

# Jet Info

ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

№ 12 (175)/2007

## Сети высокопроизводительных вычислений – новое направление ИТ



КОРПОРАТИВНЫЕ  
СИСТЕМЫ

# Сети высокопроизводительных вычислений – новое направление ИТ

## СОДЕРЖАНИЕ

**ЗАЧЕМ НУЖЕН ГРИД? .....3**

Трифаленков И.А., Тарасов Я.В.

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ  
ГРИД-ПРОЕКТОВ В МИРЕ .....7**

Тарасов Я.В., Виноградов Н.Д.

**ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ ФИНАНСОВЫХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГРИД-СИСТЕМ .....16**

Куланов С.А.

---

# Зачем нужен ГРИД

Трифаленков И.А.

Тарасов Я.В.

В быстро меняющемся мире высоких технологий в настоящее время начинается новый этап технического переоснащения. Наиболее перспективные области науки и техники (термоядерная энергетика, биотехнологии и медицина, космос, управление климатом, геология и т.п.) требуют все возрастающего объема компьютерных вычислений. Отдельные компании и страны в целом, не обладающие адекватными вычислительными мощностями, начинают отставать от своих конкурентов. Прочное лидерство в области производства суперкомпьютеров в настоящее время принадлежит Японии и США, и затраты на воспроизводство аналогичных технологий столь велики, что даже западноевропейские страны не могут себе их позволить.

Развитие инновационных компонентов экономики значительно увеличивает роль математического моделирования природных, экономических и технологических процессов. Моделирование предоставляет возможность оперативного выбора оптимальных путей и решений и при этом требует значительно меньших ресурсов, чем проведение экспериментов в реальных условиях, а иногда является и безальтернативным. Такое моделирование, в свою очередь, невозможно без использования высокопроизводительных информационно-вычислительных систем (ВИВС).

ВИВС необходимы не только для фундаментальных научных исследований, разработки новых подходов (дизайна и производства), создания сложных изделий и систем в промышленности, но и, что более важно, для контроля безопасности их функционирования и применения человеком в условиях все нарастающей их сложности. Во многих отраслях взаимодействие человека с промышленными и транспортными системами, принятие решений в сложных, кризисных ситуациях стало невозможно без ВИВС. Без применения ВИВС затруднительно или невозможно точное и достоверное инженерное и научное моделирование процессов и систем в ключевых отраслях:

- в структурах государственного управления — для проведения долгосрочного прогнозирования экономического развития, мониторинга и прогноза экологической обстановки в регионах;
- для решения задач Министерства по чрезвычайным ситуациям при проведении анализа развития событий в случае катастроф природного или техногенного характера;
- для решения задач Министерства обороны в части проведения аналитических исследований и ситуационного моделирования;
- в машиностроительной промышленности для определения оптимальных конструкторских и технологических решений, обеспечения необходимого уровня промышленной и транспортной безопасности;
- в фармацевтической промышленности, где необходима ускоренная разработка важнейших лекарственных средств, невозможная без применения результатов исследований по расшифровке генома человека и детального понимания взаимодействия протеинов;
- в медицине — для решения задачи ранней диагностики и успешного лечения опасных болезней;
- в экологии — для точного прогнозирования погоды, локальных климатических катастроф и глобальных климатических изменений; для контроля состояния и изменений экологической среды человека и живых организмов в пределах городов и в природе;
- в современном материаловедении при разработке новых революционных материалов для промышленности;
- при обеспечении сейсмической безопасности и для исследований и разведки энергетических ресурсов;
- при решении масштабных информационных задач в любых отраслях, для оптимизации управления энергетическими системами;
- в фундаментальной науке — для решения сложных проблем физики, в космических исследованиях, в биологии, химии.

Рынок ВИВС был всегда наиболее емким сегментом ИТ-рынка (до 17% рынка серверных систем) с точки зрения инновационной и инвестиционной привлекательности для российских и зарубежных

коммерческих компаний, зарубежных компьютерных корпораций, стремившихся к освоению рынка и расширению своего присутствия на нем.

Однако за последние два года интенсивного внедрения однотипных платформ кластерного типа рынок России в сегменте высокопроизводительных систем практически полностью утратил свой инновационный потенциал. Это связано с тем, что практически все проекты, за исключением нескольких, свелись к закупке и интеграции общедоступных компонентов.

В результате передовые производители суперкомпьютеров стали рассматривать рынок в России с исключительно конъюнктурной, чисто коммерческой точки зрения — как потребительский рынок компонентов для больших систем, не имеющих прикладного смысла, где действует единственный критерий — стоимость теоретической (пиковой) операции и рейтинг машины в престижном списке. Эффективность такого рода инвестиций приближается к нулю.

Отраслевые инвестиции в ВИВС (как ведомственные, так и коммерческие) до сих пор в лучшем случае давали значимые для конкретной отрасли результаты. Эти инвестиции, как правило, приводили к масштабным (по российским стандартам) расходам на ВИВС, которые не давали ощутимого результата для государства, пользователей, коммерческих организаций, выраженного в эффективности практического применения. Причина — в отсутствии единой политики и самой постановки задачи на построение оптимального, промышленно применимого вычислительного ресурса и создание инфраструктуры его развития и использования, что является наиболее содержательной и в то же время трудной задачей. Эта задача решается только в альянсе с лидерами промышленного и делового сообщества при поддержке и участии передовых групп системных и прикладных экспертов и инженеров — разработчиков ВИВС и их пользователей, при условии развития перспективных технологий и системы обучения.

Целесообразность долгосрочных инвестиций и исследований в ВИВС охватывает сферу национальных экономических и социальных интересов, выходящих за рамки ожиданий немедленной экономической отдачи, но дает первые результаты уже через год после начала работ. Речь идет о создании национальной инфраструктуры, которая будет оптимальна, доступна для промышленных инженеров, ученых-исследователей и молодого поколения специалистов и достаточно надежна и проста в использовании для гражданских применений.

Несмотря на высокий потенциал применения ВИВС, на практике существует комплекс про-

блем, ограничивающих востребованность таких систем и их применение.

1. Создание ВИВС является достаточно дорогостоящим процессом, причем стоимость нелинейно возрастает с ростом производительности. Эта оценка справедлива не только для собственно вычислительных систем, но и для поддерживающей инфраструктуры.
2. Расчеты с использованием ВИВС часто требуют применения дорогостоящих средств визуализации и отображения результатов. В процессе работы формируются гигантские объемы данных, которые в числовой форме человек просто не в состоянии осмыслить. Здесь во многих случаях необходимо обратиться к графической форме представления информации.
3. Нагрузка на вычислительные центры часто носит переменный характер, при котором потребность в расчетных ресурсах может сильно изменяться с течением времени. Как следствие, при планировании вычислительных центров возникают либо проблемы при работе с пиковой производительностью, либо серьезная недогрузка дорогостоящих ресурсов.
4. ВИВС сегодня изолированы и ориентированы на технологии конкретных производителей, что делает их применение, с одной стороны, зависимым от планов производителей в развитии или свертывании данного направления, с другой стороны, затрудняет использование других платформ для решения аналогичных задач.
5. Программирование ВИВС требует колоссальной экспертизы, усилий по синхронизации на уровне взаимодействия программных процессов и данных. Организация такой синхронизации вручную, при помощи прикладных интерфейсов, сложна и доступна экспертам самого высокого уровня с многолетним опытом в параллельных вычислениях.
6. Подготовка специалистов в области ВИВС требует работы на таких системах, а это доступно сегодня небольшому числу ВУЗов. Количество специалистов в этом случае не обеспечивает массовое применение технологий высокопроизводительных вычислений.

В мировой практике для решения всех перечисленных выше проблем перешли от создания отдельных вычислительных центров с применением ВИВС к построению специализированных сетей высокопроизводительных вычислений на основе ГРИД-технологии. Сегодня проекты по созданию таких сетей проводятся в большинстве развитых

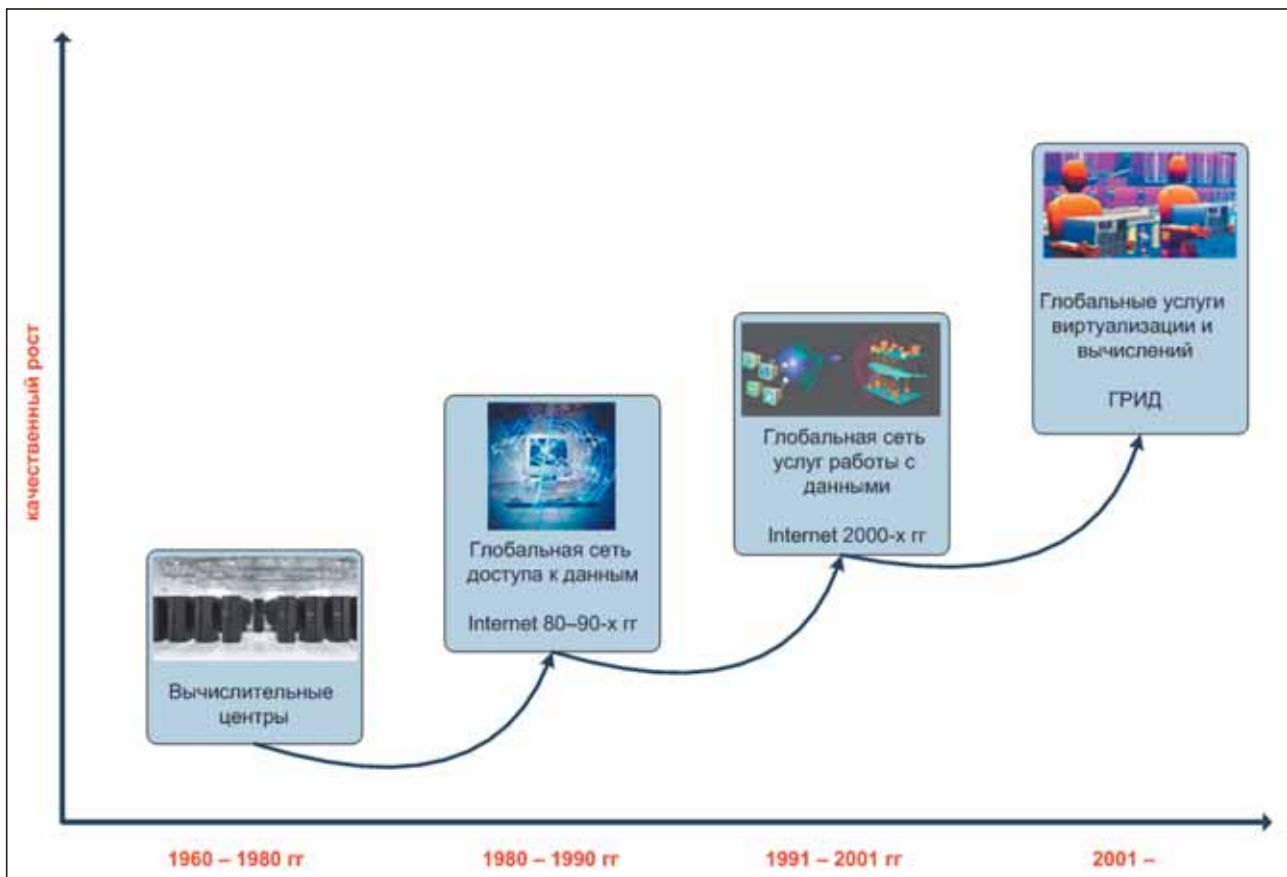


Рис. 1. Эволюция ВИБС

стран и стран, уделяющих большое внимание инновационным направлениям экономики. В списке государств, использующих и развивающих собственные национальные и межнациональные инфраструктуры ГРИД, — страны Евросоюза, США, Япония, Бразилия, КНР.

Более того, все крупные производители программного и аппаратного обеспечения предлагают решения для ГРИД-инфраструктур (Sun, HP, IBM, Microsoft, Cisco, SAP, Oracle, NetApp и др).

Исторически ГРИД-системы были продолжением концепции распределенных (слабо связанных) вычислительных архитектур (кластеров). Фактически эта концепция была распространена на географически распределенные системы с включением в ресурсный пул широкого множества вычислительных, измерительных, информационных и других устройств и комплексов. В последствии она получила свое окончательное оформление в идее «виртуальных организаций» в ГРИД-системе, предполагающей не только технологические соглашения (утилиты, протоколы и интерфейсы разного уровня), но и определенные организационные соглашения (политику), определяющие принципы и условия работы коллективов в единой проектной среде. Эволюция ВИБС и ГРИД приведена на Рис. 1.

Основное преимущество сети высокопроизводительных вычислений перед отдельными вычислительными центрами состоит в возможности обеспечить широкий круг пользователей специализированными услугами, позволяющими им использовать ВИБС за счет виртуализации вычислительных ресурсов. При этом благодаря специализированной сетевой инфраструктуре появляется возможность централизованно решать вопросы обеспечения непрерывности функционирования системы, информационной безопасности, качества предоставляемых услуг.

Динамическое перераспределение ресурсов единого информационно-вычислительного пула позволит существенно повысить полезную нагрузку на те системы, которые в настоящее время используются с крайне низкой эффективностью.

Таким образом, создание сети высокопроизводительных вычислений (ГРИД) позволяет обеспечить большую эффективность использования ВИБС, расширить круг пользователей этих технологий, обеспечить широкое использование научно-технического потенциала и компетенции каждого из вычислительных центров, а также существенно ускорить процесс внедрения инновационных технологий во многих отраслях.

Анализ зарубежного опыта показывает две важные тенденции в развитии мирового «течения» ГРИД:

- исследования в области ГРИД и построения для них различных инфраструктур происходит при активном участии государства;
- вся основная инфраструктура (центры обработки и передачи данных, рабочие группы, научно-исследовательские лаборатории) строится на основе университетов.

В первом случае это обосновывается «стратегической перспективой», которой можно обладать, активно занимаясь развитием ГРИД-тематики в стране.

Во втором случае это объясняется историческим наличием на базе университетов (зарубежных) развитой инфраструктуры (серверной части, сети передачи данных, специализированных помещений, гибкой политикой производителей по отношению к университетам и т.д.), а также квалифицированным персоналом, способным ставить и проводить сложные научные исследования и эксперименты.

Таким образом, развитие тематики ГРИД в государстве может являться стратегической задачей, дающей как мощный потенциал к развитию, обеспечивающей «паритет» и конкурентные преимущества в мировом обществе.

С другой стороны, ГРИД-технологии в той или иной степени используют ведущие машиностроительные, компьютерные, фармацевтические, нефте-/газодобывающие и финансовые корпорации. Это доказывает «бизнес-пригодность» ГРИД для коммерческого использования.

Главным эффектом от строительства и использования ГРИД-системы в масштабах государства может стать широкое внедрение технологий применения высокопроизводительных информационно-вычислительных систем, обеспечивающих ускоренное развитие инновационных отраслей экономики. Экономический эффект от использования ГРИД-систем определяется следующими основными факторами:

- оптимизация использования существующих вычислительных ресурсов посредством разработки и внедрения нового подхода к выполнению приложений в распределенной среде информационных и вычислительных ресурсов;

- отказ от технического и натурального моделирования для сложнейших исследовательских и инженерных систем и сокращение циклов внедрения;
- практичность сервисов ГРИД для широкого круга коммерческих компаний и бизнес-задач (бизнес-моделирование и анализ систем обработки транзакций и поддержки принятия решений), в которых ключевыми параметрами являются гарантия «качества сервиса» предоставляемых ресурсов, безопасности, а также высокая надежность и, соответственно, высокий потенциал системы ГРИД с точки зрения привлечения коммерческих инвестиций;
- востребованность разработок для ВИС в мире, что дает шанс России осуществить прорыв в области применения распределенных информационно-вычислительных технологий и систем — фактически в единственном сегменте высоких «суперкомпьютерных» технологий, где у России остался шанс быть не просто конкурентоспособной, но и оказаться на передовом рубеже прогресса.

В России результатами внедрения и использования ГРИД-технологий и систем могут стать:

- развитие и реализация российского потенциала в области информационных технологий, активное участие Российской Федерации в международной научно-технической кооперации;
- расширение круга пользователей технологий высокопроизводительных вычислений, снижение стоимости таких работ и преодоление «цифрового неравенства» в этой области, особенно в отдаленных регионах России;
- создание и развитие инновационной инфраструктуры.

Развитие и использование ГРИД-технологий в государстве и обществе окажет позитивное воздействие на развитие рынка информационных и вычислительных технологий и систем как в его массовом сегменте (в перспективе), так и в специфических сегментах (высокопроизводительных программно-аппаратных системах), а также выразится в создании новой перспективной программной технологии.

# Анализ современного состояния ГРИД-проектов в мире

Тарасов Я.В.  
Виноградов Н.Д.

## Введение

Сегодня под термином ГРИД подразумевают очень сложный, но четко отлаженный механизм, результат многолетней работы большого количества талантливых людей из разных стран. Стоит вдуматься в это. Ведь на Земле, помимо, например, международной программы по освоению космоса, подобных проектов, направленных на развитие человечества в целом, — немного. С помощью ГРИД-систем ученые все больше узнают об устройстве человеческого организма, могут осуществлять мониторинг артериальной системы в режиме реального времени и на основе его результатов назначать профилактику лечения. С использованием ГРИД-технологий, например, возможно осуществлять сложные, до сегодняшнего момента нереализуемые, эксперименты в области физики, химии.

В чем же успех ГРИД? В самом начале зарождения идеи распределенных вычислений и мультикомпьютинга ГРИД задумывали как подобие электрической сети: каждый человек может использовать сеть благодаря универсальности технологий и заложенных стандартов, развитой инфраструктуре, абсолютно не заботясь о том, от какой электростанции, по какому кабелю к розетке подается напряжение.

Первый и уверенный шаг ГРИД — реализация программы Национального научного фонда США (NSF), 1985-1995 гг. Результат — создание развитой коммуникационной инфраструктуры и нескольких суперкомпьютерных центров для поддержки академических работ и исследований. Затем в 1998 году был создан инструментальный пакет Globus Toolkit, который является технологической базой создания ГРИД-инфраструктуры (стандарт de facto). В 1999-м году сформировалось (и активно действует) международное научное ГРИД-сообщество Global Grid Forum (GGF). GGF и IBM в 2000-м году представили новую системную разработку — Open Grid Service Architecture

(OGSA). В 2002-м создано объединение Enterprise Grid Alliance (EGA). А в 2006-м году GGF и EGA объявили о слиянии и образовании Open Grid Forum (OGF). И все это — великие события, между которыми осуществлялись огромные работы по становлению того ГРИД, который существует сегодня.

## Организация ГРИД

В основе ГРИД лежат вычислительные мощности компьютеров, хранилища данных, объединенных в единую сеть и образующих ГРИД-узел (Рис. 1). Набор ГРИД-узлов представляет собой ГРИД-сеть (ГРИД-сайт), а набор ГРИД-сетей в свою очередь образует ГРИД-систему. Возможны объединения ГРИД-систем внутри страны, между странами. Таковые объединения возникают, как правило, на основе ГРИД-инициатив. ГРИД-проекты включают в себя большое количество географически распределенных ГРИД-систем на международном уровне. Помимо этого существует понятие «виртуальное ГРИД-сообщество», которое представляет собой создаваемую на определенное время виртуальную организацию (ВО) под актуальную задачу и с использованием ресурсов набора ГРИД-систем. В роли связки между ГРИД-системами и ВО выступают координационные центры (координационная организация, КО), управляющие выделением/распределением ресурсов.

Таким образом, получается следующая схема. Для выполнения конкретного объема вычислений виртуальное сообщество обращается в координационную организацию. КО работает с провайдером ПО, провайдером аппаратных ресурсов и финансовым экспертным центром. Под задачу выделяются ресурсы ГРИД. Во время выполнения вычислений возможно осуществление мониторинга хода этих вычислений, получение промежуточных и конечного результатов через средства визуализации. При этом факт гетерогенности самих вычислительных ресурсов «скрыт» от пользователей ГРИД за счет неотъемлемого применения специализированного ПО — grid middleware.

Если часто возникают задачи, требующие больших вычислительных ресурсов и хранилищ данных (а так и есть), то по ГРИД-инициативе возможно объединение нескольких сетей/систем.

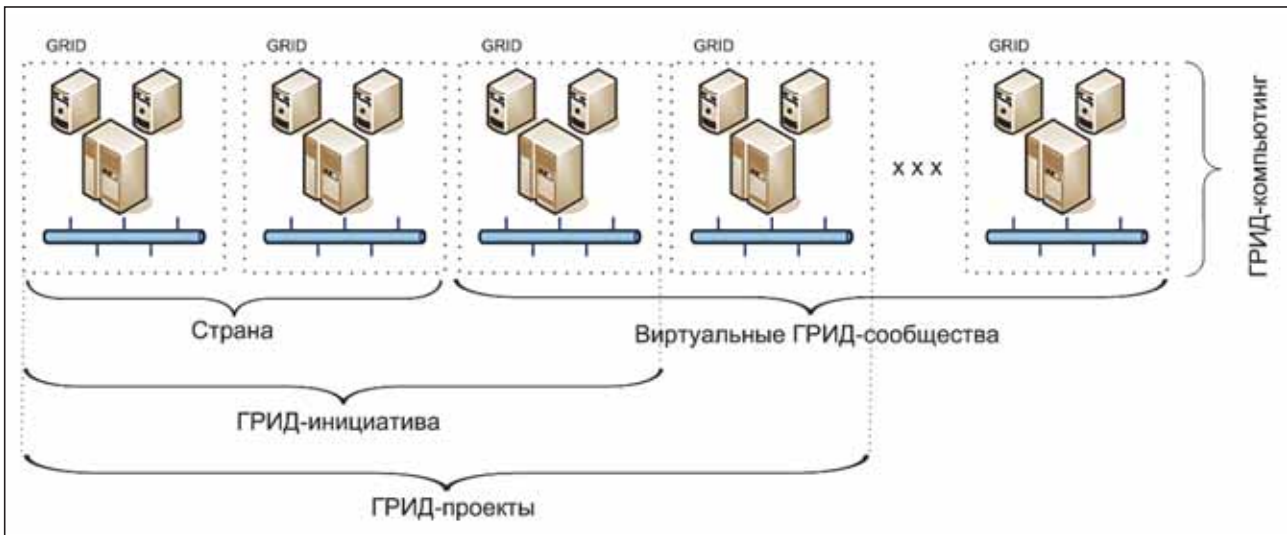


Рис. 1. Организация ГРИД



Рис. 2. География ГРИД в США

		NCSA	SDSC	ANL	Caltech PSC
Паралельные (сетевые) ФС	GPFS, PVFS	GPFS, QFS	PVFS, GPFS	PVFS	HP PFS
Удаленный доступ к ФС	GridFTP	GridFTP, SRB	GridFTP	GridFTP	GridFTP, SRB
Хранилище данных	UniTree, StorNex FS	HPSS, SAM-FS	-	HPSS	SGI DMF
Доступ к хранилищам	GridFTP	SRB, HSI	-	None Yet (HSI Client coming)	GridFTP, SRB
SRB-доступ	Client	Client, server (HPSSes, local disk)	Client	Client, server (HPSSes, local disk)	Client, server

Таблица 1. Организация доступа к данным



Чтобы перейти на уровень ГРИД-метакомпьютинга, должны работать ГРИД-проекты. По просьбе ВО или на основе ГРИД-инициатив объединения ГРИД-систем существуют несколько лет.

## ГРИД-системы

### США. TeraGrid

В США GRID-систему можно охарактеризовать как полноценную отрасль экономики. Внутри GRID обеспечено множество рабочих мест. Каждый человек получает здесь хороший социальный пакет и пенсионное обеспечение. Каждый человек, который внесет значимый вклад в GRID, может быть удостоен награды до нескольких миллионов долларов. Помимо всего этого здесь наблюдается средоточие всех инновационных технологий.

Чтобы понять, что такое GRID в США, нужно взглянуть на карту, раскрывающую географию и масштабы системы мультикомпьютинга (см. Рис.2).

Девиз TeraGrid: использовать только самое новое программное и аппаратное обеспечение, строить самые быстрые сети, осуществлять новые практики на системе, разрабатывать и совершенствовать политики и стандарты. TeraGrid включает в себя множество независимых (внешних) ГРИД-сайтов: NCSA, SDSC, ANL, Caltech, PSC (под ETF).

Обеспечение мультикомпьютинга возложено на оборудование Intel/Linux Clusters, Alpha SMP clusters, POWER4 cluster и т.д. Сайты NCSA, SDSC, ANL оснащены системами: узлы IBM Itanium Node, объединенных в сеть Muginet; компьютерный центр TeraScale (6 Teraflops, HP/Compaq Tru64 Unix 3000 Alpha EV68 processors (750x4p, 4GB RAM/node (3TB total), Dual-rail Quadrics Interconnect); компьютерный центр HP GS1280 «Marvel» Systems (0,4 teraflops HP/Compaq Tru64 Unix 128 Alpha EV7 processors, 512Gm Shared memory, Quadrics connectivity to LeMieux).

Используется множество мощных программных пакетов, различных по своему назначению: непосредственно grid-middleware (проекта Globus, ПО «data management» и т.п.), ПО тестирования (ENZO, PPM), функциональное ПО (Cactus, ENZO, EOL, Gadu, LSMS, MCell, MM5, Montage, NAMD, NekTar, PPM, Quake).

Очень большое внимание уделяется доступности ресурсов системы (Таблица 1).

### Европейская ГРИД

Соединение европейских ГРИД в единую систему осуществлено в рамках сетевого проекта GEANT (Рис. 3).



### «CoreGRID»

(<http://www.coregrid.net>)

В рамках проекта «CoreGRID» ведутся работы по исследованию и разработке ГРИД-технологий (передача данных, программное обеспечение и приложения и т.д.). Основной упор делается на применение перспективных технологий в ГРИД: управление знаниями (knowledge & data management), построение новых программных моделей и архитектур и т.д. Проект использует собственную инфраструктуру, построенную путем объединения шести европейских институтов.



### «BEinGRID»

(<http://www.beingrid.com>)

Как и «CoreGRID», данный проект направлен на всестороннее изучение и практические исследования применения ГРИД для бизнеса. Проект отличается тесным взаимодействием с существующими общеевропейскими ГРИД-проектами.



### BREIN

(<http://www.eu-brein.com>)

Основное назначение проекта «BREIN» – разработка методов и технологий коммерческого применения ГРИД-технологий. Для достижения этой цели ведутся исследования по переносу различных бизнес-моделей в распределенную среду.



### Юго-восточная Европейская ГРИД (SEE-GRID)

<http://www.see-grid.org/>)

Проект объединяет 12 стран, его основной целью является развитие инфраструктуры в регионе стран-участниц. Он активно поддерживается правительствами этих государств.



### Великобритания

Проект EDG (European Data Grid).

Официальное имя проекта – DataGrid. Цель: разработка ПО промежуточного уровня, основанного на Globus и пакете CONDOR, и развертывание полигонов для специфических научных приложений (ФВЭ, наблюдение Земли, биоинформатика).



### UK National Grid Service (NGS)

NGS учреждена в апреле 2004 г. советом центральной лаборатории CCLRC (Council for the Central Laboratories of the Research Councils), сейчас известной как STFC (Science and Technology Facilities Council). Работает в рамках EDG.





Рис. 3. Сеть европейских ГРИД-систем

Доступ к вычислительным ресурсам осуществляется через брокера NGS и прикладной портал NGS. Выполнение и поддержку задач осуществляет брокер ресурсов NGS (Resource Broker), а в качестве ПО middleware используется gLite 3.0

Помимо решения задач в рамках EDG, принимаются задачи от проекта EGEE.

**Германия**

<http://www.d-grid.de>



В Германии ГРИД организована следующим образом. В марте 2004 г. был создан проект D-GRID, который сегодня является объединением большого количества существующих внутри страны ГРИД-систем. D-Grid образован по D-инициативе Федерального министерства науки и образования. В состав данного проекта входят следующие системы:

*1. ГРИД-сети.*

**AeroGrid** – ГРИД-система, работающая в интересах авиационной промышленности, авиационного инжиниринга.



**AstroGrid-D** – работа в области астрономии, астрофизики.



**BIS-Grid** – работает на развитие бизнеса, предоставляет ресурсы под интересы ERP, CRM.



**F&L-Grid** – сеть, предоставляющая сервисы для науки и образования.



**FinGrid** – решение задач финансового характера, тесное взаимодействие с банковскими структурами.



**GDI-Grid** — задачи по сведению ГИС-технологий и ГРИД, разрешение парадигмы «OpenGIS Reference Model (ORM) and the architecture of the OGC Web Services (OWS)».



**HEPCG** — возложено решение задач в области физики высоких энергий.



**In-Grid** — тестирование и разработка приложений в интересах ГРИД-проектов.



**MediGRID** — исследования в области биомедицины.



**PartnerGrid** — е-сотрудничество для индустрии. Работа с САД-проектами.



**ProGRID** — «библиотека проектов» — накопление информации об успешно реализованных проектах, предоставление и демонстрация необходимого материала по заказу.



**SuGI Grid** — на основе базы знаний по ГРИД решение вопросов о расширении возможностей системы, дальнейшего развития, а также постановка экспериментов в данных целях.



**TextGrid** — один из первых в Европе проектов по поиску, обработке (синтаксический и семантический разбор, классификация и т.д.), подготовке к изданию текстовой информации.



**WISENT** — решение задач в области метеорологии.



**StemNet** — проект предназначенный для взаимодействия с миром фармацевтики, биомедицины, организация единого пространства, единой базы.



## 2. Сервисные подразделения:

**BauVOGrid** — работа с ВО, сведение ВО с целевыми ГРИД-системами, организация выделения ресурсов.



**Biz2Grid** — основное назначение контроль и управление ин-



фраструктурой систем внутри D-Grid проекта с целью организации наиболее рационального использования информационных и вычислительных ресурсов.

**C3Grid** — решение вопроса прозрачности работы в гетерогенной среде вычислительных ресурсов, обеспечение наиболее простого доступа к целевым элементам системы, максимальная открытость для ВО.



**DGI** — данной системе назначена роль координатора внутри D-Grid проекта.



**D-MON** — решение вопросов мониторинга текущих задач и свободных ресурсов.



**IVOM** — координация и менеджмент ВО.



**Im Wissensnetz** — девиз «наука доступна каждому», организация некоего единого поля высокотехнологичных наук и доступа к нему с индивидуального рабочего места.



**eSciDoc** — обеспечение эффективного информационного обмена в интересах ГРИД, организация конференций, семинаров, обеспечение публикаций.



**HyperImage** — решение вопросов имиджа проекта, устранение конфликтных ситуаций.



Дополнительно работают еще две организации: Ontoverse — ведение онтологии D-GRID; WIKINGER — взаимодействие с wiki-сервером.

Таким образом, представленный в Германии ГРИД-проект является полноценной отраслью, способной выполнять практически любые задачи, которые ставят перед ней промышленность, наука и образование, бизнес и экономика, а также задачи в рамках евро- и мирового ГРИД-проектов.

## Польша

### CrossGrid.



Инициатива CrossGrid, как и все европейские инициативы, работает в рамках EGEE/LCG, EDG.

CrossGrid включает три основных системы: Cyfronet, ICM, IPJ.

**Cyfronet** отводится роль координатора проектов, управление командой разработчиков и взаимодействия с партнерами по ГРИД.



Кластер Cyfronet: 80 Intel CPU (2.4 – 2.6 GHz), 4 TB массив; UniTree ленточная библиотека (10 TB) ; сеть на базе HP ProCurve Switch 40 ports 100Mb/s and 1 port 1Gb/s (uplink). Часть кластерной мощности выделяется для проведения испытательных работ (CrossGrid testbeds), часть зарезервирована для EGEE, часть ресурсов используется под LHC Computing Grid.

**ICM (Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling, University of Warsaw).**



Перед ICM стоят следующие задачи:

- WP1 – разработка прикладного ПО под задачи «Прогнозирование погодных условий», «Загрязнение окружающей среды»;
- WP3 – предоставление новых сервисов, обеспечение мониторинга;
- WP4 – проведение испытательных и тестовых работ.

Кластер ICM: объединения по 4 узла на базе PIII, 1 GHz, 1GB RAM, 1 CE и 1 SE (0.8 TB хранилище), 1 PBS-сервер.

**IPJ (The A. Soltan Institute for Nuclear Studies, Warsaw)**



Задачи, стоящие перед IPJ:

- WP1 – разработка прикладного ПО под задачу «Распределенный анализ данных в области физики высоких энергий»;
- WP4 – проведение испытательных и тестовых работ.

Кластер IPJ: вдвоенные рабочие узлы на базе PIII, 1 GHz, 1GB RAM, 1 CE and 1 SE (0.8 TB хранилище), 1 PBS-сервер.

**Бельгия**

**BeGrid.**

<http://www.begrid.be>



BeGrid-инициатива создана в 2003 г. в исследовательских интересах Бельгии и была включена в ГРИД-карту Европы. Сегодня в BeGRID представлена вычислительная мощность из 650 CPU, в качестве middleware используется стандарт EGEE – ПО qLite 3.

Вычислительные мощности распределены в следующих подразделениях: университет в Наму-

ре, Католический университет Левена, университет в Антверпене, Институт фон Кармена, лаборатория физики Солид-стэйт и др. Помимо этого существует несколько независимых узлов, входящих в ГРИД-структуру. И сегодня iSCF (Interuniversity Scientific Computing Facility) имеет следующие ресурсы: 80 Sun Fire V60x, 19 Sun Fire V20z and 2 Sun Fire V880: кластер из 101-го узла с 214-ю микропроцессорами, 1103.4 GFlops, 480 GB память, хранилище 5.7 TB. Используются также три основных архитектуры: UltraSPARC® III @ 900 MHz, Intel® Xeon™ @ 2.8 GHz и AMD Opteron™ 250 @ 2.4 GHz. Базовые ОС: SunOS и GNU/Linux. Объединение узлов и кластеров осуществлено на основе гигабитной сети ethernet.

**Италия**

**«IGI» (The Italian Grid Infrastructure: <http://grid-it.cnaf.infn.it>)**



Проект «IGI» был открыт в 2006 г. как продолжение другого национального ГРИД-проекта «GRID.IT» (<http://www.grid.it>). Оба проекта направлены на развитие общей европейской доктрины «E-science» и являются частью общей инфраструктуры проекта EGEE (<http://eu-egee.org>). Участниками проекта являются крупнейшие итальянские университеты, исследовательские институты. Сетевая инфраструктура проекта наложена на итальянскую национальную сеть для исследований и образования.



Целью проекта является развитие технологий глобального использования вычислительных ресурсов для различных сфер науки: физики, астрофизики, биологии, медицины, геофизики, экономики и финансов. Большое внимание в проекте уделяется исследованиям и разработке средств для применения технологии «управления знаниями» (knowledge management). Использование такой технологии позволит работать с гигантскими объемами распределенных данных на принципиально новом уровне.

**«INFN Grid» (Italy's National Institute for Nuclear Physics: <http://grid.infn.it/>)**



Проект «INFN Grid» – детище Итальянского института ядерных исследований. Основная цель проекта – разработка программного обеспечения для построения и использования ГРИД-сетей. Важной особенностью данного проекта является широкое использование и активное участие в разработке программного обеспечения

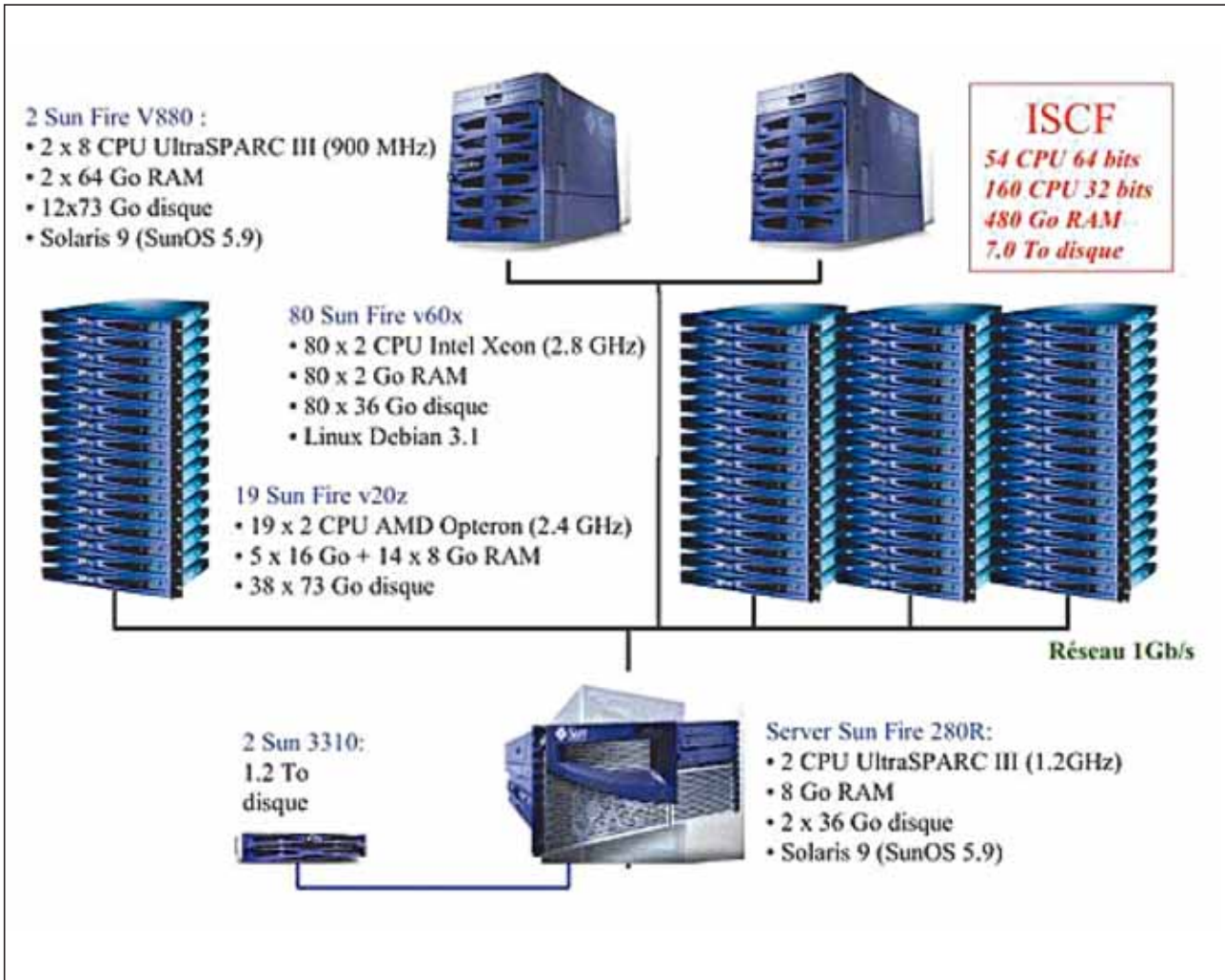


Рис. 4. Ресурсы ISCF

«Grid2Win» (<http://grid2win.gilda-forge.ct.infn.it>). ПО Grid2Win» является попыткой переноса общеизвестного ПО для ГРИД «gLite» на Windows-платформу.

«C-OMEGA» (The Grid for Industry, Commerce and Public: <http://www.c-omega.org>)



Проект «C-OMEGA» создан для разработки, интеграции и промышленного использования ГРИД сервисов в коммерческих интересах. В большей части проект является организационным и прямо связан с проектом INFN Grid.

**Австрия**

«AUSTRIAN GRID» (<http://www.austriangrid.at>)



Австрийский проект ГРИД организован с помощью Министерства по образованию, культуре и науке и направлен на развитие об-

щей инфраструктуры ГРИД в Австрии, разработку нового ПО для ГРИД и международного сотрудничества. Участниками проекта являются практически все основные научные центры Австрии, университеты, государственные службы.

**Болгария**

(BGrid <http://www.grid.bas.bg>)



В Болгарии ГРИД-консорциум образован при Институте параллельных вычислений Болгарской Академии наук. Занимается исследованиями параллельных вычислений и вопросами участия в различных европейских проектах. Полностью базируется на инфраструктуре указанного института.

**Ирландия**

(Grid-Ireland <http://www.grid.ie>)



Проект объединяет все крупные университеты и научно-исследова-

тельские центры Ирландии. Использует собственную высокопроизводительную сетевую инфраструктуру (Higher Education Authority Network – HEAnet). Основными потребителями являются научные сообщества, которые проводят фундаментальные исследования.

**Норвегия**

**(NORGRID)**

<http://www.norgrid.no>



Норвежский проект инициирован правительством и предназначен для скорейшего построения ГРИД-инфраструктуры Норвегии. Существующая инфраструктура базируется на вычислительных центрах основных университетов и правительства, а также подключена к европейским проектам EGEE и DEISA.

**Турция**

**(TR-Grid)**

<http://www.grid.org.tr>



В Турции создание ГРИД-инфраструктуры проходит в рамках программ университетов и академий, как основных центров развития инноваций и науки. Проект TR-Grid поддерживается государством и подключен к другим европейским проектам.

**Китай**

**(CNGrid)**

<http://www.cngrid.org/>



Национальный проект CNGrid в Китае инициирован и поддерживается правительством. Создан при активной поддержке и на решениях IBM. Является одним из наиболее крупных ГРИД-проектов и сетей в Юго-Восточной Азии. Официально используется университетами Китая для фундаментальных и прикладных исследований.

**Россия**

**RDIG [www.eu-rdig.org](http://www.eu-rdig.org)**



ГРИД-инфраструктура ОИЯИ функционирует в составе глобальной ГРИД-системы EGEE (Enabling Grids for E-sciencE) и проекта WLCG (World LHC Computing GRID), основной задачей которого является создание инфраструктуры региональных центров для обработки, хранения и анализа данных физических экспериментов LHC. ОИЯИ участвует в этом проекте с 2003 г., когда было подписано соглашение между ЦЕРН, Россией и ОИЯИ об участии в проекте LCG (впоследствии WLCG). В 2007 г. протестированы выделенные каналы связи между ОИЯИ и Tier1 центрами для экспериментов ATLAS, CMS и ALICE.

Ключевым моментом развития ГРИД в России является эволюция внешних телекоммуникаци-

онных каналов связи (Рис. 5). В настоящий момент ведутся работы по расширению канала Дубна – Москва до 10 Гбит/с (сейчас пропускная способность 1 Гбит/с). Сетевая информационно-вычислительная инфраструктура ОИЯИ – это распределенный программно-аппаратный комплекс, использующий специализированное программное обеспечение и многофункциональное оборудование. Ядром этой инфраструктуры является Центральный информационно-вычислительный комплекс (ЦИВК) ОИЯИ. Базисом инфраструктуры является локальная сеть ОИЯИ, объединяющая информационно-вычислительные ресурсы института в единую информационно-вычислительную среду. Ресурсы этой среды доступны для всех пользователей ОИЯИ, в том числе с использованием ГРИД-технологий. На ее основе через телекоммуникационные каналы связи осуществляется предоставление удаленного доступа в российские и зарубежные научные сети и обеспечение удаленного доступа к ресурсам института.

В 2007 г. производительность ЦИВК ОИЯИ существенно увеличена и содержит системы дисковых массивов объемом 56 ТБ. Ресурсы ЦИВК используются участниками экспериментов E391A (KEK), COMPASS, D0, DIRAC, HARP, CMS, ALICE, ATLAS, HERAb, H1, NEMO, OPERA, HERMES, CBM, PANDA и др. для моделирования физических процессов и анализа экспериментальных данных. Предусмотрено наращивание производительности ЦИВК ОИЯИ и систем хранения данных для обеспечения потребностей обработки данных для LHC экспериментов и других экспериментов с участием ОИЯИ; развитие и сопровождение базового программного обеспечения.

Состав вычислительных ресурсов: 53 сервера, 7 узлов. 60 четырехядерных узла, Xeon 5150, 8GB RAM; 6 двухядерных, Athlon, 2GB RAM, Mirynet. Используемые ОС: Scientific Linux 4.4, Scientific Linux CERN 4.5; Middleware – gLite-3.1. Файловая система – AFS (the Andrew File System) Система регистрации пользователей – Kerberos 5 (AFS use Kerberos 5).

**Резюме**

Существующая ситуация вокруг развития ГРИД в мире показывает, что инициатива, поддержка и развитие ГРИД-инфраструктур в мире происходит при активном участии государства. Такая работа проводится либо специально создаваемыми межведомственными комитетами, либо одним из министерств.

Важным моментом является тот факт, что во всех случаях сама сеть ГРИД создается на базе и инфраструктуре университетов и научно-исследова-

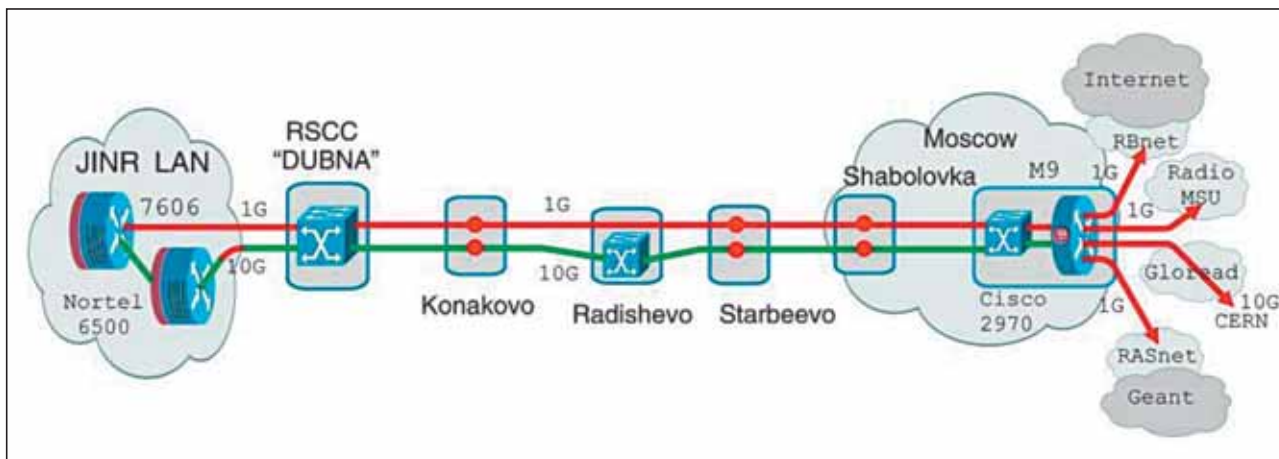


Рис. 5. Сеть JINR

тельских центров. Это позволяет достичь максимальной эффективности в научной деятельности, общем развитии материальной базы и процессе обучения.

### Распределение сил в мире ГРИД

Два гиганта — Америка и европейский ГРИД-союз — успешно работают и развиваются. К американской системе подключаются канадская, латиноамериканская ГРИД-сети, а в европейском союзе основные силы представляют Великобритания и Германия.

К сожалению, Россия в области ГРИД практически на последнем месте. При наличии значительного числа крупных вычислительных центров, с установленными в них суперкомпьютерами, а также при имеющейся серьезной научной школе тематика ГРИД выражена лишь опосредованным участием в общеевропейском проекте для большого коллайдера.

На сегодня основной задачей для России должно стать активное участие государства в развитии общенациональной системы ГРИД, утверждением и распространением концепции развития этой тематики. И медлить здесь нельзя.

# Принципы оценки финансовых показателей ГРИД-систем

Куланов С.А.

## Введение

Термин ГРИД стал использоваться с середины 90-х годов для обозначения некоторой инфраструктуры распределенного компьютеринга, предлагаемой для обслуживания передовых научных и инженерных проектов. Одни понимают под ГРИД-системой географически распределенную инфраструктуру, объединенную в единую вычислительную сеть или «мегакластер», другие – коллаборационную среду, состоящую из совокупности виртуальных организаций (ВО) и им принадлежащих ресурсов (сетевых, вычислительных и т.д.) [1]. На наш взгляд, наиболее точно определить ГРИД можно как систему,

связанную с функциями интеграции, виртуализации и управления службами и ресурсами в распределенной гетерогенной среде, которая поддерживает совокупность пользователей и ресурсов (виртуальные организации) на совокупности традиционных административных и организационных доменов (фактических организаций) [2] (*перевод [1] см. на сайте <http://gridclub.ru>*).

За время эволюции информационных технологий сама ГРИД не обособилась в отдельную сетевую вычислительную структуру, а напротив, за счет существующих прогрессивных технологий (протоколов) расширила области практического применения далеко за рамки чисто научных расчетов (см. Рис. 1) и из сферы e-Science перешла в e-Business.

Именно благодаря своей компонентной архитектуре и требованиям к существующим протоколам не составляет особого труда «развернуть» ГРИД-кластер в рамках отдельных организаций и

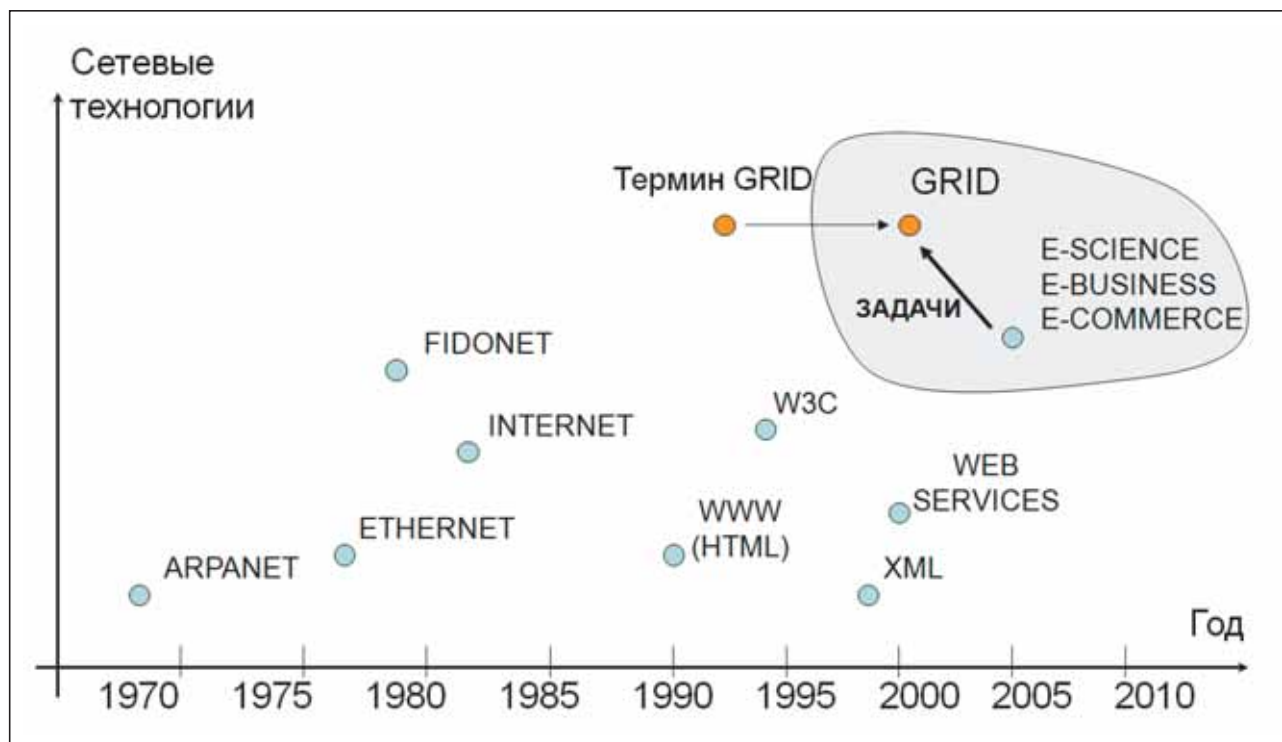


Рис.1. Эволюция сетевых технологий



осуществлять его дальнейшее расширение за счет присоединения дополнительных ресурсов.

Однако возникает вопрос о целесообразности, обоснованности и финансовой выгоде, которую можно получить от использования ГРИД-кластера при сдаче вычислительных мощностей в аренду. Как оценить рентабельность и производительность ГРИД-кластера? Как соотносить эти два параметра?

### Структура ГРИД

Рассмотрим структуру ГРИД-системы на уровне виртуальных организаций (Рис.2). ГРИД состоит из совокупности ресурсов (сетевых, вычислительных и т.д.) объединенных в виртуальные организации. Виртуальная организация (*Virtual Organization – VO*) является динамическим сообществом людей и/или учреждений, которые совместно используют вычислительные ресурсы в соответствии с согласованными между ними правилами. Эти правила регулируют доступ ко всем типам средств, включая компьютеры, программное обеспечение и данные [3].

Таким образом, для доступа к распределенной системе вне зависимости от роли участника (пользователь или вычислительный узел, «производитель/потребитель») необходимым условием является принадлежность к той или иной виртуальной организации. На Рис. 2 пользователь userA и

вычислительный узел hostA не могут получить доступ к системе, не являясь членами ВО, поэтому необходимо присоединиться (зарегистрироваться) к одной из существующих ВО (например, ВО А и ВО Б) или создать свою собственную, регламентировав отношения с ВО А и ВО Б.

На основании структуры системы (Рис.2) необходимо выделить три основных позиции, которые влияют на методы оценки финансовых показателей ГРИД:

- 1). Виртуальные организации не обозначают владение ресурсами, определенными в рамках их функционирования, они лишь устанавливают правила взаимодействия. Т.е. в рамках ВО ресурсы могут принадлежать разным финансовым учреждениям.
- 2). Виртуальная организация владеет полной информацией о количестве ресурсов и пользователей, зарегистрированных в ней, однако не гарантирует их доступность и актуальность.
- 3). Один и тот же GRID-ресурс может использоваться несколькими виртуальными организациями.

Таким образом, финансовые отношения, которые могут быть определены в рамках виртуальной организации, возможно описать только статическими моделями, что в свою очередь не позволяет определить динамику развития как системы в целом, так и ее отдельных частей.

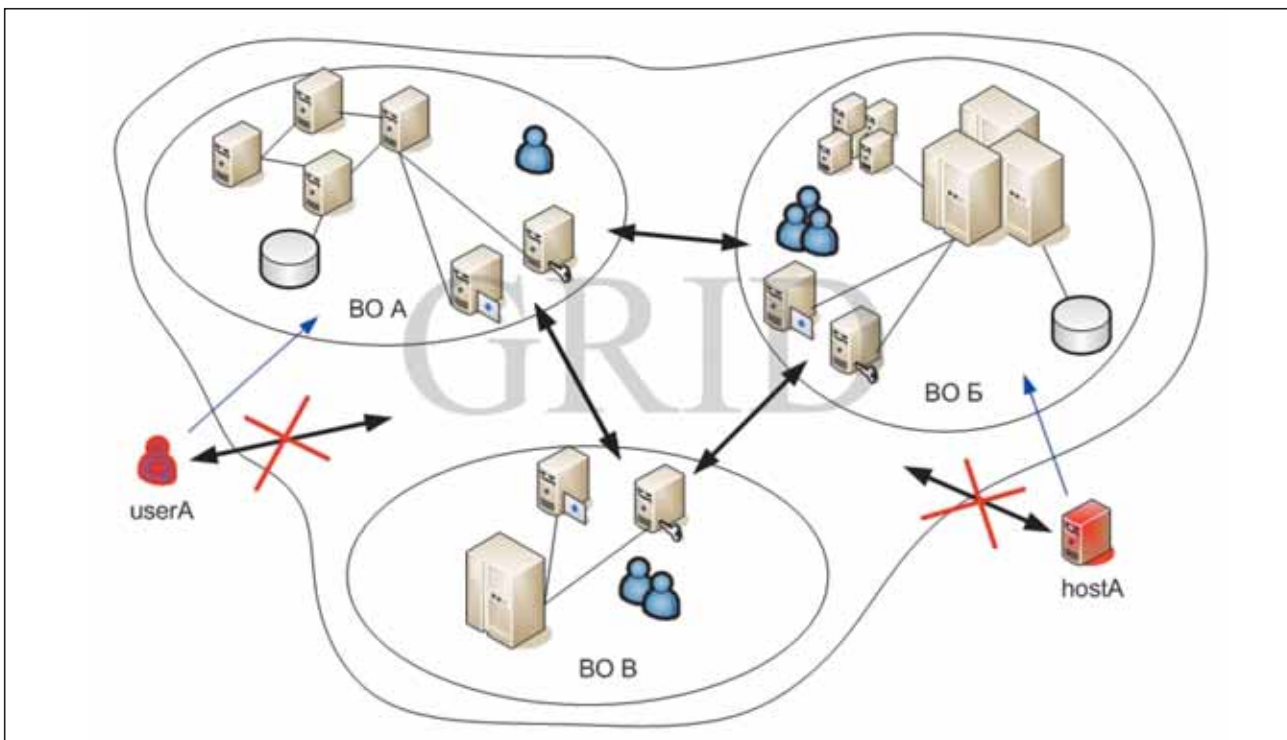


Рис.2. Структура ГРИД

## Вертикальная и горизонтальная архитектура ГРИД

Для более четкого понимания структуры ГРИД-системы и построения ее детальной модели необходимо рассмотреть архитектуру ГРИД, обозначить ее отличие от высокопроизводительного кластера, суперкомпьютера или массива параллельных процессоров.

Для того чтобы определить функциональные и структурные отличия, целесообразно произвести декомпозицию ГРИД-системы в двух «плоскостях»:

- вертикальная архитектура;
- горизонтальная архитектура.

С точки зрения вертикальной архитектуры, ГРИД представляет собой стек протоколов, основанных на Интернете (Рис. 3) [4], поэтому необходимым условием присоединения ресурса является поддержка этих протоколов.

На сегодня практически любой вычислительный ресурс может быть подключен к глобальной сети, поэтому при построении модели ГРИД-системы считаем это условие выполненным и не будем учитывать нижележащие протоколы. Более подробно о назначении каждого уровня можно ознакомиться в [4].

Под горизонтальной архитектурой будем понимать совокупность сервисов, размещенных на уровне приложений (Application) (Рис.4).

Для организации взаимодействия в рамках ГРИД-системы на этом уровне реализованы сервисы удаленного доступа:

- запуска заданий;
- пересылки файлов;
- мониторинга задач;

- авторизации и аутентификации;
- и т.д.

По мере развития сети Интернет с появлением технологии веб-сервисов [5] для достижения универсальности и повышения интероперабельности компонентов большинство функций в ГРИД-системе реализовано в виде сервисов (Рис. 4). Основным стандартом, описывающим сервис-ориентированную архитектуру ГРИД-системы, является Open Grid Services Architecture (OGSA) [6], которая определяет основные службы, функционирующие на уровне приложений и необходимые для построения ГРИД:

- Execution Management services (исполнительная подсистема);
- Data services (службы для работы с данными);
- Resource Management services (службы управления ресурсами);
- Security services (службы обеспечения безопасности);
- Information services (службы мониторинга и информации);
- Self-management services (службы самоуправления).

Зачастую последняя группа служб (Self-mangement) интегрируется в оставшиеся пять и в явном виде стандарт не требует ее отдельной реализации в ГРИД.

Чтобы понять, как отмеченные выше сервисы повлияют на предложенную ниже модель ГРИД-системы, необходимо рассмотреть их роль и функциональную зависимость на примере конкретных программных комплексов. Существует большое количество проектов и решений в области ГРИД,

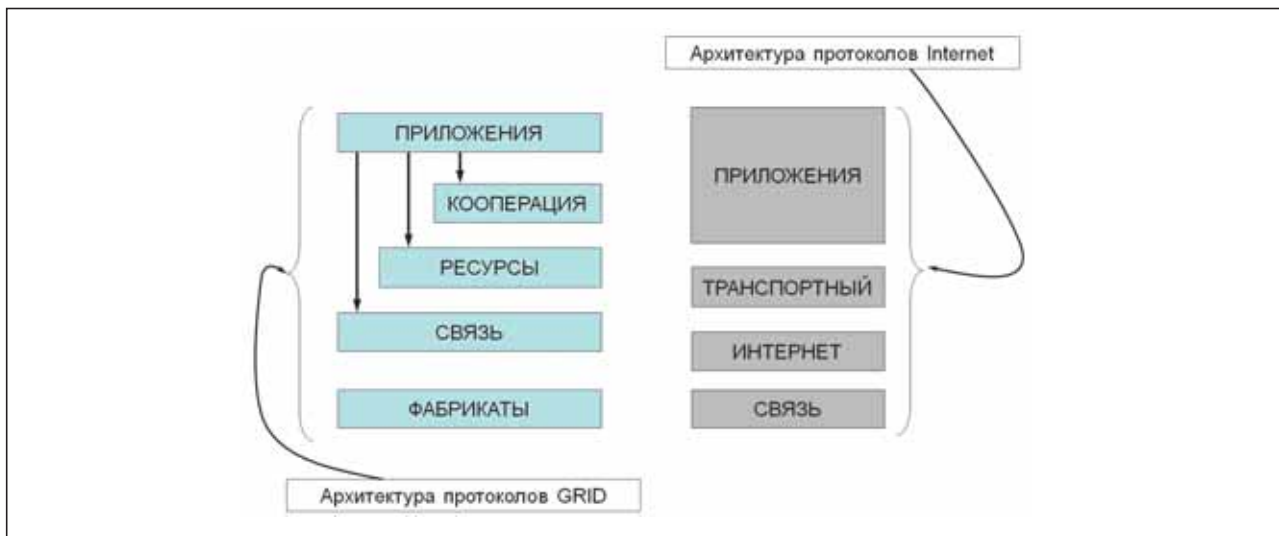


Рис. 3. Вертикальная архитектура ГРИД и Интернет

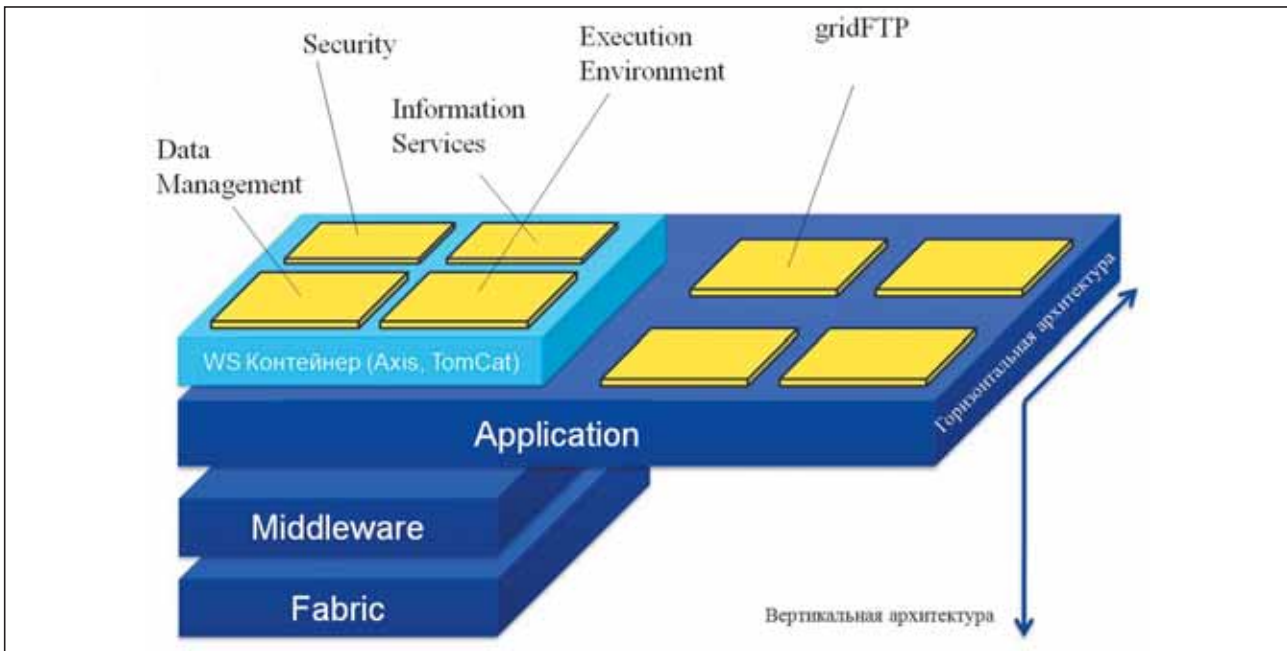


Рис. 4. Вертикальная и горизонтальная архитектура ГРИД

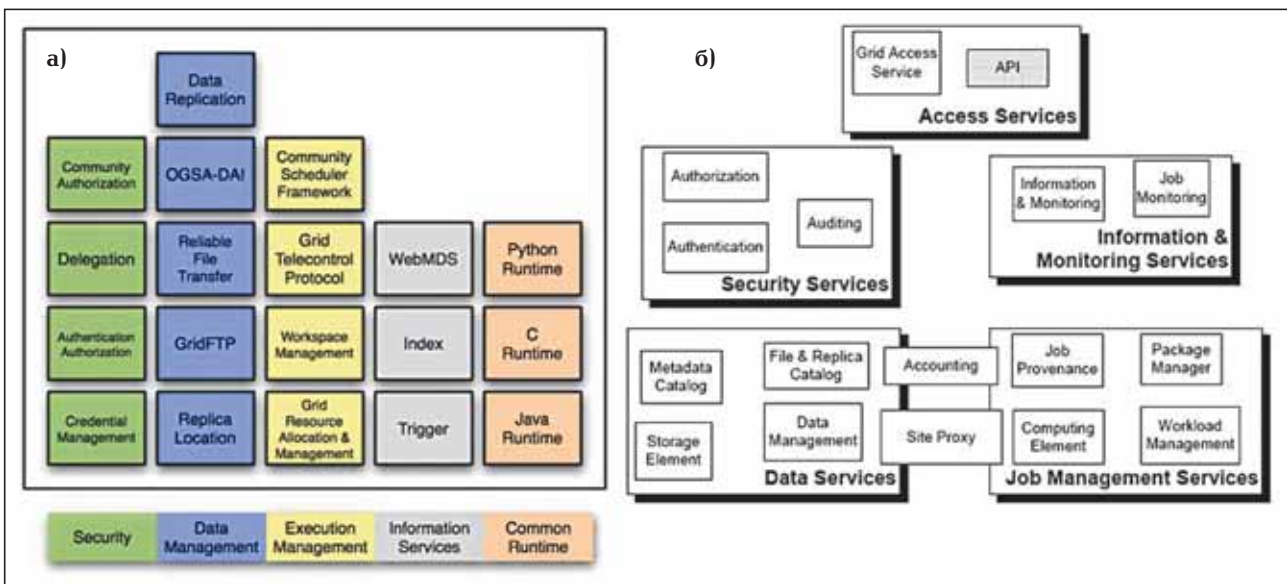


Рис. 5. ГРИД-службы: а) в Globus; б) в gLite

реализующих методы и разрабатывающих инструментальные средства имплементации ГРИД-систем. Рассмотрим два программных продукта – Globus [7], который стал стандартом де-факто и признан [8] многими мировыми производителями компьютерной индустрии: IBM, SGI, Sun Microsystems, Fujitsu, Hitachi, NEC, Veridian, Entropia, Platform Computing Inc, Microsoft, Compaq и gLite [9], распространение которого начато в рамках европейского проекта EGEE (Enabling Grids for E-Science) [10].

На Рис. 5 приведены рассмотренные выше группы служб, формирующие ядро ГРИД, которые

в свою очередь состоят из набора отдельных сервисов, реализующих функциональность своей группы (на примере Globus и gLite).

Таким образом, любая вычислительная единица или ресурс (кластер, отдельный компьютер, сервер баз данных и т.д.), подключающийся к ГРИД, должен:

- 1) поддерживать вертикальную и горизонтальную архитектуру ГРИД;
- 2) принадлежать к одной или более группам служб (стандарт не оговаривает и не устанавливает ограничения на количество служб, установленных на одном компьютере, един-

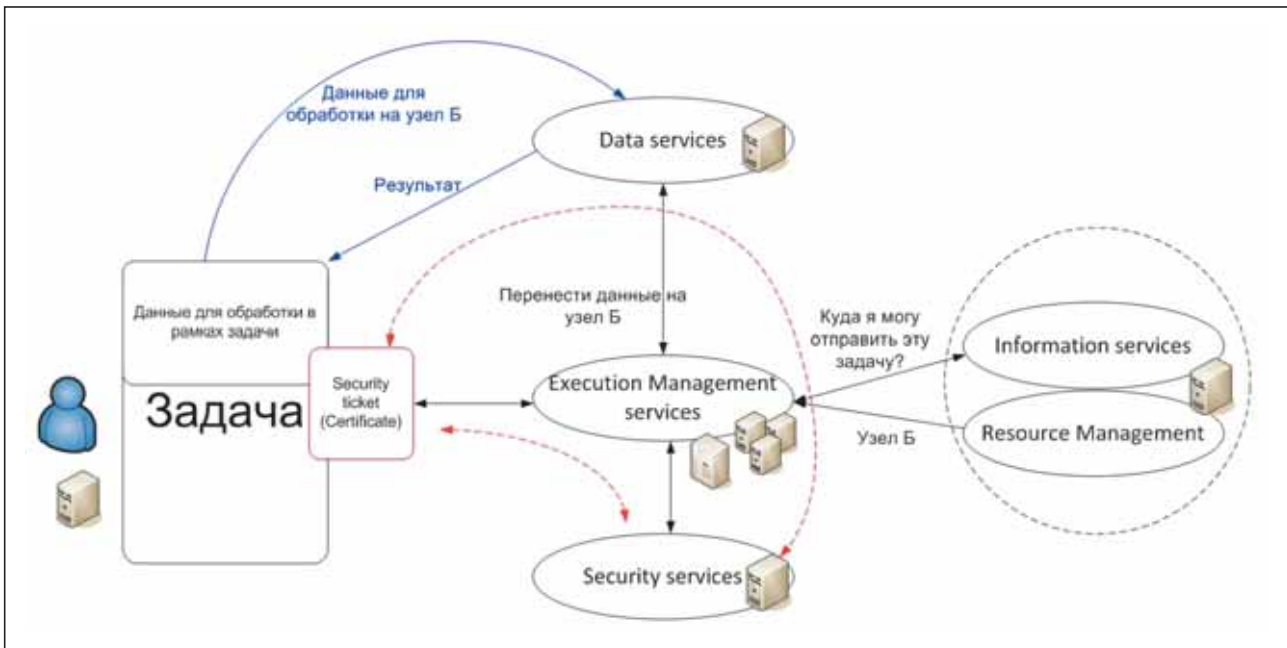


Рис.6. Общий алгоритм решения задачи в рамках ГРИД

ственное ограничение — это снижение производительности);

- 3) зарегистрироваться в ВО, в рамках которых он будет функционировать (узел может функционировать в рамках нескольких виртуальных организаций, зачастую используется именно такой подход).

Общий алгоритм взаимодействия пользователей и сервисов в рамках ГРИД (Рис.6) следующий (подробная информация приведена в документации к программному обеспечению, например [9, 11]):

1. Аутентификация пользователя с помощью механизма сертификатов.
2. Пользователь формирует задачу, которая состоит из исполнительных файлов и данных для обработки.
3. Пользователь отправляет задачу на выполнение, используя сервисы среды исполнения.
4. Среда исполнения в свою очередь определяет и находит, с помощью информационных сервисов, вычислительные ресурсы, необходимые для решения задачи.
5. После определения подходящего узла (или совокупности узлов) сервисы исполнения дают указание службам управления данными поместить необходимые файлы для обработки на найденный узел.
6. После выполнения расчетов результат возвращается пользователю.

Следует также понимать, что все сервисы, необходимые для реализации ГРИД-системы, мож-

но физически разместить на одном компьютере (на одном процессоре) или, например, часть реализовать на одном компьютере, а остальные — на другом. Такой подход абсолютно не приемлем, так как производительность узла падает пропорционально количеству реализуемых им сервисов (ролей), поэтому в реальных ГРИД один и тот же сервис, может быть продублирован на нескольких физически раздельных компьютерах.

Очевидно, что с увеличением количества узлов, выполняющих одну и ту же роль, повышается производительность как отдельных частей ГРИД-системы, так и всего окружения в целом. Однако с увеличением ресурсов увеличиваются и финансовые затраты на введение новой единицы техники, связанные с ее обслуживанием и дальнейшим сопровождением.

Таким образом, возникает актуальная задача оптимального развития ГРИД, заключающаяся в минимизации затрат на сопровождение инфраструктуры, с одной стороны, и повышения производительности — с другой. Предложенная нами упрощенная модель оценки стоимости и производительности ГРИД-системы позволяет:

- выбрать оптимальное количество узлов для получения наибольшей прибыли;
- рассчитать эксплуатационные затраты, связанные с необходимостью поддержки требуемого уровня пропускной способности;
- рассчитать производительность ГРИД-системы, которую можно обеспечить на основе имеющихся денежных средств.

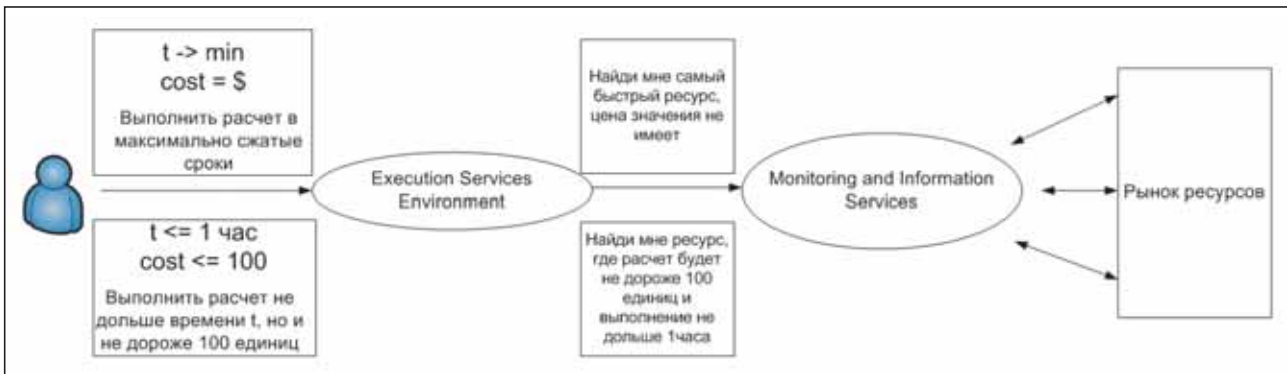


Рис. 7. Формализация процесса торговли ресурсами

### Экономическая парадигма ГРИД-вычислений

С расширением сферы применения ГРИД-технологий до e-Commerce и e-Business достаточно актуальной стала идея продажи ресурсов, сдачи их в аренду или получения прибыли от вычислений, проводимых третьей стороной. Существует довольно большое количество публикаций и исследований, направленных на разработку и анализ распределения ресурсов в ГРИД-системах, с использованием экономического подхода [12-16] или получение прибыли от предоставления ресурсов.

При экономическом подходе благодаря интероперабельности и масштабируемости ГРИД не изменяет свою структуру, а наоборот расширяет ее за счет введения дополнительных сервисов, отвечающих за так называемую торговлю ресурсами. Расширение производится на уровне информационных сервисов и сервисов мониторинга, а также за счет введения дополнительных механизмов описания стоимостных показателей (Рис.7).

При формировании требований, предъявляемых к решению задач, могут использоваться более сложные условные формы, чем стоимость и время обслуживания (Рис. 7). В частности, могут вводиться требования к надежности и достоверности полученных результатов, тогда в ГРИД-окружении принимаются решения о привлечении дополнительных ресурсов (дублирующих) для повышения надежности и диверсности полученных результатов и их последующий анализ. Все эти характеристики могут формировать (увеличивать или снижать) стоимость выполнения задачи ГРИД.

### Модель ГРИД

Исследования и методики, приведенные в [12-16], не учитывают стохастическую природу как потоков задач в ГРИД, так и обслуживающих сервисов. Очень часто решение о выделении ресурсов на вы-

полнение той или иной задачи формируется на этапе ее постановки, в то время как эти ресурсы уже были распределены между другими задачами, имеющими более низкий приоритет. Кроме того, возникают ситуации, когда для решения задач выделено больше ресурсов, чем можно было бы для поддержания соответствующего уровня сервиса, в результате чего уменьшается прибыль вследствие сдачи «лишних» узлов.

На основе структуры (Рис. 2) и горизонтальной архитектуры (уровень приложений) ГРИД-системы (Рис. 4) разработана модель ГРИД с использованием математического аппарата теории массового обслуживания (ТМО), которая учитывает характер потока заявок, поступающих в систему и интенсивность обработки задач. Данная модель позволяет рассчитать оптимальный по стоимости ГРИД-кластер, удовлетворяющий требованиям входящего потока задач.

Для наглядной демонстрации предложенного подхода построим упрощенную модель ГРИД-окружения и механизм денежного потока (Рис.8).

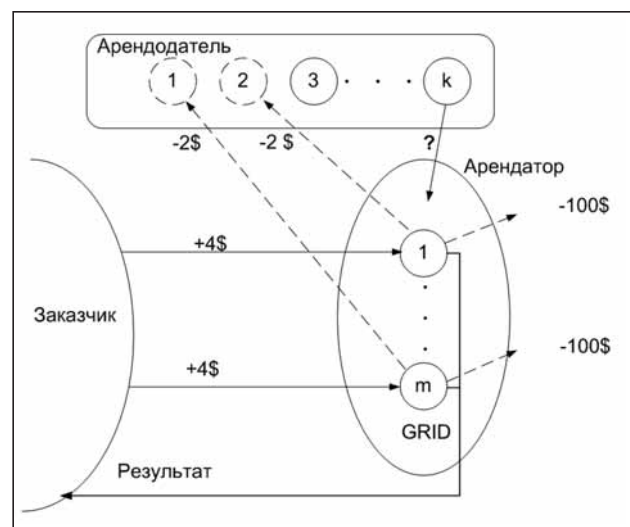


Рис. 8. Механизм денежного обращения

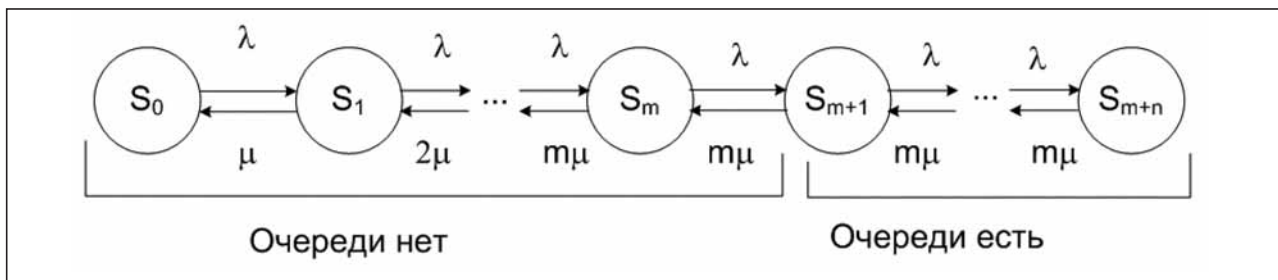


Рис. 9. Граф функционирования СМО типа M/M/m/n

Согласно приведенной модели, в рамках финансовых отношений существует три субъекта:

- заказчик (пользователи, реализующие свои задачи);
- арендатор (субъект, содержащий ГРИД-кластер, состоящий из  $m$  вычислительных узлов);
- арендодатель (субъект, располагающий некоторым количеством ресурсов, сдаваемых в аренду).

Пусть количество вычислительных узлов  $m$  и в среднем в систему поступает  $\lambda = 8$  заявок в день, при этом поток заявок носит пуассоновский характер [17, 18]. Среднее значение количества задач в рамках заявки  $Sz = 5$  (при норме обслуживания узлом 7 задач в день) следовательно, интенсивность обслуживания одного узла составит  $\mu = 7/5 = 1,4$  заявок в день. Для того чтобы исключить невыполнение обработки заявок в срок, система не принимает новые задачи, если ее очередь уже составляет  $n = 6$  заявок. За каждую выполненную задачу арендодатель получает 2 ден. ед., а также 100 ден.ед. ежемесячно с каждого узла, сданного в аренду (техническая поддержка, оплата электроэнергии и т.д.). При этом заказчик платит за каждую выполненную задачу по 4 ден.ед. (входные параметры предложенной модели для наглядности взяты из примера в [17]). Необходимо вычислить основные характеристики ГРИД-кластера (пропускная способность, производительность и т.д.), определить наиболее оптимальное количество вычислительных узлов, необходимых для получения максимальной прибыли арендатором от выполнения потока задач с заданной характеристикой.

Наиболее удобно и целесообразно рассмотреть описанную выше модель в виде многоканальной системы массового обслуживания (СМО) с ограниченной очередью [18].

Пусть на вход СМО, состоящей из  $m$  каналов обслуживания, поступает пуассоновский поток заявок с интенсивностью  $\lambda$ . Интенсивность обслуживания заявки каждым каналом равняется  $\mu$ , а мак-

симальное число мест в очереди равняется  $n$ . Граф состояний и переходов такой системы представлен на Рис. 9.

В СМО такого типа в очереди может находиться не более  $n$  заявок, т.е.  $n+1$  заявка отклоняется. Согласно принятым допущениям, поток заявок – пуассоновский, время обработки – случайная величина, распределенная по экспоненциальному закону, поэтому, согласно нотации Кендалла [18], ГРИД-системы можно рассматривать как СМО типа  $M/M/m/n$  (где  $M$  – экспоненциальное распределение,  $m$  – количество обслуживающих устройств,  $n$  – длина очереди ожидания). Таким образом, мы имеем СМО типа  $M/M/4/6$ , где  $\lambda = 8$  и  $\mu = 1,4$  заявок в день, по условию.

Следовательно, для такого типа СМО нагрузка на ГРИД-систему вычисляется по формуле (1) [17]:

$$\rho = \frac{\lambda}{m \cdot \mu}, \tag{1}$$

где  $\lambda$  – интенсивность потока заявок,  $\mu$  – интенсивность обслуживания потока одним узлом,  $m$  – количество узлов.

Вероятность простоя такой системы вычисляется по формуле (2) [18]:

$$P_0 = \left[ \sum_{i=0}^m \frac{(m\rho)^i}{i!} + \frac{(m\rho)^{m+1}}{m \cdot m!} \cdot \frac{1 - \rho^n}{1 - \rho} \right]^{-1}, \tag{2}$$

а вероятность отказа в обслуживании [18] в нашем случае (3):

$$P_{отк.} = \frac{(m\rho)^{m+n}}{m^n \cdot m!} \cdot P_0, \tag{3}$$

где  $m$  – количество каналов обслуживания,  $n$  – размер очереди.

Достаточно важным показателем, который необходим при анализе системы, является средняя длина очереди, вычисляемая по формуле (4) [18]:

$$q = \frac{(m\rho)^{m+1} \cdot P_0}{m \cdot m!} \cdot \frac{1 - (n+1)\rho^n + n\rho^{n+1}}{(1 - \rho)^2}. \tag{4}$$

$m$	$\rho$	$P_0$ ( $10^{-6}$ )	$P_{отк}$ ( $10^{-2}$ )	$P_{обсл}$ ( $10^{-2}$ )	$q$ ( $10^{-2}$ )	$U$ ( $10^{-2}$ )	$S$	$K$	$\gamma$	$\omega$ ( $10^{-2}$ )	$t$
1	5,71	0,4	82,5	17,5	5,79	100	1	6,79	1,4	413	4,85
2	2,86	7,3	65	35	5,46	99,9	1,999	7,46	2,8	195	2,67
3	1,9	32,1	47,7	52,3	4,94	99,7	2,99	7,93	4,19	118	1,89
4	1,43	82,7	31,2	68,8	4,1	98,3	3,93	8,03	5,5	75	1,46
5	1,14	154	17,6	82,4	2,99	94,3	4,72	7,71	6,6	45	1,17
6	0,95	225	8,1	91,9	1,86	87,5	5,25	7,11	7,35	25	0,97
7	0,82	277	3,2	96,8	1,0	79	5,53	6,53	7,74	12	0,84
8	0,71	306	1,1	98,9	0,48	70,6	5,65	6,13	7,91	6	0,78
9	0,64	320	0,38	99,6	0,22	63,3	5,69	5,91	7,97	3	0,74
10	0,57	326	0,12	99,9	0,09	57,1	5,71	5,8	7,99	1	0,73
11	0,52	328	0,03	99,9	0,04	51,9	5,71	5,75	7,99	0,5	0,72
12	0,48	329	0,01	99,9	0,01	47,6	5,71	5,73	7,99	0,2	0,72

Таблица 1. Основные характеристики ГРИД-системы для различного количества обслуживающих узлов

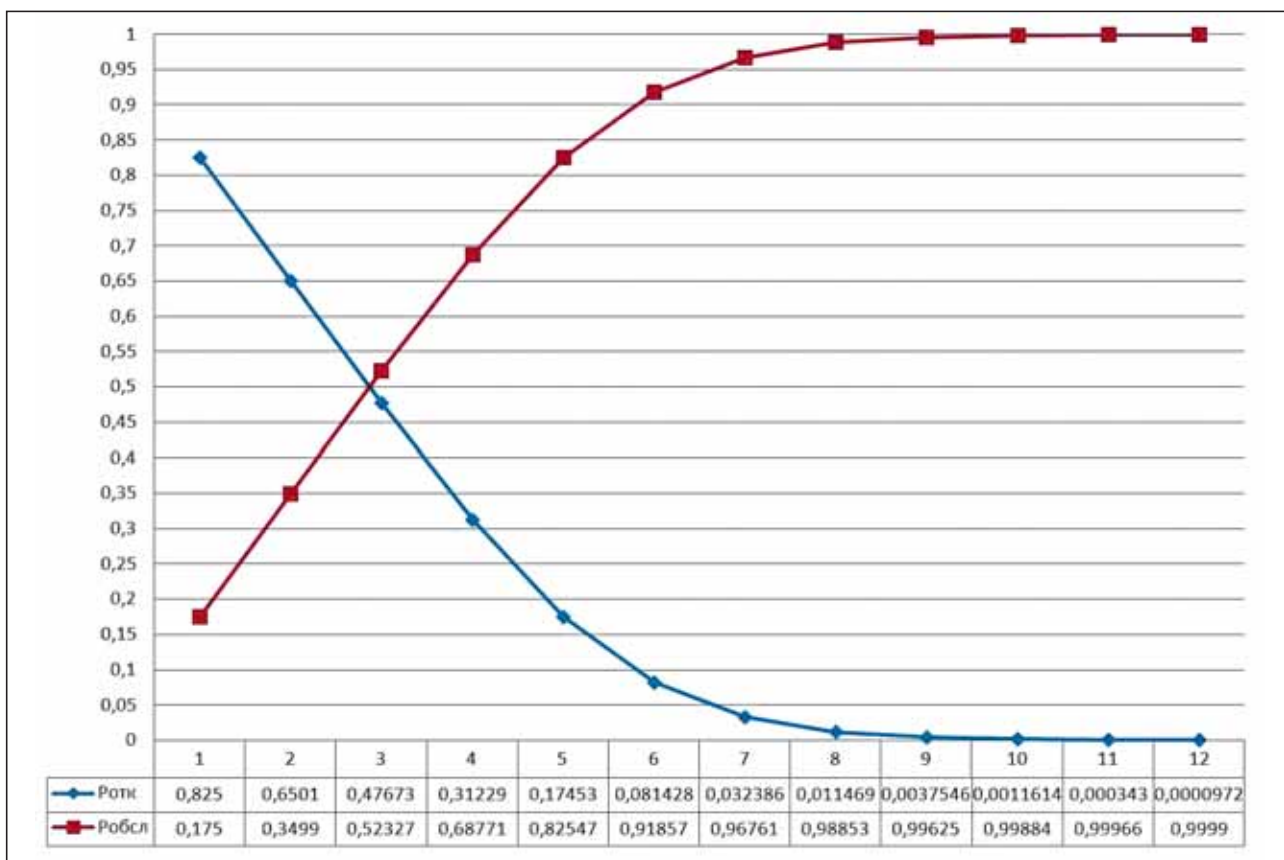


Рис. 10. График зависимости вероятностей  $P_{обсл}$  и  $P_{отк}$  от количества узлов  $m$

### Проведение вычислений

Проведем вычисления согласно формулам (2)-(4), когда в системе изменяется количество вычислительных узлов (ГРИД-узлов для обработки задач), т.е.  $m = 1:12$ . Полученные расчеты занесем в таблицу для дальнейшего анализа (Табл. 1). Основные вычислительные параметры в таблице следующие:  $\rho$  – нагрузка на кластер,  $P_0$  – вероятность простоя системы,  $P_{отк}$  – вероятность отказа в обслуживании,  $P_{обсл}$  – вероятность обслуживания,  $q$  – среднее количество заявок, ожидающих выполнения,  $U$  – коэффициент загрузки,  $S$  – среднее число за-

нятых каналов,  $k$  – среднее число заявок в СМО,  $\gamma$  – пропускная способность,  $\omega$  – среднее время пребывания заявки в очереди,  $t$  – среднее время пребывания заявки в СМО.

Для наглядности построим график зависимости вероятности обслуживания  $P_{обсл}$  и  $P_{отк}$  от количества эксплуатируемых узлов (Рис.10). Нетрудно заметить, что с увеличением количества узлов вероятность получения отказа в обслуживании падает, однако с вводом в эксплуатацию дополнительного компьютера увеличиваются расходы на техническое сопровождение.

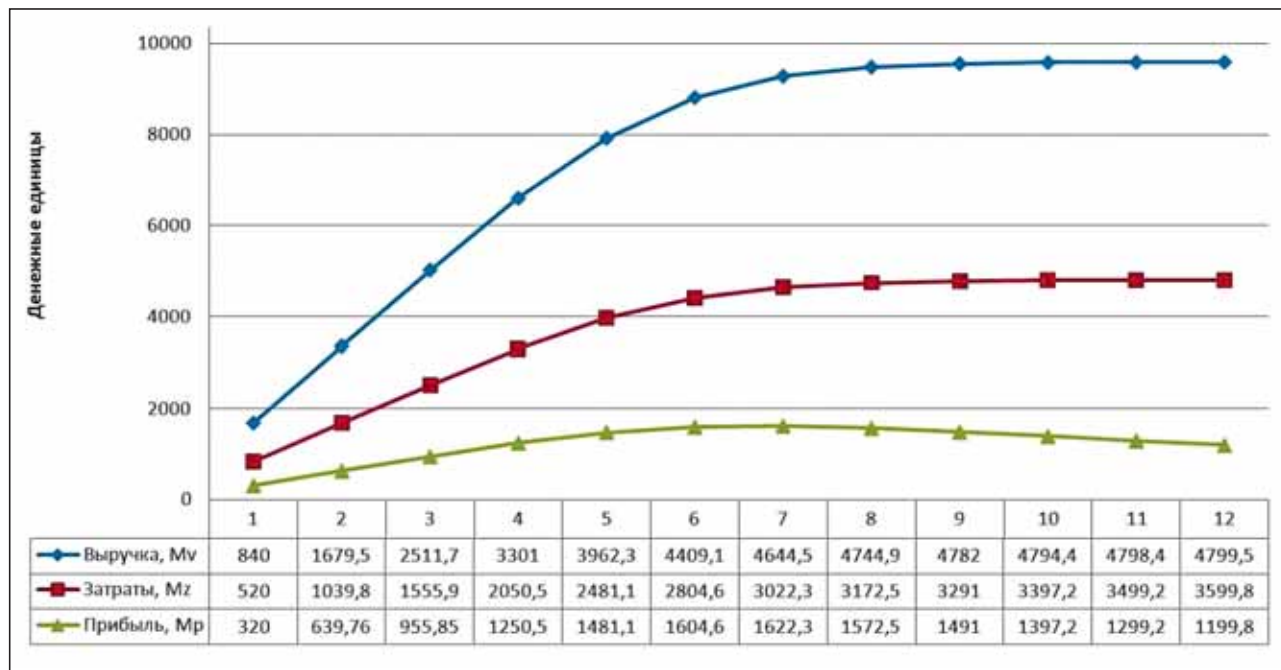


Рис.11. Динамика изменения прибыли от количества узлов

Произведем расчет прибыли  $M$  на основе полученных характеристик ГРИД-системы, который будет составлять разницу между выручкой (доходом)  $M_v$  и выплатами за аренду (расходами)  $M_a$ :

$$M = M_v - M_a \quad (5)$$

Средняя выручка за месяц составит:

$$M_v = \gamma_m \cdot S_z \cdot M_{dv} \cdot T, \quad (6)$$

где  $\gamma_m$  – среднее количество выполняемых задач в день  $\gamma_m = \lambda \cdot P_{обсл}$  для количества узлов  $m$ . (Табл.1);

$S_z$  – среднее количество задач в заявке (по условию  $S_z = 5$ );

$M_{dv}$  – цена за выполнение одной задачи для заказчика  $M_{dv} = 4$  ден.ед. по условию.

$T$  – количество рассчитываемых дней  $T = 30$ .

Средние издержки, выплачиваемые за аренду узлов в месяц, составят:

$$M_a = \gamma_m \cdot S_z \cdot M_{da} \cdot T, \quad (7)$$

где параметры аналогичны (6),  $M_{da}$  – арендная стоимость за задачу,  $M_{da} = 2$  по условию.

Также необходимо учесть ежемесячные отчисления в размере 100 ден.ед., выплачиваемые каждым узлом, тогда:

$$M_a = (\gamma_m \cdot S_z \cdot M_{da} \cdot T) + m \cdot 100. \quad (8)$$

Таким образом, согласно (5), (6) и (8), для  $m = 4$  имеем:

$$M_v = 5,5 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 30 = 3300$$

$$M_a = 5,5 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 30 + 4 \cdot 100 = 2050$$

$$M = M_v - M_a = 3300 - 2050 = 1250$$

Определим количество узлов, при котором прибыль  $M$  будет максимальной, для этого выполним вычисления согласно (5), (6), (8) для  $m = 1:12$ . Полученный результат занесем в таблицу 2. Динамику изменения прибыли в зависимости от количества арендованных узлов отобразим на графике (Рис.11).

Анализ результатов расчетов показывает, что наибольшая прибыль составляет 1622 ден.ед. при  $m = 7$ , однако следует отметить, что при увеличении количества узлов, прибыль, получаемая арендодателем с каждого сданного узла по отдельности уменьшается (см. (8) параметр  $m$  и  $\gamma_m$ ) и составляет:

$$M_u = \frac{M_a}{m} \quad (9)$$

Динамика изменения прибыли на один узел  $M_u$  с увеличением узлов  $m$  (Табл. 2) приведена на Рис. 12.

Очевидно, что такой порядок дел не устраивает арендодателя, когда при сдаче очередного узла, доход на каждый отдельный узел уменьшается. Поэтому арендатор вынужден удерживать уровень выплат на отметке 520 ден.ед. за каждый новый узел, вводимый в эксплуатацию. С учетом внесенных замечаний сделаем перерасчет прибыли  $M$  при  $M_{const} = 520$  для  $m = 1:12$ , тогда:



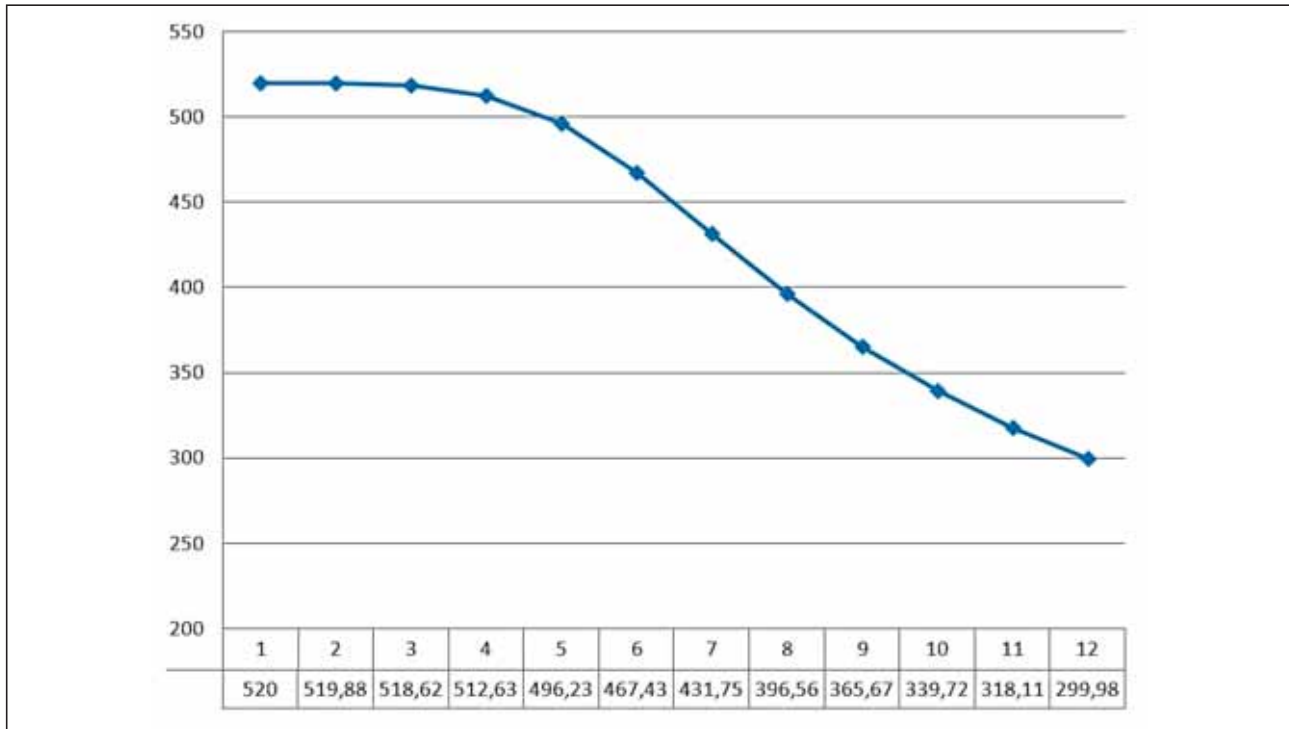


Рис.12. Прибыль арендодателя на каждый узел с увеличением  $m$

Кол-во узлов $m$	Выручка, $M_v$	Расходы $M_o$	Прибыль $M$	Оплата каждому узлу, $M_u$	Прибыль при $M_{const}=520$ , $M(520)$
1	840	520	320	520	320
2	1679,5	1039,8	639,76	519,88	639,46
3	2511,7	1555,9	955,85	518,62	951,66
4	3300	2050	1250	512,5	1221,02
5	3962,3	2481,1	1481,1	496,23	<b>1362,35</b>
6	4409,1	2804,6	1604,6	467,43	1289,08
7	4644,5	3022,3	<b>1622,3</b>	431,75	1004,45
8	4744,9	3172,5	1572,5	396,56	584,88
9	4782	3291	1491	365,67	102,03
10	4794,4	3397,2	1397,2	339,72	-405,6
11	4798,4	3499,2	1299,2	318,11	-921,59
12	4799,5	3599,8	1199,8	299,98	-1440,54

Таблица 2. Изменение прибыли при увеличении количества обслуживающих узлов

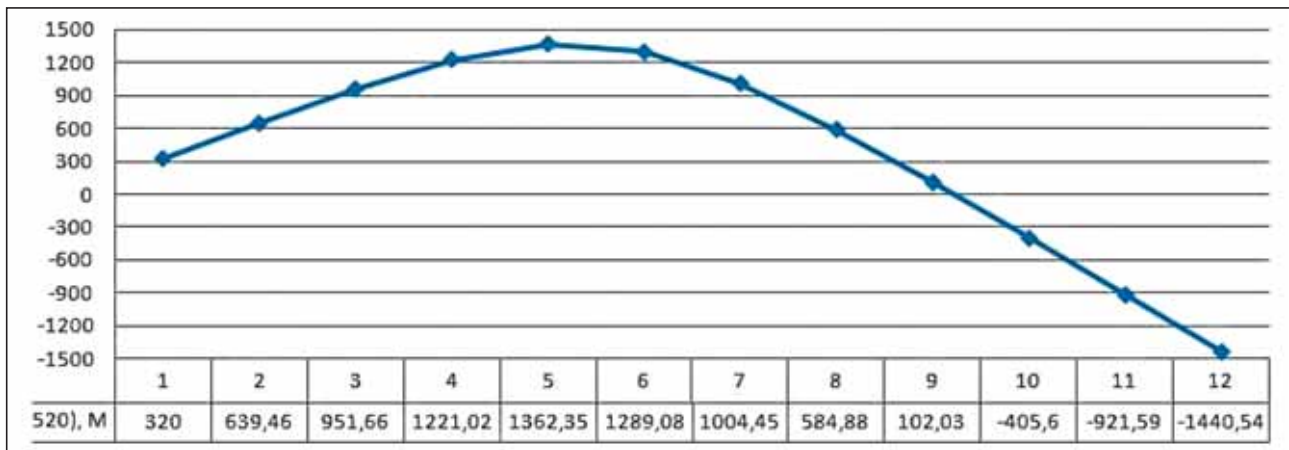


Рис. 13. График зависимости прибыли арендатора от количества узлов и с учетом поддержки выплат на уровне 520 ден.ед.

$$M(520) = M_v - (M_a + (520 - M_u) \cdot m) \quad (10)$$

Полученные результаты занесем в таблицу 2.

На основании полученных результатов (10) построим график зависимости прибыли арендатора от количества узлов и с учетом поддержки выплат на уровне 520 ден.ед. (Рис. 13).

Таким образом, при увеличении количества узлов увеличивается прибыль, которая достигается за счет уменьшения отказов и повышения пропускной способности. Еще одним преимуществом является снижение времени выполнения задачи, например при  $m = 4$ ;  $t = 1,46$  дня, а при  $m = 6$ ;  $t = 0,967$  дня.

Негативной стороной увеличения количества узлов является потеря арендодателем прибыли при сдаче очередного узла в аренду, при  $m = 1$  он получает 520 ден.ед. за узел, а при  $m = 7$  получает 431,75 ден.ед. с каждого узла.

С учетом поддержания выплат на уровне 520 ден.ед. был сделан перерасчет, поэтому наиболее выгодным соотношением «цена/производительность» является  $m = 5$  узлов, при этом прибыль арендатора составит 1362,35 ден.ед.

## Заключение

Приведенная выше модель ГРИД-системы имеет довольно большое количество допущений, поэтому использовать такой подход можно на ограниченных наборах GRID-компонентов или отдельных вычислительных кластерах, входящих в состав системы.

В рассмотренном примере для наглядности расчета финансовых показателей были взяты достаточно простые входные данные для построения модели СМО, на самом деле поток заявок в ГРИД носит сложный характер, причем в разных частях системы он может быть неоднороден [19-21]. Количество узлов для обработки задач также может динамически изменяться как во времени, так и в пространстве (мы же рассматривали бесперебойное функционирование узлов на протяжении 30 дней). Еще одним немаловажным фактом является то, что нами не была учтена последовательность прохождения заявок в системе (авторизация, отправка задачи в среду исполнения, перемещение данных, необходимых для обработки, возвращение результата и т.д.).

Для устранения рассмотренных недостатков нами было выделено два основных направления дальнейшего исследования:

1. Разработка модели ГРИД на основе сетей Петри с очередями (Queueing Petri Nets — QPN) [22, 23], учитывающей качественные и количественные показатели оценки функционирования

сетей такого рода. Использование данного подхода позволяет существенно упростить модель ГРИД-системы за счет уменьшения количества используемых вершин и переходов при формализации модели ГРИД в терминах сетей Петри, а также провести количественный анализ (производительность, отказоустойчивость, время простоя и т.д.) отдельных компонентов.

2. Анализ потоков задач в ГРИД-системе, как на входе в систему, так и на уровне отдельных компонентов. Анализ публикаций по исследованию сетевого трафика в глобальной сети Интернет показал, что применение моделей на основе пуассоновского распределения не подходит для описания сетевых потоков [24 – 26].

## Литература

1. Stockinger H. Defining the grid: a snapshot on the current view // The Journal of Supercomputing, vol. 42. — 20-10-2007. — P. 3-17.
2. Treadwell J.. Open Grid Services Architecture Glossary of Terms Version 1.6. GFD.120. Hewlett-Packard. December 12, 2007. <http://forge.gridforum.org/projects/ogsa-wg>
3. <http://grid.sinp.msu.ru/grid/roc/voinrdig>
4. Foster I., Kesselman C., Tuecke S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations // International Journal of High Performance Computing Applications, 15 (3). — 2001. — P. 200-222.
5. [http://en.wikipedia.org/wiki/Web\\_service](http://en.wikipedia.org/wiki/Web_service)
6. Foster I., Kishimoto H., Savva A., Berry D., Grimshaw A., Horn B., Maciel F., Siebenlist F., Subramaniam R., Treadwell J., Von Reich J. The Open Grid Services Architecture, Version 1.5. — 24 July 2006.
7. Foster I., Kesselman C. Globus: A Metacomputing Infrastructure Toolkit // International Journal of Supercomputer Applications, 11(2). — 1997. — P. 115-128.
8. 12 Companies Adopt ISI/Argonne Lab Globus Toolkit as Standard Grid Technology Platform. ISI News, 12 Nov 2001. <http://www.isi.edu/news/news.php?story=25>.
9. <http://glite.web.cern.ch/glite/>
10. <http://public.eu-egee.org/intro/>
11. <http://www.globus.org/toolkit/docs/4.0/>
12. Buyya R., Abramson D., Giddy J. A Case for Economy Grid Architecture for Service Oriented Grid Computing // In Proc. of 10th IEEE International Heterogeneous Computing

- Workshop (HCW 2001), San Francisco, CA. — Apr. 2001.
13. Chun B. N., Culler D. E. User-centric Performance Analysis of Market-based Cluster Batch Schedulers // in Proc. of 2nd IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid 2002), Berlin, Germany — May 2002.
  14. Waldspurger C. A., Hogg T., Huberman B. A., Kephart J. O., Stornetta W. S. Spawn: A Distributed Computational Economy // IEEE Trans. Software Eng., vol. 18, no. 2. — Feb. 1992. — P. 103-117.
  15. Chun B. N., Culler D. E. Market-based Proportional Resource Sharing for Clusters // University of California at Berkeley, Computer Science Division, Technical Report CSD-1092. — Jan. 2000.
  16. Chee Shin Yeo, Buyya R. A taxonomy of market-based resource management systems for utility-driven cluster computing // Software Practice and Experience, 36(13). — 2006. — P. 1381-1419.
  17. Смородинский С.С. Оптимизация решений на основе методов и моделей мат. программирования: Учеб. пособие по курсу «Систем. анализ и исслед. операций» для студ. спец. «Автоматизир. системы обраб. информ.» дневн. и дистанц. форм обуч. / С.С. Смородинский, Н.В. Батин. — Мн.: БГУИР, 2003. — 136 с.: ил.
  18. Дудин А.Н., Медведев Г.А., Меленец Ю.В. Практикум на ЭВМ по теории массового обслуживания [Электронный ресурс]: Учебное пособие — Мн.: «Электронная книга БГУ», 2003.
  19. Li H. Workload dynamics on clusters and grids // Technical Report 2006-04, Leiden Institute of Advanced Computer Science, Leiden University, 2006.
  20. Li H., Muskulus M. Analysis and modeling of job arrivals in a production grid // ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, v.34 n.4. — March 2007. — P.59-70.
  21. Li H., Muskulus M., Wolters L. Modeling Long Range Dependent and Fractal Job Traffic in Data-Intensive Grids // Technical Report TR No. 2007-03, Leiden Institute of Advanced Computer Science, April 2007.
  22. Bause F., Beilner H.. Analysis of a combined Queueing-Petri-Network World. Forschungsbericht Nr. 383 des Fachbereichs Informatik der Universitat Dortmund. — 1991.
  23. Kounev S., Nou R., and Torres J. Autonomic QoS-Aware Resource Management in Grid Computing using Online Performance Models // In 2nd International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools (VALUETOOLS 2007), October 23th-25th, Nantes, France, ISBN: 978-1-59593-819-0, October 2007.
  24. Leland W. E., Taqqu M., Willinger W., Wilson D. V. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic // Proc. SIGCOM93, San Francisco, California. — 1993. — P. 183-193.
  25. Paxson V., Floyd S. Wide-area Traffic: The Failure of Poisson Modeling // IEEE/ACM Transactions on Networking. — June 1995. — P. 226-244.
  26. Zhu X., Jie Yu, Doyle J. Heavy tails, generalized coding, and optimal Web layout // INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, Vol. 3. — 2001. — P. 1617-1626.

---

---

# Jet Info

ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

Издается с 1995 года

Издатель: компания «Инфосистемы Джет»

Главный редактор: Дмитриев В.Ю. ([vlad@jet.msk.su](mailto:vlad@jet.msk.su))  
Редактор: Лапина И.К. ([lapina@jet.msk.su](mailto:lapina@jet.msk.su))  
Россия, 127015, Москва, Б. Новодмитровская, 14/1  
тел. (495) 411 76 01  
факс (495) 411 76 02  
*email: [JetInfo@jet.msk.su](mailto:JetInfo@jet.msk.su) <http://www.jetinfo.ru>*

Подписной индекс по каталогу Роспечати

**32555**

