

**ИННОВАЦИОННЫЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ И
КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Сборник трудов
XIV Международной научно-практической конференции**



Мероприятие проводится при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований,
Проект № 17-07-20539

1 – 10 октября 2017 года
Россия, г. Сочи

УДК 681.3 + 681.5
И 66

И 66 Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции. / под.ред. С.У.Увайсов – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2017, 720с.

ISSN 2500-1248

Представлены материалы четырнадцатой международной научно-практической конференции. Сборник отражает современное состояние инноватики в образовании, науке, промышленности, социально-экономической сфере и медицине с позиций внедрения новейших информационных и коммуникационных технологий.

Представляет интерес для широкого круга специалистов в области современных информационных и коммуникационных технологий, научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, связанных с инновационной деятельностью.

Редакционная коллегия:

Авдеюк О.А., Витязев В.В., Wójcik W., Галкин В.А., Голованова Н.Б., Горбунов А.П., Иванов И.А.(отв. ред.), Каперко А.Ф., Карминская Т.Д., Кечиев Л.Н., Климов К.Н., Кофанов Ю.Н., Кравец А.Г., Кудж С.А., Кулагин В.П., Касејко Р., Куликов Г.В., Мещеряков Р.В., Нефедов В.И., Панков В.Л., Петросянц К.О., Пожидаев Е.Д., Рагуткин А.В., Саенко В.С., Сигов А.С., Соколов В.В., Стукач О.В., Тимошенко А.В., Халютин С.П., Харьков В.П., Черемисина Е.Н., Шашурин Г.В., Шелупанов А.А., Шмид А.В., Увайсов С.У.(гл. ред.), Юрков Н.К.

ISSN 2500-1248

© Оргкомитет конференции ИНФО-2017

СБОРНИК СОДЕРЖИТ:

- сведения об организаторах
- материалы докладов

МЕРОПРИЯТИЯ КОНФЕРЕНЦИИ

Планарное заседание



Фундаментальные проблемы инноватики

Рассматриваются результаты фундаментальных исследований в различных областях научной и практической деятельности.

Секционные заседания



Современные технологии в информационном обществе

Посвящена применению информационных и коммуникационных технологий в образовании и социально-экономической сфере. Рассматриваются вопросы: управления образовательным процессом в высшем, среднем и начальном образовании; дистанционного обучения; применения ИКТ для повышения качества преподавания; применения ИКТ для управления, регулирования и повышения качества социальных и бизнес-процессов; и другие.



Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования в науке, технике и технологиях

Рассматриваются вопросы использования современных ИКТ при проведении научных исследований и разработке новых видов техники и технологий в промышленности.



Энергетика и энергосберегающие технологии

Посвящена вопросам разработки новых видов источников энергии и их практического применения, использования альтернативных источников энергии в жизни и деятельности человека, повышения их эффективности.



Антенны, СВЧ техника, технологии и производство радиоэлектронных систем

Рассматриваются вопросы электромагнитной совместимости, излучения, приема и распространения электромагнитных волн, управления полями с помощью различных физических явлений, численного электродинамического моделирования, исследования, разработки и создания антенн, СВЧ-устройств, материалов и компонентов проектирования спецоборудования для радионавигации, радиолокации, телевидения, радиоастрономии, радиоуправления, радиоэлектронной борьбы и телекоммуникаций.

Международный фестиваль «ЭЛЕКТРОННОЕ БУДУЩЕЕ - 2017»

Круглые столы, семинары, мастер-классы

Контакты оргкомитета:

E-mail: conf@diag.ru

www.diag.ru

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

Сигов А.С., профессор, доктор физико-математических наук, академик РАН, президент Московского технологического университета.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Кудж С.А., профессор, доктор технических наук, ректор Московского технологического университета.

Заместитель председателя

Карминская Т.Д., доцент, кандидат технических наук, ректор Югорского государственного университета

Витязев В.В., проф.	Рязань, зав. каф., РГРТУ
Голованова Н.Б., проф.	Москва, заместитель первого проректора МТУ (МИРЭА)
Горбунов А.П., проф.	Пятигорск, ректор ПГУ
Гузейн-заде Н.Г., проф.	Москва, заведующий отделом, ИОФ РАН
Kasęjko Piotr, prof. dr hab., inż.	Lublin, Rektor of Lublin University of Technology
Карпенко А.П., проф.	Москва, зав. каф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Klaban Vladimír, Prof. Ing., CSc	Brno, RAŠÍNOVA VYSOKÁ ŠKOLA s.r.o.
Kokes Josef, Assoc. prof., CSc.	Prague, prorector of VSMIEP Prague
Kuzaev G.A., Prof.	Nordheim, Prof. radio group of Norwegian Institute of Science and Technology
Куликов Г.В., проф.	Москва, дир. института, МТУ (МИРЭА)
Мещеряков Р.В., проф.	Томск, проректор по научной работе и инновациям ТУСУР
Новиков Н.Н., проф.	Москва, ген. директор НАЦОТ
Омаров Н.С.-М., проф.	Махачкала, первый проректор ДГМУ
Панков В.Л., проф.	Москва, первый проректор МТУ (МИРЭА)
Пожидаев Е.Д., проф.	Москва, Научный руководитель лаборатории, НИУ ВШЭ
Prachař Jan, Ing., PhD.	Prague, Evropský polytechnický institut
Рагуткин А.В.	Москва, проректор по инновационному развитию МТУ (МИРЭА)
Роберт И.В., ак. РАО.	Москва, дир. ИИО ФГБНУ «ИУО РАО»
Романенко Ю.А., проф.	Серпухов, с.н.с. ВА РВСН
Сестрорецкий Б.В. , проф.	Москва, АО НПО «ЛЭМЗ»
Соколов В.В., проф.	Москва, первый проректор МТУ (МИРЭА)
Тимофеев Г.А., проф.	Москва, руководитель "НУК РК", МГТУ им. Н.Э. Баумана
Тимошенко А.В., проф.	Москва, заместитель первого проректора МТУ (МИРЭА)
Черемисина Е.Н., проф.	Дубна, директор Института системного анализа и управления университета «Дубна»
Чернодаров А.В., проф.	Москва, гл.н.с. ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»
Шашурин Г.В., доц.	Москва, декан, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Шелупанов А.А., проф.	Томск, ректор ТУСУР
Шмид А.В., проф.	Москва, генеральный директор "ЕС-Лизинг"

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Увайсов С.У., профессор, доктор технических наук, зав. каф., МТУ (МИРЭА)

Заместитель председателя

Юрков.Н.К., профессор, доктор технических наук, зав. каф., ПензГУ

Ученый секретарь конференции

Иванов И.А., кандидат технических наук, доцент, НИУ ВШЭ

Абрамов О.В., проф.	Владивосток, зав. отд. РАН Дальневосточное отд. ИАПУ
Аверченков В.И., проф.	Брянск, БГТУ
Авакян А.А., проф.	Жуковский, НИИАО

Авдеюк О.А., доц.	Волгоград, зав. каф. ВолгГТУ
Битюков В.К., проф.	Москва, зав. каф., МТУ (МИРЭА)
Бушмелева К.И., проф.	Сургут, зав. каф., СурГУ
Васильев В.А., проф.	Пенза, зав. каф., ПензГУ
Воробьев Г.А., доц.	Пятигорск, директор института, ПГУ
Wójcik Waldemar, Prof. dr hab., inż.	Lublin, director of the Institute of Electronics and Information Technology of Lublin University of Technology
Галкин В.А., проф.	Сургут, директор Политехнического института СурГУ
Горшков П.С., доц.	Москва, исп. директор ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»
Грачев Н.Н., проф.	Москва, НИУ ВШЭ
Гродзенский С.Я., проф.	Москва, МТУ (МИРЭА)
Дрейзин В.Э., проф.	Курск, Юго-западный государственный университет
Замуруев С.Н., проф.	Москва, зав. каф., МТУ (МИРЭА)
Исаева З.У.	Махачкала, директор медицинского центра "Ваш доктор"
Исмагилов Ф.Р., проф.	Уфа, зав. каф., УГАТУ
Каперко А.Ф., проф.	Москва, НИУ ВШЭ
Касимов А.О., доц.	Алматы, АУЭС
Кечиев Л.Н., проф.	Москва, НИУ ВШЭ
Киричек А.В., проф.	Брянск, проректор по перспективному развитию БГТУ
Климов К.Н., проф.	Москва, НПО ЛЭМЗ
Косякин Ю.В., доц.	Тула, ТулГУ
Кофанов Ю.Н., проф.	Москва, НИУ ВШЭ
Кравец А.Г., проф.	Волгоград, ВолгГТУ
Краснов А.Е., проф.	Москва, гл.н.с. ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика»
Кулагин В.П., проф.	Москва, начальник лаборатории, НИУ ВШЭ
Курьлев А.С. проф.	Астрахань, АГТУ
Левин В.А., магистр	Прага, Чешская республика
Львов Б.Г., проф.	Москва, рук. департамента, НИУ ВШЭ
Макарова И.Л., доц.	Сочи, зав. каф. СГУ
Минзов А.С., проф.	Москва, НИУ МЭИ
Нефедов В.И., проф.	Москва, зав. каф., МТУ (МИРЭА)
Нурмагомедова Р.А.	Сочи, представитель оргкомитета ИНФО
Орлова Ю.А., доц.	Волгоград, зав. каф., ВолГТУ
Остринская А.Д.	Сочи, директор пансионата «Фрегат»
Парамонов А.А., проф.	Москва, зав. каф., МТУ (МИРЭА)
Саенко В.С., проф.	Москва, начальник лаборатории, НИУ ВШЭ
Саушев А.В., проф.	Санкт-Петербург, зав. каф., ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова
Старых В.А., проф.	Москва, рук. департамента НИУ ВШЭ
Стукач О.В., проф.	Томск, ТПУ
Теплов С.В.	Москва, ген. директор КП Технопарк «Строгино»
Трусов В.А., доц.	Пенза, ПГУ
Халютин С.П. проф.	Москва, ген. дир. ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»
Харьков В.П., проф.	Москва, советник ген. дир. ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»

Председатель оргкомитета международного фестиваля «ЭЛЕКТРОННОЕ БУДУЩЕЕ – 2017» - генеральный директор Российского Агентства развития информационного общества (РАРИО), академик Международной академии телевидения и радио, член Рабочей группы ОПРФ по развитию информационного общества, **Айгистов А.А.**
Зам. председателя оргкомитета - **Ганин А.А.**
Зам. председателя оргкомитета - **Галюжин А.Ю.**

КООРДИНАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Лышов С.М., СурГУ
Панасик Д.С., НИУ ВШЭ
Увайсова С.С., НИУ ВШЭ
Увайсова А.С., МГТУ им. Н.Э. Баумана

Основной организатор	
Московский технологический университет	
Спонсоры	
Российский фонд фундаментальных исследований	
Экспериментальная мастерская НаукаСофт	
Поддержка	
Российская академия наук	
Министерство образования и науки РФ	
Организационные партнеры	
Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского	
Брянский государственный технический университет	
Международный университет «Дубна»	
Московский Союз научных и инженерных общественных объединений	
Национальная ассоциация центров охраны труда	
Пансионат «Фрегат»	
Пензенский государственный университет	

Политехнический институт Сургутского государственного университета	
Постпредство РФ при Президенте РФ	
Российское Агентство развития информационного общества	
Технопарк Строгино	
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники	
Югорский государственный университет	
Institute of Electronics and Information Technology of Lublin University of Technology	

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ

Журнал «Датчики и системы»
 Журнал «Измерительная техника»
 Журнал «Информационные технологии»
 Журнал «Качество. Инновации. Образование»
 Журнал «Методы менеджмента качества»
 Журнал «Надежность и качество сложных систем»
 Журнал «Приборы»
 Журнал «Прикаспийский журнал. управление и высокие технологии»
 Журнал «Проблемы управления»
 Журнал «Стандарты и качество»
 Журнал «Технологии ЭМС»
 Журнал «Тяжелое машиностроение»
 Информационный портал «РАРИО»
 Przegląd Elektrotechniczny

**Приветственное слово
участникам Международной научно-практической конференции «Инновационные,
информационные и коммуникационные технологии» научного руководителя конференции,
профессора, доктора физико-математических наук, академика РАН, президента Московского
технологического университета
Александра Сергеевича Сигова**

Дорогие коллеги!



Горячо и сердечно приветствую вас на Международной научно-практической конференции "Инновационные информационные и коммуникационные технологии".

Влияние науки на все сферы жизни – образование, производство, социальные отношения, экономику, политику - неоспоримо и стремительно возрастает

Научное знание постоянно меняется по своему содержанию и объему, обнаруживаются новые факты, рождаются новые гипотезы, создаются новые теории и технологии, которые приходят на смену старым. И среди них, несомненно, лидируют информационные и коммуникационные технологии.

Развитие и распространение информационных и коммуникационных технологий привело к впечатляющему рывку вперед во всех сферах - в производстве, образовании, бизнесе, науке, политике. Мир

является свидетелем стремительных перемен, происходящих в течение жизни одного поколения. Создается и укрепляется единая система взаимодействия человека и природы - наука, техника, производство. Благодаря науке, повышаются уровень и качество образования, совершенствуются контроль состояния окружающей среды, организация производства, происходит интенсивное развитие энерго- и ресурсосберегающих технологий и т.д. В настоящее время все это базируется на повсеместном внедрении информационных и телекоммуникационных технологий, вклад которых в общую «копилку» прогресса человечества становится весомее год от года.

Во все времена в обществе ценился и находил достойное место человек, стремящийся к знаниям, умеющий их самостоятельно пополнять, активно пользующийся и делящийся ими. Необходимым средством, инструментом развития подобной личности в современном обществе являются инновационные и телекоммуникационные технологии. Развитие всего «букета» этих технологий в значительной степени влияет и даже определяет развитие интеллекта, творческих способностей, культуры мышления личности, создает материальные предпосылки устойчивого развития всего человечества, а инновационные вызовы в этих направлениях являются все в большей степени ориентирами современной науки.

Участникам настоящей конференции желаю плодотворных дискуссий, способных учеников, дальнейших успехов на научном поприще, достижения поставленных целей, развития новых научных направлений и формирования новых научных школ!

А.С.Сигов

**Приветственное слово
председателя программного комитета профессора, доктора технических наук, ректора
Московского технологического университета
Станислава Алексеевича Куджа**

**Уважаемые участники Международной научно-практической конференции
«Инновационные, информационные и коммуникационные технологии»!**



Сегодня для нашей страны важно обеспечить сбалансированное и устойчивое инновационное развитие в целях повышения конкурентоспособности государства и уровня жизни граждан. Мировой опыт показал, что одним из важнейших источников инновационного развития является образование.

Можно выделить две основные задачи современной высшей школы. Во-первых, это решение задачи кадрового обеспечения. Во-вторых, система образования и вузовская наука должны стать источником инновационных разработок для реального сектора экономики. В этой связи стоит отметить, что традиционно инновационная деятельность вузов рассматривается как источник инноваций на основе трансферта разработок, а в областях информационных и коммуникационных технологий – вузовских ученых в промышленность, энергетику и другие сферы народного хозяйства. В то же время само образование также является крупным сектором экономики, для успешного развития которого необходимы апробация и широкое внедрение образовательных инноваций в областях инновационных, информационных и коммуникационных технологий.

Реализуемая в последние годы в России государственная образовательная политика ориентирована на повсеместное развитие образовательных новшеств. Поддержку получают инновационные образовательные программы вузов, основанные на современных информационных и коммуникационных технологиях организации учебного процесса. Формируется новая структура отечественной высшей школы, которая должна обеспечить специализацию университетских комплексов и ориентацию их деятельности на сферы подготовки специалистов в областях инновационных, информационных и коммуникационных технологий, в которых вуз имеет наибольшие преимущества.

Однако на сегодняшний день ещё остаются нерешенные проблемы, препятствующие развитию инноваций в образовании. К числу подобных ограничений относится низкий уровень спроса на инновационные информационные и коммуникационные разработки вузовских ученых со стороны бизнес-среды. Неразвитыми остаются механизмы сотрудничества вузов и работодателей в вопросах организации целевой подготовки кадров и трудоустройства выпускников. Кроме того, сегодня необходимо работать над развитием законодательства в области инновационной политики в целях создания условий для стимулирования инновационно-образовательной и научной деятельности в высшей школе, а также развития инновационного предпринимательства в научно-технической сфере.

Поэтому появление международной научно-практической конференции «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии нового формата» – это еще один шаг на пути ускорения внедрения новых научных достижений и коммерциализации инноваций с использованием современных информационных технологий.

Выражаю надежду на то, что участниками конференции будут выработаны действенные пожелания и рекомендации по проблемам инновационного развития образования, науки, молодежной политики, а новый формат организации научной работы обеспечит возможность участия в обсуждении заявленных проблем широкого круга молодых исследователей.

В заключение хочу пожелать участникам конференции интересного обсуждения заявленных вопросов и дальнейшего развития сотрудничества российских и зарубежных ученых, аспирантов, студентов!

С.А.Кудж

Приветствие

участникам XIV Международной научно-практической конференции
«Инновационные, информационные и коммуникационные технологии»
Председателя организационного комитета,
профессора, доктора технических наук
Увайсова Сайгида Увайсовича

Уважаемые коллеги, дорогие друзья!



Наша конференция в этом году посвящается 70-летию одного из лучших университетов страны – «Московскому технологическому университету» МИРЭА. Вуз известен и славится выпускниками, которые на протяжении многих десятилетий эффективно трудятся во всех отраслях промышленности.

Совершенствование управления образованием с применением инновационных, информационных и коммуникационных технологий, по убеждению большинства специалистов, является одним из главных условий устойчивого развития наших стран.

В разных странах мира отношения между правительством и основными субъектами научной, инновационной и образовательной деятельности складываются по-разному в зависимости от традиций и накопленного опыта. Именно поэтому, на наш взгляд, главным достижением организационного комитета конференции являются реальные успехи в консолидации сил субъектов государственного и муниципального управления, общественных организаций, высших учебных заведений

России и зарубежных стран, результатом чего стало проведение настоящего научного форума.

Вместе нам удастся, во-первых, развить и углубить методологию исследования, согласовать различные научные подходы, преодолеть фрагментацию научного знания в области инновационных, информационных и коммуникационных технологий, а во-вторых, разработать научно обоснованные рекомендации по дальнейшему реформированию образования, направленного на повсеместное внедрение достижений инновационных информационных технологий.

Здесь следует, прежде всего, подчеркнуть, что сохранение научных достижений и потенциала высшей школы и научных организаций наших стран возможно только при условии формирования эффективного механизма использования достижений в области инновационных информационных и коммуникационных технологий.

Желаю участникам конференции плодотворной работы, ярких впечатлений и творческого вдохновения. Надеюсь, что активная работа на конференции даст всем дополнительный мотивационный импульс к успешной работе в своих областях деятельности.

Искренне ваш, С.У. Увайсов

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ АРХИТЕКТУРА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА
ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НОВЫХ МЕТОДОВ В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

Биряльцев Е.В., Галимов М.Р., Жибрик О.Н., Демидов Д.Е.*, Елизаров А.М.*, Беляева А.А.**
ООО «Градиент технолоджи», *НИИСИ РАН, **ЗАО «Градиент»,
+7 (843) 227-40-64, mail@modernseismic.com

Статья посвящена исследованию возможности реализации высокопроизводительных интеллектуальных систем для численного моделирования и обработки/поиска информации в больших массивах данных в интересах нефтегазовой отрасли и в частности сейсморазведочных компаний. Рассматриваются возможные архитектуры кластера на основе современных доступных программных и аппаратных технологий, которые были реализованы в рамках экспериментальных и опытно-практических работ.

Ключевые слова: численное моделирование, распределенные вычисления, кластер GPU, сейсморазведка, большие данные.

Software and hardware architecture of a HPC cluster for implementation of new methods in seismic examination. Biryaltsev E.V., Galimov M.R., Zhibrik O.N., Demidov D.E.*, Elizarov A.M.*, Belyaeva A.A.** Gradient Technologies, *SRISA/NIISI RAS, **Gradient.

The article is devoted to the investigation of the possibility of implementing high-performance intelligent systems for numerical modeling and processing/retrieval of information in large data sets in the interests of the oil and gas industry and seismic exploration companies. Possible cluster architectures are considered based on modern available software and hardware technologies that were implemented during of experimental and practical works.

Keywords: numerical simulation, distributed computing, GPU cluster, seismic exploration, big data.

Введение

В настоящее время неустойчивость цен на нефть ставит задачу повышение эффективности бурения, снижения затрат на добычу. Этому противодействует все усложняющиеся геологические условия, истощение запасов, ввод в эксплуатацию нетрадиционных месторождений. Для повышения эффективности добычи в условиях усложняющегося геологического строения разрабатываемых месторождений в отрасли внедряются новые подходы к получению и обработке информации. В области сейсморазведки к их числу можно отнести высокоплотную сейсморазведку, полноволновую инверсию, вариантное геологическое, геомеханическое и гидродинамическое моделирование. Генерируемые этими технологиями исходные и промежуточные данные имеют петабайтные объемы, не могут быть обработаны традиционными технологиями работы с информацией и требуют применения технологий HPC и big data. Данные технологии также отличаются повышенными требованиями к вычислительной мощности, так как используют численное моделирование и развитые статистические методы, базирующиеся на матричных вычислениях большого размера. Геолого-геофизические данные являются, как правило, пространственно-временными полями параметров сложной структуры, вплоть до тензоров. Для контроля адекватности исходных, промежуточных и результирующих данных требуется также их оперативная визуализация.

Традиционная архитектура, применяемая в нефтегазовом секторе, базируется на идеологии рабочих станций, совмещающих в рамках одного узла решение задач проведения вычислений, обработки данных и их визуализации. Указанные выше новые технологии обработки геолого-геофизической информации выходят за рамки технических возможностей отдельной рабочей станции. Таким образом, возникает вопрос разработки программно-технической архитектуры, позволяющей эффективно внедрять новые технологии в практику работы нефтедобывающих, сервисных и геофизических компаний, в том числе малых и средних, не имеющих возможности поддерживать сложную и дорогостоящую ИТ-инфраструктуру.

Типичные задачи новых методов обработки геолого-геофизической информации.

Для того, чтобы иметь представление о требуемых ИТ-ресурсах, рассмотрим некоторые типовые новые технологии. Одной таких технологий является полноволновая инверсия сейсмических данных. В отличие от технологии общей глубинной точки, применявшейся на протяжении 50-ти лет, данная технология работоспособна в геологических условиях любой сложности и позволяет непосредственно получить данные о механических свойствах геологической среды, что необходимо для обоснованного проектирования схемы разработки и конструкции скважин.

Полноволновая инверсия основана на подборе такого распределения механических параметров исследуемого объема геологической среды, которые при решении прямой задачи распространения

сейсмических волн дают модельный сигнал, минимально расходящийся с полевыми наблюдениями. Подбор характеристик среды производится, как правило, ньютоновскими или квазиньютоновскими оптимизационными алгоритмами, минимизирующими функционал расхождения полевых и модельных сигналов. Для работы оптимизационных алгоритмов необходимо по параметрам среды вычислять гессиан или, как минимум, градиент функционала расхождения. Количество таких параметров среды, определяющее размерность задачи, достигает нескольких десятков тысяч. В силу значительной «овражности» оптимизируемого функционала, оптимизационная процедура, как правило, сходится к решению лишь за несколько сотен шагов. Таким образом, для проведения полноволновой инверсии необходимо итерационно решать несколько десятков тысяч относительно малоразмерных прямых задач распространения сейсмических волн.

Другой типовой задачей является полноволновая локация микросейсмических событий. Целью этой технологии является определение положения и параметров микросейсмических событий, образующихся как при выполнении гидроразрыва или термогазового воздействия на низкопроницаемые коллектора или высоковязкие углеводороды, а также параметров микросейсмических событий, возникающих естественным путем в зонах разломов или зонах повышенной трещиноватости. Для решения этой задачи производится моделирование распространения сейсмических волн от модельных источников, расположенных в узлах регулярной сетки в области исследования. Типовое количество узлов может составлять несколько тысяч. Полученные модельные результаты сравниваются с реальными зарегистрированными микросейсмическими колебаниями. Сравнение производится методами наименьших квадратов или максимума правдоподобия, что требует многократного (до сотен тысяч) решения систем линейных уравнений относительно низкой размерности.

Модельные данные, генерируемые обоими методами зависят от размерности решаемой задачи и могут достигать в общем объеме десятков терабайт. Решаемые уравнения обычно плохо обусловлены и требуют применения методов регуляризации. Для получения геологически осмысленных результатов в процессе решения требуется визуальный контроль за ходом обработки и, при необходимости, корректировки условий регуляризации. Оперативная визуализация требуется для массивов, объем которых может достигать сотен гигабайт.

Таким образом программно-техническая архитектура должна обеспечивать выполнение многократных расчетов десятков тысяч однотипных задач, управление хранением и доступом к результатам этих вариантных расчетов и их оперативной 3D визуализации.

Программно-аппаратное решение

К комплексной высокопроизводительной системе для обработки данных сейсморазведочных исследований можно предъявить следующий ряд функциональных требований: обеспечение эффективных высокопроизводительных вычислений (не менее 30 Тфлоп/с); надежное хранение и управление данными большого объема (сотни терабайт); возможность удаленной коллективной работы с обеспечением визуализацию двухмерных и трехмерных динамических сцен; поддержка унаследованного (legacy code) и покупного программного обеспечения.

Современный уровень развития ИТ предоставляет соответствующие технологии для решения ряда указанных требований: графические процессоры (GPU) позволяют считать задачу создания технической базы массового суперкомпьютинга для промышленного применения [1] решенной и выполнять численное моделирование в производственном масштабе времени; архитектуры сетевого хранения данных SAN и DAS на основе дисковых RAID-массивов обеспечивают надежное хранение и быстрый доступ к данным; технологии виртуализации позволяют решать задачи визуализации трехмерной графики (nVidia GRID), удаленного доступа к большим массивам данных и интеграции унаследованного и покупного программного обеспечения.

Программно-технический комплекс, основанный на названных технических решениях, был реализован с участием авторов и эксплуатируется в течение трех лет, что было, в частности, отмечено ведущими производителями графических ускорителей [5, 6]. Архитектура комплекса [2-4] в основном классическая, при которой производится компоновка в виде функциональных подсистем. Основным системным программным обеспечением является технология виртуализации XenServer и технология управления HPC кластером Open Grid Engine. Данный комплекс в конце 2015 года вошел в Топ-50 СНГ и, с учетом небольшого числа узла, может считаться наиболее эффективным по соотношению производительности на узел.

Опыт практической эксплуатации комплекса в геофизической компании в условиях реального производственного цикла позволил выявить ряд архитектурных проблем: компоновка в виде специализированных подсистем не обеспечивает настоящую надежность для систем хранения и виртуализации; поэтапная организации работ приводит к неравномерной нагрузке на компоненты системы, перегрузку или простой оборудования; избыточное резервирование при хранении временных данных на RAID массивах; сложности с масштабированием из-за высокой стоимости функциональных

подсистем и их узлов; потребность в сопровождения коллективом специалистов с специальной квалификацией. То есть речь идет о появлении новых требованиях к комплексу со стороны бизнеса, а именно: возможность гибкого масштабирования и реконфигурации системы; отсутствие единой точки отказа; минимизация сложности и стоимости технических и программных решений и их сопровождения.

Для выполнения новых требований требуется отказаться от использования выделенных специализированных подсистем и перейти на использование архитектуры универсальных узлов в рамках парадигмы универсальных «вычислительных кирпичей» Джима Грея [7]. Тогда с точки зрения аппаратной архитектуры типовой узел должен одновременно включать в себя вычислительные мощности, устройства хранения данных и графическую подсистему. Традиционная кластерная архитектура и архитектура согласно Грею показана на рис 1. При таком подходе аппаратные средства высокопроизводительного моделирования и трехмерной визуализации должны быть совмещены для уменьшения аппаратной сложности узла и снижения его стоимости. Также обязательным условием является полный перенос всех функциональных подсистем в виртуальное окружение, то есть основой системного программного обеспечения является распределенный на всех узлах гипервизор с набором виртуальных машин, которые обеспечивают функционирование всех необходимых серверных компонент (файловое хранилище, СУБД, сервера приложений), функциональных подсистем (HPC подсистема, подсистема визуализации и т.д.) и пользовательского программного обеспечения.

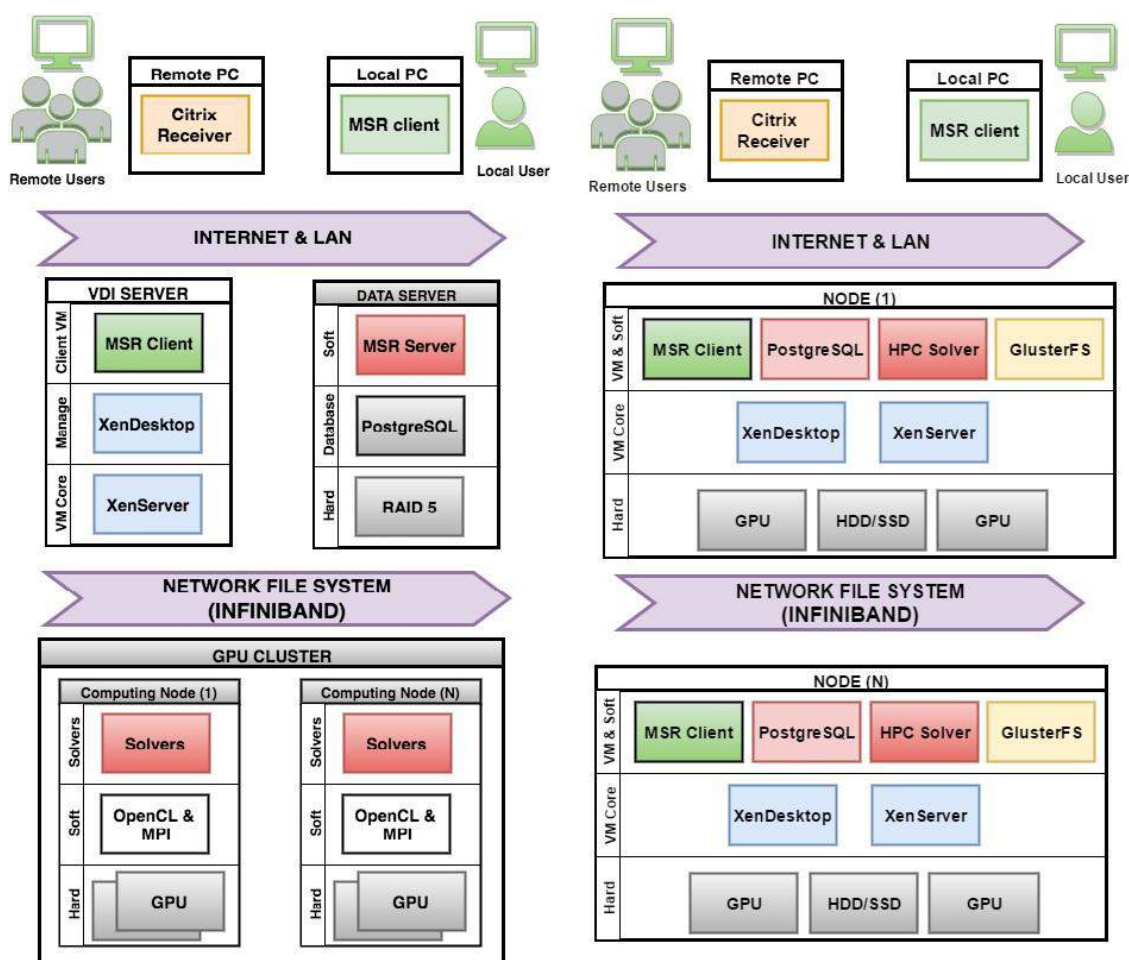


Рисунок 1 – Традиционная кластерная архитектура с функционально выделенными узлами (слева) и однородная реконфигурируемая архитектура из узлов-«кирпичиков» (справа).

Концептуально данное решение устраняет выявленные проблемы, однако практическая его реализация наталкивается на несколько технических препятствий, которые подробно рассмотрены в наших предыдущих работах [8, 9]. Показано, что производительности массовых современных графических процессоров, ориентированных на визуализацию (HD 7970, R9 Nano), на ряде задач вполне достаточно для организации высокопроизводительных вычислений и таким образом, возможно совмещать эти функции в одном устройстве. Аргументировано снижения максимальной эффективной производительности узла за счет уменьшения количества графических процессоров на нем, что позволяет снизить эффект «бутылочного горлышка» PCI шины и стоимость одного узла, а значит и

улучшить горизонтальную масштабируемость системы. Рассмотрены особенности построения децентрализованной системы хранения как с точки зрения аппаратных требований, так и с точки зрения управляющего программного обеспечения, организующего распределенное файловое хранилище и СУБД. Проведены анализ и эксперименты с наиболее перспективными системами распределенного файлового хранения (Lustre, Ceph и Gluster). Также проведено несколько вариантов миграции подсистемы хранения на основе СУБД на кластерную архитектуру на примере СУБД PostgreSQL. Делается заключение, что в настоящий момент времени практически отсутствуют предложения готовых универсальных программно-аппаратных продуктов, которые позволяли бы быстро разворачивать высокопроизводительные системы и легко адаптировать их к имеющимся требованиям, то есть предлагаемые решения ориентированы лишь на одну из составляющих таких систем (хранение, визуализация или вычисления) с неочевидными ограничениями и особенностями функционирования и проблемами совместимости.

Стоит отметить, несмотря на то, что полная миграция в виртуальное окружение комплексных программных ландшафтов известна и применяется уже достаточное количество времени, например, в рамках облачных инфраструктур, в то же время для НРС инфраструктуры такое решение не является общепринятым в следствии имеющихся опасений серьезной потери производительности, но экспериментальная проверка, проведенная авторами, показывает, что результирующая производительность деградирует не существенно (не более 5-7%, что может быть обусловлено влиянием фоновых процессов операционной системы и гипервизора).

Для бизнеса крайне важно, что в описанной архитектуре практически отсутствует возможная единая точка отказа, т. е. выход из строя отдельного аппаратного средства или сразу нескольких серверов не является критическим событием (при корректно настроенном программном обеспечении хранения данных верхнего уровня), потому что необходимые функции могут быть оперативно переданы другим серверам за счет динамического перераспределения виртуальных машин в условиях сократившихся аппаратных ресурсов. Такой вариант решения также позволяет быстро подключать новые мощности при их недостатке или динамически изменять распределение аппаратных узлов между подсистемами для выравнивания нагрузки между ними. В настоящий момент производители виртуальных инфраструктур достигли ряда успехов в экспериментальных исследованиях по виртуализации НРС [10].

Так же ориентация на виртуальные среды позволяет бизнесу рассматривать возможность размещения программно-технической инфраструктуры в облачной среде. Ранее особенности построения НРС систем препятствовали данному направлению развития, теперь же можно говорить, что основные физические ограничения преодолены.

Заключение

Таким образом, систем современный уровень развития программно-аппаратных средств позволяет промышленным компаниям, в том числе относящимся к среднему бизнесу осуществлять самостоятельное проектирование, сборку и конфигурирование аппаратной высокопроизводительной GPU платформы. С технической точки зрения сам процесс не предоставляет каких-либо принципиальных сложностей при создании систем производительностью порядка 100 Тфлоп/с. Сборку таких систем могут выполнить как компании потребители, так и воспользоваться услугами специализированных производителей. Требования повышенной гибкости и масштабируемости, а также простое обслуживания однозначно приводят к выбору архитектуры универсальных узлов в виртуальном окружении. Стоит отметить, что значительно большую сложность представляет процесс конфигурирования и разработки специализированного программного обеспечения как для управления кластером, так и для управления производственным процессом. Использование готовых проприетарных платформ больших западных корпораций дорого и, следовательно, мало доступно для большинства пользователей. Открытое программное обеспечение в свою очередь не является полностью готовым к промышленному использованию, а также требует значительной доработки под требования конечного использования.

Заметим, что проблема разработки сложных программно-аппаратных комплексов в современных условиях, с упором на гибкость конфигурирования и управления известна и современная ИТ промышленность предлагает определенные решения с помощью развития так называемых конвергентных и гиперконвергентных инфраструктур. Главная идея таких инфраструктур - объединить разрозненные аппаратные и программные элементы в единый комплекс и предоставить заказчику все, что необходимо для работы: вычислительную мощность, ресурсы хранения, сетевую поддержку, средства виртуализации, программное администрирование, оркестрацию инфраструктуры, качественное обслуживание приложений. Гиперконвергентные системы переводят концепцию конвергентности на следующий уровень - это уже не просто отдельные системы, созданные для работы в едином комплексе, а глубоко интегрированные с "нуля" модульные системы. Пока данные системы предназначены в основном для управления дата-центрами и отличаются значительной стоимостью, но аналогичные

подходы могут быть и должны быть использованы при построении архитектур специализированных кластеров интеллектуальных систем. Подобные разработки представляются перспективными и, в конечном счете, именно они должны стать основой информационных технологий в ближайшие 5-7 лет.

Применение данной архитектуры открывает путь для дальнейшей интеграции технологий высокопроизводительного численного моделирования и интеллектуальных систем анализа данных. Как мы отмечали выше, обратные задачи геофизики являются плохо обусловленными и требуют регуляризации. Классическая регуляризация по Тихонову продуцирует решения, наиболее близкие к нулю по значениям искомым переменных, что не всегда оправданно. Семантически более корректным будет регуляризация, опирающаяся на статистические характеристики искомого решения. Для каждого геологического региона обычно известны некоторые априорные свойства искомым объектов или геологической среды в целом. Однако такие знания рассеяны по тысячам научных статей и технических отчетов. Геологи-практики, как правило, не имеют возможности изучать весь этот массив литературы и редко используют ее в практической деятельности.

Однородная вычислительная среда позволяет технически просто совместить системы извлечения знаний из сплошных текстов и системы численного моделирования. Системы извлечения знаний из накопленных массивов научно-технической информации можно использовать для определения априорных характеристик геологической среды и поисковых объектов в исследуемом регионе и включение их в решаемые обратные уравнения полевых геофизических методов. Такие системы, совмещающие технологии управления знаниями на основе онтологий, методов big data и deep learning, а также высокопроизводительных численных моделирований на базе одной реконфигурируемой программно-технической архитектуры позволят осуществлять эффективное управление оперативными и прогностическими бизнес процессами в нефтегазовой отрасли.

Благодарности

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-07-05380).

Литература

1. Бетелин В.Б., Велихов Е.П., Кушниренко А.Г. «Массовые суперкомпьютерные технологии — основа конкурентоспособности национальной экономики в XXI веке», Информационные технологии и вычислительные системы, 2007, №2, с. 3–10
2. Биряльцев Е.В., Богданов П.Б., Галимов М.Р., Демидов Д.Е., Елизаров А.М. «Программно-техническая платформа высокопроизводительных вычислений для нефтегазовой промышленности», Программные системы: теория и приложения, 7:1(28) (2016), с. 15–27
3. Биряльцев Е.В., Богданов П.Б., Галимов М.Р., Демидов Д.Е., Елизаров А.М. «Опыт разработки и эксплуатации суперкомпьютерного комплекса для решения обратных задач сейсморазведки. Вычислительные технологии в естественных науках», Методы суперкомпьютерного моделирования. Т. 3, Таруса, Россия, 17–19 октября 2015 года, ред. Р. Р. Назиров, Л. Н. Щур, 2015, с. 18–33.
4. Биряльцев Е.В., Галимов М.Р. «Системотехнические проблемы применения методов математического моделирования в промышленности на примере новых сейсмических технологий», Семинар OS Day/ТМРА-2015 «ОС реального времени» (Иннополис, 9–10 июня 2015 года)
5. Innovative Graphics Compute Helps Oil and Gas Industry, AMD Businessblog, URL: <https://community.amd.com/community/amdbusiness/blog/2016/04/01/innovative-graphics-compute-helpsoil-and-gas-industry>.
6. Облачная графика улучшает геологоразведке доступ к сложнодоступным регионам, Новости NVidia, URL: <http://www.nvidia.ru/object/gradient-case-studies-ru.html>
7. T. Hey, S. Tansley, K. Tolle (eds.). The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery, Microsoft research, Redmond, Washington, 2009, 287 p.
8. Беяева А.А., Биряльцев Е.В., Галимов М.Р. и др. «Кластерная архитектура программно-технических средств организации высокопроизводительных систем для нефтегазовой промышленности», Программные системы: теория и приложения, 2017, 8:1(32), с. 151–171.
9. Биряльцев Е.В., Галимов М.Р., Елизаров А.М. «Программная платформа массового суперкомпьютеринга», Доклады академии наук, 2017, том 473, № 3, с. 277–281
10. «Virtualizing HPC and Technical Computing with VMware vSphere», VMWare, February 08, 2016, URL: <https://www.vmware.com/techpapers/2016/virtualizing-hpc-and-technical-computing-with-vmwa-10516.html>



«Тяжелое машиностроение» (www.tiajmash.ru) – ежемесячный научно-технический и производственный журнал, ведущий печатный орган отраслей тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения. Журнал входит в Перечень ВАК научных периодических изданий и включен в систему Российского индекса научного цитирования.

Подписные индексы:
по каталогу агентства

"Роспечать" – **71109**;

по объединенному каталогу
«Пресса России» – **46326**

ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
см. в Научной электронной
библиотеке www.elibrary.ru

