в узком смысле могут быть использованы при разработке архитектуры корпоративной ГИС в широком смысле, когда универсальная ГИС или ГИС-платформа будут являться ядром информационного пространства предприятия и выполнять роль КИСУ.

Анализ результатов внедрения корпоративных ГИС на предприятиях нефтегазовой отрасли России показывает, что все они являются корпоративными системами в узком смысле [47, 48]. Причем эти ГИС отличаются друг от друга уровнем автоматизации бизнес-процессов, при выполнении которых обрабатываются и анализируются пространственные данные, используемыми архитектурными решениями и т. д. На сегодняшний день известно, что только в НК «Роснефть» ведутся проектные работы по созданию корпоративной ГИС в широком смысле.

Многие предприятия нефтегазовой отрасли сегодня уже накопили большие объемы атрибутивных и пространственных данных об объектах своей деятельности. Они хранят в себе потенциальные возможности по извлечению полезной аналитической информации, на основе которой можно выявлять скрытые тенденции, делать прогнозы, искать новые технические решения и т. д. [9, 10, 47]. Поэтому в рамках концепции корпоративных ГИС можно отметить два перспективных направления их развития. Первое из них – создание и использование в таких ГИС хранилищ данных (англ. Data Warehouse – DW) [49] и методов оперативной аналитической обработки данных (англ. On-Line Analytical Processing – OLAP) [50]. Причем в хранилище данных размещаются и подвергаются OLAP-обработке не только атрибутивные, но и пространственные данные. Второе из перспективных направлений – развитие методов интеллектуального анализа пространственных данных (англ. Data Mining или Business Intelligence – BI) с целью выявления скрытых закономерностей по данным из хранилищ данных ГИС. Затем эти методы программно реализуются в среде корпоративной ГИС и используются как новые функции пространственного анализа [51].

На наш взгляд, имеется ещё одно перспективное направление развития корпоративных систем. Из приведенного выше анализа классов задач, решаемых на предприятиях нефтегазовой отрасли с использованием пространственных данных, следует, что многие из них должны решаться с применением актуальных (периодически обновляемых) пространственных данных, получаемых в результате мониторинга состояния производственных объектов и окружающей такие объекты природной среды. Это означает, что предприятиям необходимо периодически собирать и обновлять в БД своих корпоративных ГИС пространственные данные. Поскольку это является весьма трудоемкой задачей, то предприятиям выгодно получать актуальные пространственные данные от сторонних организаций, оказывающих такие услуг. Подобной организацией может стать, например, ОАО «Газпром космические системы», имеющая собственную инфраструктуру и уже сегодня ведущая аэрокосмический мониторинг некоторых производственных объектов ряда предприятий ПАО «Газпром». Этой организацией реализуется проект по созданию мощной системы дистанционного зондирования Земли (по сути корпоративной ГИС) «СМОТР». Система позволит проводить аэрокосмический мониторинг производственных объектов и территорий предприятий ПАО «Газпром» с использованием собственных космических аппаратов и БПЛА в инфракрасном, оптическом и миллиметровом диапазонах длин волн [52].

С целью оказания геоинформационных услуг предприятиям нефтегазовой отрасли ОАО «Газпром космические системы» необходимо разрабатывать такое перспективное направление, как интеграция собственной корпоративной ГИС «СМОТР» с корпоративными ГИС предприятий, нуждающихся в актуальных пространственных данных. При решении проблемы интеграции систем можно использовать подходы и методы, изложенные в работе [53].

Корпоративная геоинформационная система управления «Магистраль-Восток»

В качестве примера корпоративной ГИС в узком смысле рассмотрим корпоративную геоинформационную систему управления (КГСУ) нефтегазодобывающим производством, созданную в Институте кибернетики Томского политехнического университета и получившую название «Магистраль-Восток» [4, 47].

КГСУ «Магистраль-Восток» является, во-первых, системой класса MES и, поскольку автоматизирует большинство производственных бизнес-процессов и охватывает все производственные службы нефтегазодобывающего предприятия, по сути, является КИСУ. Во-вторых, эта система является корпоративной ГИС из-за большого числа специалистов из разных служб, имеющих с её помощью возможность обрабатывать и анализировать пространственные данные.

КГСУ «Магистраль-Восток» имеет двухзвенную клиент-серверную архитектуру (рис. 3). Отличительной особенностью архитектуры этой системы является наличие кроме сервера баз данных, установленного в центральном офисе предприятия, на каждом из промыслов своего сервера баз

данных, т. е. имеет место горизонтальное масштабирование серверов. Все сервера баз данных имеют в своем составе СУБД Microsoft SQL Server 2008 [54], базу атрибутивных данных $БД_{АТ}$ (технологические данные, паспортные данные технологических объектов, данные планирования и исполнения планов и т. п.) и базу пространственных данных (карты, координаты технологических объектов, масштабные и внемасштабные технологические схемы) $БД_{ПР}$. Сервера на промыслах периодически получают по протоколу OPC технологические данные от различных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), позволяющих управлять технологическими процессами на установках подготовки нефти и газа, на кустах скважин и т. п. Число АСУ ТП, поставляющих данные в сервер на промысле, может быть различным, что и показано на рис. 3. Паспортные данные технологических объектов, плановая и оперативная технологическая информация и т. д. заносятся в $БД_{АТ}$ специалистами соответствующих служб. Сервер баз данных центрального офиса может взаимодействовать с внешними СУБД и БД. Для обмена данными между серверами используются механизмы репликаций, реализованные на основе СУБД Microsoft SQL Server 2008 с использованием оригинальных алгоритмов. Для транспорта каждого вида данных используется свой вид репликаций [47, 53]. Репликации данных между серверами позволяют поддерживать распределенную производственную БД предприятия.

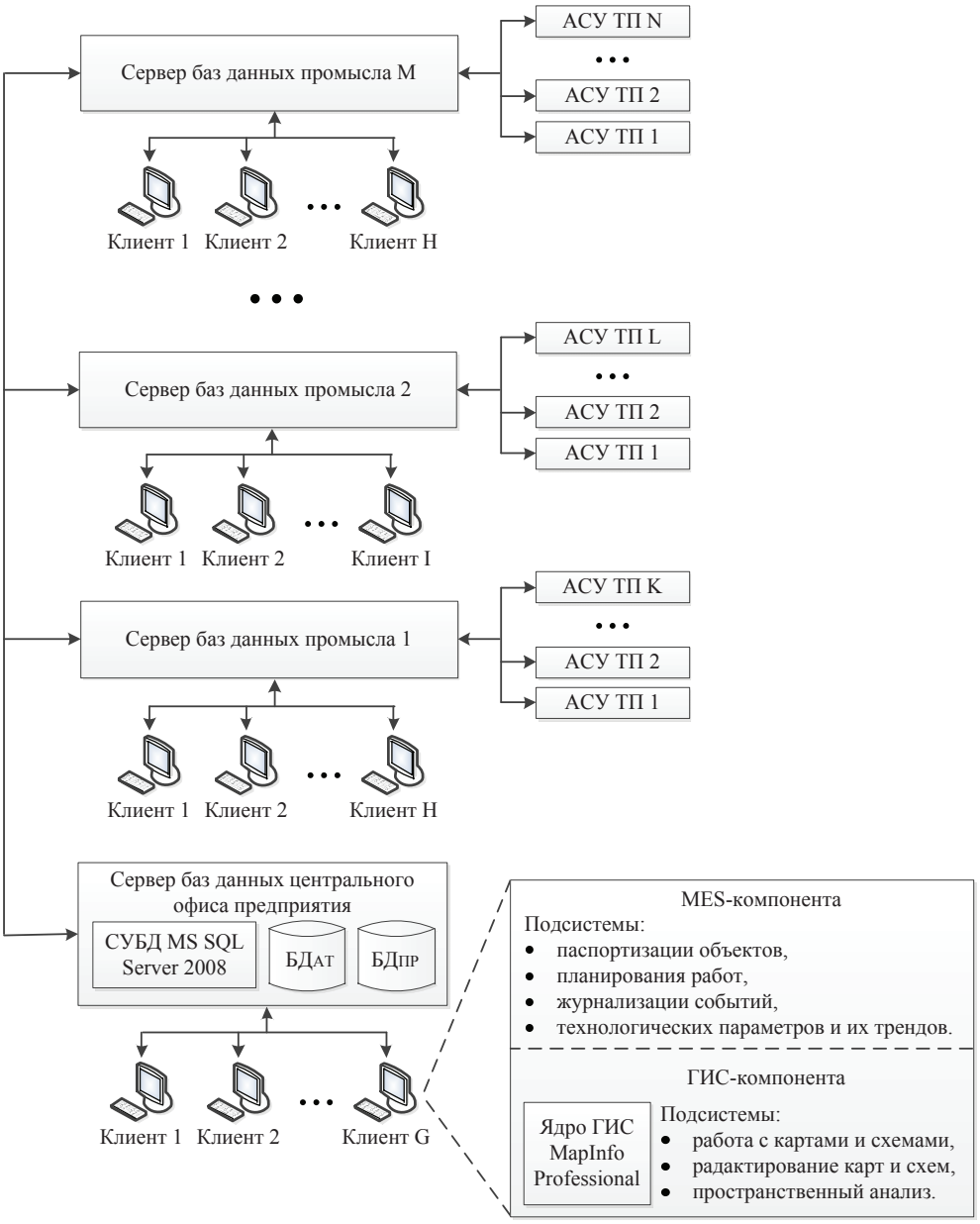

Рис. 3. *Архитектура КГСУ «Магистраль-Восток»*

Fig. 3. *Architecture of Enterprise Geoinformation Management System «Magistral-Vostok»*

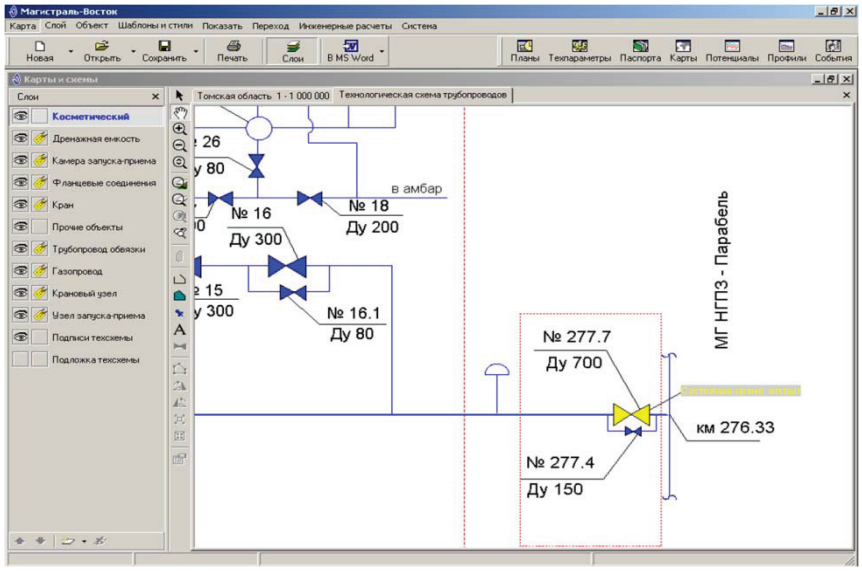

Рис. 4. *Пользовательский интерфейс подсистемы редактирования технологических схем*

Fig. 4. *User interface of subsystem for technological schemata editing*

Каждый из серверов баз данных обеспечивает многопользовательский режим работы принадлежащей ему группы клиентов. Все клиенты КГСУ «Магистраль-Восток» настраиваются с учетом требований конкретных специалистов и топ-менеджеров и поэтому имеют разное число используемых ими в работе программных подсистем, т. е. используются клиенты разной «толщины» [55]. На рис. 3 более подробно в качестве примера приведен перечень подсистем клиента G сервера баз данных центрального офиса. Видно, что всё программное обеспечение этого клиента разбито на две части: MES-компонента и ГИС-компонента. В каждую из частей входит определенное число программных подсистем (модулей). ГИС-компонента имеется только у тех клиентов, которые с её помощью ведут обработку и анализ пространственных данных. В качестве ядра ГИС-компоненты используется ядро универсальной векторной ГИС MapInfo Professional 8 компании MapInfo Corp. (США) [20]. В последней версии КГСУ «Магистраль-Восток» ядром ГИС-компоненты служит библиотека MapInfo MapX этой же компании [56]. В последней версии КГСУ также реализован описанный выше способ, в соответствии с которым $БД_{ПР}$ сервера баз данных разбивается на две базы пространственных данных: $БД_{ПР1}$ и $БД_{ПР2}$. Последняя содержит кроме часто редактируемых специалистами пространственных данных укороченные наборы атрибутивных данных о тех же пространственных объектах. Для хранения и редактирования таких данных ряд клиентов имеют собственные локальные БД и соответствующее программное обеспечение. Редактированные данные реплицируются затем из локальных БД клиентов в $БД_{ПР2}$ соответствующего сервера баз данных. На рис. 4 в качестве примера показан инструмент для редактирования таких данных, установленный на клиентских компьютерах.

КГСУ «Магистраль-Восток» в настоящее время успешно внедрена на ряде предприятий нефтегазовой отрасли [47]. При этом большое число специалистов различных производственных и имущественных служб предприятий на своих клиентских местах наряду с MES-компонентой использует и ГИС-компоненту.

Выводы

1. Анализ основных бизнес-процессов, выполняющихся на предприятиях нефтегазовой отрасли, показал, что существует большое число классов задач, которые необходимо решать с помощью ГИС. На сегодняшний день имеется ряд универсальных ГИС, уже используемых при решении отдельных задач отрасли.
2. Проведенный анализ векторных универсальных ГИС позволил выделить среди них четыре ГИС-платформы, удовлетворяющих всем требованиям к характеристикам и функциональным возможностям со стороны предприятий и позволяющих создавать проблемно-ориентированные ГИС для решения различных классов задач отрасли. Рассмотрены перспективные архитектуры универсальных ГИС.
3. Показано, что перспективным направлением в развитии ГИС для предприятий нефтегазовой отрасли является создание корпоративных систем. В рамках концепции корпоративных ГИС выявлены два подхода к созданию таких систем и предложен способ организации пространственных баз данных, позволяющий решить проблему ведения единой базы пространственных данных.
4. Разработана концептуальная архитектура корпоративной ГИС в узком смысле, являющаяся комбинацией двухзвенной и трехзвенной клиент-серверных архитектур.

5. Предложены перспективные направления развития корпоративных ГИС. Первое из них связано с созданием в структуре таких ГИС хранилищ пространственных и атрибутивных данных и с развитием методов OLAP-обработки таких данных. Второе направление – развитие интеллектуальных методов и средств анализа пространственных данных. Третьим направлением является интеграция корпоративных ГИС с системой аэрокосмического мониторинга «СМОТР».

6. Показана архитектура и основные функциональные возможности корпоративной геоинформационной системы «Магистраль-Восток» для управления производством нефтегазодобывающих предприятий. В качестве ядра ГИС-компоненты клиентов системы используется ядро универсальной векторной ГИС MapInfo Professional 8 или библиотека MapInfo MapX.

Исследования поддержаны грантом по Программе повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета, проект № ВИУ-ИК-110/2017.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковин Р.В., Марков Н.Г. Геоинформационные технологии для анализа двумерных геополей. – Томск: Изд-во Томского университета, 2006. – 166 с.
2. Roxar Software Releases. RMS Tempest. URL: http://www.emerson.com/en-us/automation/roxar (дата обращения: 12.05.2017).
3. Petrel E&P Software Platform. URL: http://www.software.slb.com/products/petrel/ (дата обращения: 11.05.2017).
4. Марков Н.Г. Информационно-управляющие системы для газодобывающего производства. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 261 с.
5. Чернявская Т.А. Место геоинформационной системы в информационном пространстве нефтегазодобывающей компании // ArcReview. – 2011. – № 1. – С. 1–3.
6. Еремин Н.А., Дмитриевский А.Н., Тихомиров Л.И. Настоящее и будущее интеллектуальных месторождений // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 12 (183). – С. 46–51.
7. Решетников И.С. Автоматизация производственной деятельности газотранспортной компании. – М.: Изд-во Нефтегазсофтсервис, 2011. – 116 с.
8. Korovin I.S., Tkachenko M.G., Intelligent Oilfield Model // Procedia Computer Science. – 2016. – V. 101. – P. 300–303.
9. Jia A., Guo J. Key Technologies and Understanding on the Construction of Smart Fields // Petroleum Exploration and Development. – 2012. – V. 39. – P. 127–131.
10. Bogdan S., Kudinov A., Markov N. Manufacturing Execution Intellectualization: Oil and Gas Implementation Sample // Lecture № 2 in Computer Science: Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatic. – 2011. – № 8. – P. 73–79.
11. Полищук Ю.М., Токарева О.С. Использование космических снимков для экологической оценки воздействия факельного сжигания попутного газа на нефтяных месторождениях Сибири // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27. – № 7. – С. 647–651.
12. Remediation of the damaged environment of oil-producing areas / L.K. Altunina, L.I. Svazovskaya, Yu.M. Polishchuk, O.S. Tokareva // Petruleum Chemistry. – 2011. – V. 51. – № 5. – P. 381–385.
13. The application of satellite methods for monitoring snow dump sites / O.A. Pasko, O.S. Tokareva, N.S. Ushakova, E.S. Makartseva, E.A. Gaponov // Sovremennye Problemy Distansionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa. – 2016. – V. 13. – Iss. 4. – P. 20–28.
14. Kovalev A., Tokareva O. Using modis NDVI products for vegetation state monitoring on the oil production territory in Western Siberia // Matec Web of Conferences. – 2016. – V. 48. – № 05003. – P. 1–5.
15. UAVSAR: new NASA airborne SAR System for research / P.A. Rosen, S. Hensley, K. Wheeler, G. Sadowy // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. – 2007. – V. 22. – Iss. 11. – P. 21–28.
16. Оптимизация трассы морского трубопровода при кластерном освоении месторождений Баренцева и Карского морей с архипелага Новая Земля / Я.О. Ефимов, А.Б. Золотухин, У.Т. Гудместад, К.А. Корнишин // Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2015. – № 1 (278). – С. 19–22.
17. Информационные системы экологического мониторинга на базе ГИС в деле освоения шельфовых месторождений / А.П. Поздняков, А.В. Мещеряков, С.В. Ракунов, К.М. Сапрыкина // Нефть, газ и бизнес. – 2015. – № 1 (278). – С. 26–42.
18. Даниленко А. ГИС в нефтегазовой отрасли. URL: http://neftegaz.ru/science/view/156-GIS-v-neftegazovoy-otrasli (дата обращения: 17.05.2017).
19. Кошкарев А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. – М.: Картцентр-Геоиздат, 1993. – 213 с.
20. MapInfo Professional is a desktop geographic information system software. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/MapInfo-Professional (дата обращения: 17.05.2017).
21. Использование разработок Центра геоинформационных исследований ИГ РАН в нефтегазовой отрасли / А.В. Григорьев, Н.Н. Казанцев, С.Р. Мельников, С.В. Хрупов // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 1998. – 2 (14). – С. 18–20.
22. ГИС Карта – многофункциональная географическая информационная система. URL: http://chem-otkrit.ru/soft/GIS-Karta (дата обращения: 18.05.2017).
23. Indor Map: универсальная геоинформационная система. URL: http://www.indorsoft.ru/products/map/ (дата обращения: 17.05.2017).
24. Фадеев А.Н., Зимина О.А. Применение ГИС «Карта 2003» в лесном хозяйстве // Геопрофи. – 2006. – № 6. – С. 25–27.
25. Географические информационные системы в нефтегазовой промышленности. – Тюмень: изд-во СибНац. – 2002. – 324 с. URL: http://www.geokniga.org/books/5287 (дата обращения: 11.05.2017).
26. Всероссийские научно-практические конференции «Геоинформатика» в нефтегазовой отрасли. Геоинформационный портал ГИС-Ассоциации. URL: http://www.gisa.ru/conf.html (дата обращения: 12.05.2017).
27. ГИС-технологии Esri в нефтегазовой отрасли. URL: https://www.dataplus.ru/events/klyazma-2017/ (дата обращения: 17.05.2017).
28. ArcGIS Platform. URL: http://esri.com/arcgis/about-arcgis (дата обращения: 16.05.2017).
29. MapInfo Pro™ – Desktop GIS. URL: http://www.pitneybowes.com/us/location-intelligence/geographic-information-systems/mapinfo-pro.html (дата обращения: 17.05.2017).
30. Настольные ГИС компании Esri. URL: https://www.esri-cis.ru/products/arcgis-for-desktop/detail/key-features/ (дата обращения: 16.05.2017).
31. App Studio for ArcGIS. URL: http://www.esri.com/landing-pages/appstudio (дата обращения: 16.05.2017).
32. MapInfo Pro – мировой лидер на рынке ГИС и картографических приложений. URL: http://mapinfo.ru/product/mapinfo-professional (дата обращения: 17.05.2017).

33. ArcGIS 10.5 includes the latest release of Esris enterprise GIS. URL: http://www.esri.com/arcgis/whats-new (дата обращения: 17.05.2017).
34. Профессиональная ГИС «Панорама» 12. URL: http://gisinfo.ru/products/map12_prof.htm (дата обращения: 18.05.2017).
35. Ялдычина Н.Б.GETMAP – новое решение для создания веб-ГИС // Геоматика. – 2015. – № 4. – С. 25–31.
36. QGIS is a free, open source, cross platform GIS. URL: http://github.com/qgis/QGIS (дата обращения: 19.05.2017).
37. Профессиональная ГИС «Карта 2011». URL: http://innoter.com/software/874 (дата обращения: 19.05.2017).
38. Геоинформационная система Geobuilder™ Quantum. URL: http://geobuilder.ru/produkty/geobuilder-quantum (дата обращения: 19.05.2017).
39. Andrianov V.Yu. GIS and GPS in the Oil&Gas Industry // Rogtec. – 2014. – № 10. – P. 20–31. URL: http://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/10/5_GISGPS.pdf (дата обращения: 19.05.2017).
40. Бакланов А.В. Корпоративные геоинформационные системы. – М.: Изд-во Дата+, 2011. – 207 с.
41. Касьянова Е.Л., Кикин П.М. Мобильные ГИС в нефтегазовой отрасли // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. – 2011. – № 1 (14). – С. 81–86.
42. ADO.NET Overview. URL: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/e80y5yhx (v=vs.
80).aspx (дата обращения: 19.05.2017).
43. Halvorsen Hans-Petter ASP.NET and Web Programming. URL: http://home.hit.no/~hansha/documents/microsoft.net/tutorials/asp_net_web_programming/ASP.NET%20and%20Web%20Programming.pdf (дата обращения: 20.05.2017).
44. Зыков С.В. Технология интеграции данных в гетерогенных корпоративных программных комплексах: дис.... д-ра техн. наук. – М., 2017. – 466 с.
45. Андрианов В.Ю., Щербина С.В. Корпоративные ГИС для всех и для каждого // ArcReview. – 2013. – № 1 (64). – С. 1–3.
46. Бакланов А.В. Корпоративная ГИС. Игра по правилам // ArcReview. – 2013. – № 1 (64). – С. 3–4.
47. Кудинов А.В., Марков Н.Г. Проблемы автоматизации производства газодобывающих компаний. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 247 с.
48. Шаев А., Миронов П., Лебеденко О. Концепция построения корпоративной геоинформационной системы в ОАО «НК «Роснефть» // ArcReview. – 2005. – № 1 (32). – С. 6–8.
49. Бакланов А.В. Мировой опыт создания корпоративных систем хранения данных в нефтегазовой отрасли // ArcReview. – 2017. – № 2 (81). – С. 4–6.
50. Overview of Online Analytical Processing (OLAP). URL: https://support.office.com/en-us/article/Overview-of-Online-Analytical-Processing-OLAP-15d2cdde-f70b-4277-b009-ed732b75fdd6 (дата обращения: 19.05.2017).
51. Esri Maps for IBM Cognos. URL: http://www.esri.com/landing-pages/ibm (дата обращения: 20.05.2017).
52. Программа развития компании ОАО «Газпром космические системы». Система «СМОТР». URL: http://www.gazprom-spacesystems.ru/new_pro (дата обращения: 22.05.2017).
53. Veyber V., Kudinov A., Markov N. Model driven approach for oil&gas information systems and application integration // Proceedings of the 6th Central and Eastern European Software Engineering Conference, CEE-SECR2010. – Moscow, 2010. – P. 17–22.
54. Microsoft SQL Server 2008 R2. URL: http://www.microsoft.com/ru-ru/download/details.aspx? id=44271 (дата обращения: 18.05.2017).
55. Bogdan S., Kudinov A., Markov N. Example of implementation of MES «Magistral–Vostok» for oil and gas production enterprise // Proceedings of the 5th Central and Eastern European Software Engineering Conference in Russia, CEE-SECR 2009. – Moscow, 2009. – P. 39–43.
56. MapInfo MapX – быстрый способ встроить ГИС-функции в приложения. URL: http://www.mapinfo.ru/product/mapinfo-mapx (дата обращения: 22.05.2017).

Поступила 26.06.2017 г.

Информация об авторах

Марков Н.Г., доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и технологий Института кибернетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 004.67:910.27 (075.8)

GEOINFORMATION SYSTEMS FOR OIL AND GAS ENTERPRISES: FUNCTIONALITY, ARCHITECTURE AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Nikolay G. Markov,
markovng@tpu.ru

National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The necessity of manufacturing intellectualization in oil and gas enterprises based on the most modern methods of data processing and analysis, information and telecommunication technologies defines the relevance of the research. In particular, geoinformation systems (GIS) have especial significance nowadays. GIS allow processing and analyzing not only attributive but spatial data related to manufacturing objects of extracting and transporting hydrocarbon crude enterprises.

***The main aim** of the study is to analyze the functionality and architecture of modern general GIS to assess conformance to the requirements of oil and gas enterprises and to identify development prospects for such systems.*

***The methods used in the study:** system analysis of general GIS and GIS-platforms based on requirements for their characteristics and functionality that where defined according to the list of necessary classes of tasks for oil and gas branch; methods to analyze architectures of information systems for different applications.*

***Results.** The article shows that oil and gas enterprises have a large number of classes of tasks which could be solved by using GIS. The authors have analyzed the compatibility of general vector GIS with the requirements of oil and gas enterprises and made a conclusion that 4 GIS-platforms meet these requirements and could be used as a base for problem-oriented GIS to solve various classes of tasks for oil and gas branch. Various architectures of general GIS were analyzed and according to these results the conceptual architecture for enterprise GIS in a narrow sense was developed as well as the approach for spatial data bases organization. The authors proposed the prospects for such enterprise GIS within this architecture. The architecture was developed and functions were described for enterprise GIS «Magistral-Vostok» to manage manufacturing of oil and gas enterprises.*

Key words:
Oil and gas enterprises, spatial data, general geoinformation systems, enterprise geoinformation systems.

The research was supported by the grant of the Competitiveness Enhancement Program of Tomsk Polytechnic University, project no. ВИУ-ИК-110/2017.

REFERENCES

1. Kovin R.V., Markov N.G. *Geoinformatsionnye tekhnologii dlya analiza dvumernykh geopoley* [Geoinformation technologies for analysis of two-dimensional geofields]. Tomsk, Tomsk university Publ., 2006. 166 p.
2. *Roxar Software Releases. RMS Tempest*. Available at: http://www.emerson.com/en-us/automation/roxar (accessed 12 May 2017).
3. *Petrel E&P Software Platform*. Available at: http://www.software.slb.com/products/petrel/ (accessed 11 May 2017).
4. Markov N.G. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy dlya gazodobyvayushchego proizvodstva* [Information management systems for gas production industry]. Tomsk, Tomsk polytechnic university Publ. house, 2016. 261 p.
5. Chernyavskaya T.A. Mesto geoinformatsionnoy sistemy v informatsionnom prostranstve neftegazodobyvayushchey kompanii [The position of geographic information system in the information space of oil and gas enterprise]. *ArcReview*, 2011, no. 1, pp. 1–3.
6. Eremin N.A., Dmitrievskiy A.N., Tikhomirov L.I. Nastoyashchee i budushchee intellektualnykh mestorozhdeniy [The present and the future of intelligent oilfields]. *Neft. Gaz. Novatsii*, 2015, no. 12 (183), pp. 46–51.
7. Reshetnikov I.S. *Avtomatizatsiya proizvodstvennoy deyatelnosti gazotransportnoy kompanii* [Automation of production activities for a gas transportation company]. Moscow, Neftegazsoftservis Publ., 2011. 116 p.
8. Korovin I.S., Tkachenko M.G. Intelligent Oilfield Model. *Procedia Computer Science*, 2016, vol. 101, pp. 300–303.
9. Jia A., Guo J. Key Technologies and Understanding on the Construction of Smart Fields. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, vol. 39, pp. 127–131.
10. Bogdan S., Kudinov A., Markov N. Manufacturing Execution Intellectualization: Oil and Gas Implementation Sample. *Lecture № 2 in Computer Science: Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatic*, 2011, no. 8, pp. 73–79.
11. Polishchuk Yu.M., Tokareva O.S. Application of satellite images to ecological estimation of the impact of associated gas flaring on Siberian oil fields. *Optika atmosfery i okeana*, 2014, vol. 27, no. 7, pp. 647–651. In Rus.
12. Altunina L.K., Svazovskaya L.I., Polishchuk Yu.M., Tokareva O.S. Remediation of the damaged environment of oil-producing areas. *Petruleum Chemistry*, 2011, vol. 51, no. 5, pp. 381–385.
13. Pasko O.A., Tokareva O.S., Ushakova N.S., Makartseva E.S., Gaponov E.A. The application of satellite methods for monitoring snow dump sites. *Sovremennye Problemy Distansionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 2016, vol. 13, Iss. 4, pp. 20–28. In Rus.
14. Kovalev A., Tokareva O. Using modis NDVI products for vegetation state monitoring on the oil production territory in Western Siberia. *Matec Web of Conferences*, 2016, vol. 48, no. 05003, pp. 1–5.
15. Rosen P.A., Hensley S., Wheeler K., Sadowy G. UAVSAR: new NASA airborne SAR System for research. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 2007, vol. 22, Iss. 11, pp. 21–28.
16. Efimov Ya.O., Zolotukhin A.B., Gudmestad U.T., Kornishin K.A. Optimizatsiya trassy morskogo truboprovoda pri klasternom osvoenii mestorozhdeniy Barentseva i Karskogo morey s arkhipelaga Novaya Zemlya [Optimization of the marine pipeline route during the cluster development of oil fields of the Barents Sea and the Kara Sea from the archipelago Novaya Zemlya]. *Trudy RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina*, 2015, no. 1 (278), pp. 19–22.

17. Pozdnyakov A.P., Meshcheryakov A.V., Rakunov S.V., Saprykina K.M. Informatsionnye sistemy ekologicheskogo monitoringa na baze GIS v dele osvoeniya shelfovykh mestorozhdeniy [Application of information systems for ecological monitoring based on GIS for shelf fields development]. *Neft, gaz i biznes*, 2015, no. 1 (278), pp. 26–42.
18. Danilenko A. *GIS v neftegazovoy otrasli* [GIS for oil and gas industry]. Available at: http://neftegaz.ru/science/view/156-GIS-v-neftegazovoy-otrasli (accessed 17 May 2017).
19. Koshkarev A.V., Tikunov V.S. *Geoinformatika* [Geoinformatics]. Moscow, Karttsentr-Geoizdat Publ., 1993. 213 p.
20. *MapInfo Professional is a desktop geographic information system software*. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/MapInfo-Professional (accessed 17 May 2017).
21. Grigorev A.V., Kazantsev N.N., Melnikov S.R., Khrupov S.V. Ispolzovanie razrabotok Tsentra geoinformatsionnykh issledovaniy IG RAN v neftegazovoy otrasli [Application of solutions of the Center of geoinformational researches IG RAS for oil and gas industry]. *Informatsionnyy byulleten GIS-Assotsiatsii*, 1998, no. 2 (14), pp. 18–20.
22. *GIS Karta – mnogofunktsionalnaya geograficheskaya informatsionnaya Sistema* [GIS Map – multifunctional geographic information system]. Available at: http://chem-otkrit.ru/soft/GIS-Karta (accessed 18 May 2017).
23. *Indor Map: universalnaya geoinformatsionnaya Sistema* [Indoor Map: multipurpose geographic information system]. Available at: http://www.indorsoft.ru/products/map/ (accessed 17 May 2017).
24. Fadeev A.N., Zimina O.A. *Primenenie GIS «Karta 2003» v lesnom khozyaystve* [Application of GIS «Karta 2003» for forestry]. *Geoprofi*, 2006, no. 6, pp. 25–27.
25. *Geograficheskie informatsionnye sistemy v neftegazovoy promyshlennosti* [Geographic information systems for oil and gas industry]. Tyumen, SibNats Publ., 2002. 324 p. Available at: http://www.geokniga.org/books/5287 (accessed 11 May 2017).
26. *Vserossiyskie nauchno-prakticheskie konferentsii «Geoinformatika» v neftegazovoy otrasli. Geoinformatsionny portal GIS-Assotsiatsii* [Russia-wide research and practice conferences «Geoinformatics» in oil and gas industry. Geoinformation web portal of the GIS association]. Available at: http://www.gisa.ru/conf.html (accessed 12 May 2017).
27. *GIS-tekhnologii Esri v neftegazovoy otrasli* [GIS-technologies for oil and gas industry]. Available at: https://www.dataplus.ru/events/klyazma-2017/ (accessed 17 May 2017).
28. *ArcGIS Platform*. Available at: http://esri.com/arcgis/about-arcgis (accessed 16 May 2017).
29. *MapInfo Pro™ – Desktop GIS*. Available at: http://www.pitneybowes.com/us/location-intelligence/geographic-information-systems/mapinfo-pro.html (accessed 17 May 2017).
30. *Nastolnye GIS kompanii Esri* [Desktop GIS by Ersi]. Available at: https://www.esri-cis.ru/products/arcgis-for-desktop/detail/key-features/ (accessed 16 May 2017).
31. *App Studio for ArcGIS*. Available at: http://www.esri.com/landing-pages/appstudio (accessed 16 May 2017)
32. *MapInfo Pro – mirovoy lider na rynke GIS i kartograficheskikh prilozheniy* [MapInfo Pro is the worldwide leading company in GIS and cartographic software market]. Available at: http://mapinfo.ru/product/mapinfo-professional (accessed 17 May 2017)
33. *ArcGIS 10.5 includes the latest release of Esris enterprise GIS*. Available at: http://www.esri.com/arcgis/whats-new (accessed 17 May 2017).
34. *Professionalnaya GIS «Panorama» 12* [Professional GIS «Panorama» 12]. Available at: http://gisinfo.ru/products/map12_prof.htm (accessed 18 May 2017).
35. Yaldychina N.B. *GETMAP – novoe reshenie dlya sozdaniya veb-GIS* [GETMAP is a new solution for web-GIS development]. *Geomatika*, 2015, no. 4, pp. 25–31.
36. *QGIS is a free, open source, cross platform GIS*. Available at: http://github.com/qgis/QGIS (accessed 19 May 2017)
37. *Professionalnaya GIS «Karta 2011»* [Professional GIS «Karta 2011»]. Available at: http://innoter.com/software/874 (accessed 19 May 2017).
38. *Geoinformatsionnaya sistema Geobuilder™ Quantum* [Geographic information system Geobuilder™ Quantum]. Available at: http://geobuilder.ru/produkty/geobuilder-quantum (accessed 19 May 2017).
39. Andrianov V.Yu. GIS and GPS in the Oil&Gas Industry. *Rogtec*, 2014, no. 10, pp. 20–31. Available at: http://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/10/5_GIS GPS.pdf (accessed 19 May 2017). In Rus.
40. Baklanov A.V. *Korporativnye geoinformatsionnye sistemy* [Enterprise geographic information systems]. Moscow, Data+ Publ., 2011. 207 p.
41. Kasyanova E.L., Kikin P.M. Mobilnye GIS v neftegazovoy otrasli [Mobile GIS for oil and gas industry]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologiy*, 2011, no. 1 (14), pp. 81–86.
42. *ADO.NET Overview*. Available at: https://msdn.microsoft.com/en-us/library/e80y5yhx (v=vs.80).aspx (accessed 19 May 2017).
43. Halvorsen Hans-Petter *ASP.NET and Web Programming*. Available at: http://home.hit.no/~hansha/documents/microsoft.net/tutorials/asp_net_web_programming/ASP.NET%20and%20Web%20Programming.pdf (accessed 20 May 2017).
44. Zykov S.V. *Tekhnologiya integratsii dannykh v geterogennykh korporativnykh programmnykh kompleksakh*. Dis. doct. nauk [The technology of data integration in heterogeneous enterprise software. Dr. Diss.]. Moscow, 2017. 466 p.
45. Andrianov V.Yu., Shcherbina S.V. Korporativnye GIS dlya vsekh i dlya kazhdogo [Enterprise GIS for everyone]. *ArcReview*, 2013, no. 1 (64), pp. 1–3.
46. Baklanov A.V. Korporativnaya GIS. Igra po pravilam [Enterprise GIS. Fair play]. *ArcReview*, 2013, no. 1 (64), pp. 3–4.
47. Kudinov A.V., Markov N.G. *Problemy avtomatizatsii proizvodstva gazodobyvayushchikh kompaniy* [Problems of production automation in gas companies]. Tomsk, Tomsk polytechnic university Publ. house, 2012. 247 p.
48. Shaev A., Mironov P., Lebedenko O. Kontseptsiya postroeniya korporativnoy geoinformatsionnoy sistemy v OAO «NK «Rosneft» [The concept of building the enterprise geographic information system in «Rosneft»]. *ArcReview*, 2005, no. 1 (32), pp. 6–8.
49. Baklanov A.V. Mirovoy opyt sozdaniya korporativnykh sistem khraneniya dannykh v neftegazovoy otrasli [Best practices for enterprise systems of data storage in oil and gas industry]. *ArcReview*, 2017, no. 2 (81), pp. 4–6.
50. *Overview of Online Analytical Processing (OLAP)*. Available at: https://support.office.com/en-us/article/Overview-of-Online-Analytical-Processing-OLAP-15d2cdde-f70b-4277-b009-ed732b75fdd6 (accessed 19 May 2017).
51. *Esri Maps for IBM Cognos*. Available at: http://www.esri.com/landing-pages/ibm (accessed 20 May 2017).
52. *Programma razvitiya kompanii OAO «Gazprom kosmicheskie sistemy». Sistema «SMOTR»* [The program of OAO «Gazprom space systems» development. The system «SMOTR»]. Available at: http://www.gazprom-spacesystems.ru/new_pro (accessed 22 May 2017).
53. Veyber V., Kudinov A., Markov N. Model driven approach for oil&gas information systems and application integration. *Proceedings of the 6th Central and Eastern European Software Engineering Conference, CEE-SECR2010*. Moscow, 2010. pp. 17–22.
54. *Microsoft SQL Server 2008 R2*. Available at: http://www.microsoft.com/ru-ru/download/details.aspx?id=44271 (accessed 18 May 2017).

55. Bogdan S., Kudinov A., Markov N. Example of implementation of MES «Magistral-Vostok» for oil and gas production enterprise. *Proceedings of the 5th Central and Eastern European Software Engineering Conference in Russia, CEE-SECR 2009*. Moscow, 2009. pp. 39–43.

56. *MapInfo MapX – bystry sposob vstroit GIS-funktsii v prilozheniya* [MapInfo MapX is a fast way to implement GIS-functionality into applications]. Available at: http://www.mapinfo.ru/product/mapinfo-mapx (accessed 22 May 2017).

Received: 26 June 2017.

Information about the authors

Nikolay G. Markov, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.