

# Организация СЭД на базе суперкомпьютера

Р.К. Газизов, А.Р. Мухтаров, Р.Р. Рахматуллин, И.У. Ямалов

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Иллюстрируется возможность и преимущества построения системы межведомственного электронного документооборота органов государственной власти на базе суперкомпьютеров университетов. В качестве примера рассматриваются СЭД Республики Башкортостан на базе программного обеспечения JBOSS-Референт фирмы АйТи и суперкомпьютера ФГБОУ ВПО «УГАТУ».

## 1. Введение

В настоящее время система электронного документооборота (СЭД) становится одним из обязательных и существенных элементов ИТ-инфраструктуры современной организации, с помощью которой промышленные предприятия, коммерческие компании и другие учреждения повышают эффективность своей деятельности. В зависимости от конкретных условий задачи внедрения СЭД возможны различные варианты решений: готовое комплексное решение, решение на базе программной платформы с возможностью самостоятельной доработки или индивидуальная разработка. В большинстве случаев российские разработчики предлагают готовые решения, а иностранные предлагают платформенные решения [1]. Если для большинства учреждений и предприятий порядок и методы использования СЭД регламентируются корпоративными стандартами, то для государственных учреждений дело состоит иначе. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2011 г. №729-р утвержден перечень услуг, предоставляемых государственными и муниципальными учреждениями, а также другими организациями, которые должны включаться в реестр государственных (муниципальных) услуг, предоставляемых в электронной форме. Тем самым внедрение СЭД в органы государственной власти, как для внутреннего управления, так и для межведомственного взаимодействия и взаимодействия с населением становится задачей государственного уровня. Это, в свою очередь, требует от органов власти и управления различного уровня построения соответствующей ИТ-инфраструктуры, направленной на одновременное решение большего числа различных задач обработки или хранения информации. Очевидно, что для обработки данных необходимы многозадачные информационные системы, и многопроцессорные/многоядерные системы могут широко использоваться для этих целей. Кроме того, внедрение СЭД требует создание инфраструктуры, направленной на бесперебойность и надежность работы, катастрофа и отказоустойчивость, организацию защищённых каналов связи и т.д.

Во многом этим условиям удовлетворяют суперкомпьютерные центры, созданные в последние годы во многих ведущих университетах страны. Зачастую выделение для целей СЭД 50-100 процессоров не является критичным для основных работ, выполняемых на суперкомпьютере. Однако это позволяет, во-первых, сэкономить государственные ресурсы, во-вторых – приблизить реальные задачи к университету.

В данной работе предлагается решение по использованию классической схемы суперкомпьютера для организации СЭД республики, а так же анализируются преимущества и недостатки такого решения.

## 2. Особенности внедрения СЭД в ИТ-структуру учреждения

СЭД можно строить по различным технологиям, что предъявляет различные требования к программно-аппаратной архитектуре. Но при всем разнообразии систем можно выделить общие компоненты.

*База данных (БД)* – хранилище документов, которые на различных этапах обработки могут иметь различные формы, содержание, метки, метаданные и т.п.

*Сервер приложений* – программное обеспечение промежуточного уровня, обеспечивающее взаимодействие между клиентом и базой данных с документами. Сервер приложений должен обеспечивать функционирование ряда сервисов, среди которых можно выделить [2]:

- сервис управления потоками работ – обеспечивает маршрутизацию работ, заданий или документов любого типа в рамках бизнес процесса предприятия;
- сервис защиты и управления доступом к информации – обеспечивает решение задач контроля доступа к ресурсам СЭД, защиты информационного обмена между узлами СЭД, аудита деятельности пользователей, администраторов, обеспечения целостности данных, криптографической защиты информации;
- сервис управления контентом – обеспечивают процесс создания, доступа, контроля и доставки информации вплоть до уровня разделов документов и объектов.
- сервис предоставления информации – обеспечивает агрегирование, управление, доставку и унифицированный доступ к информации пользователей посредством коммуникационной структуры системы.

В основе функционирования СЭД лежит взаимодействие между БД и пользователем. И если технология построения и работы СУБД скрыта в недрах системы, то интерфейсная часть на стороне пользователя может обеспечиваться различными способами. Самым простым клиентом может выступать стандартный браузер, а в некоторых случаях целесообразным оказывается использование специализированной оболочки-клиента. Но независимо от способа реализации пользовательская компонента системы должна обеспечивать унифицированный и персонализированный доступ и работу всех категорий сотрудников организации ко всей информации.

Задачу внедрения СЭД необходимо увязывать со сложившейся в организации ИТ-инфраструктурой. Конечно, можно пытаться использовать готовое комплексное решение или платформу, пытаясь перестроить все бизнес-процессы под ее требования, но такой поход не всегда целесообразен и приемлем. В идеале хочется получить решение, которое влечет лишь минимальные изменения и адаптацию существующих информационных ресурсов. Немалое значение при этом имеет готовность пользователей к работе в СЭД в части их квалификации, а так же готовность технического персонала к обслуживанию и поддержке системы.

Относительно построения архитектуры системы в целом следует отметить несколько ключевых моментов. Во-первых, реализация СЭД должна обеспечить необходимую производительность, основным параметром оценки которой может выступать время реакции на типовые действия пользователей: авторизацию, открытие документов, создание новых документов, переход между документами, поиск и группирование документов в системе. Требуемые значения параметров производительности должны достигаться в конкретных масштабных ограничениях – количестве одновременно работающих пользователей, количестве и объеме хранящихся в системе документов. Параметры производительности должны оставаться удовлетворительными в течение среднего времени хранения документов в системе с учетом регулярного выполнения процедур обслуживания архива, включая вытеснение редко-используемых документов на медленные носители в системе хранения.

Вторым ключевым моментом при внедрении СЭД является возможность *масштабируемости* при дальнейшем развитии организации. Масштабируемость должна обеспечивать как просто подключение новых пользователей, так и добавление функционала в систему без остановки эксплуатации и существенного падения производительности. Нарастивание же аппаратных ресурсов (увеличение емкости хранилища документов, серверных мощностей) должно происходить и вовсе незаметно для конечных пользователей.

Таким образом, внедрение СЭД подразумевает под собой целый комплекс организационных и технических задач, качество решения которых определяет стабильность и надежность функционирования системы. Качество же решения зависит, в свою очередь, от финансовых ограничений и от квалификации техперсонала. И если при построении СЭД республиканского уровня приобретение программно-аппаратной части требует финансовых вложений, на которые можно влиять административными силами, то внедрение и дальнейшая эксплуатация системы требует достаточно серьезных интеллектуальных ресурсов в ИТ сфере, которые не всегда имеются в наличии в органах власти. Наиболее перспективным в такой ситуации выглядит привлечение услуг компании-интегратора, имеющей опыт аутсорсинга подобных решений. Но не всякая компания-интегратор имеет в своем распоряжении полноценный центр обработки данных,

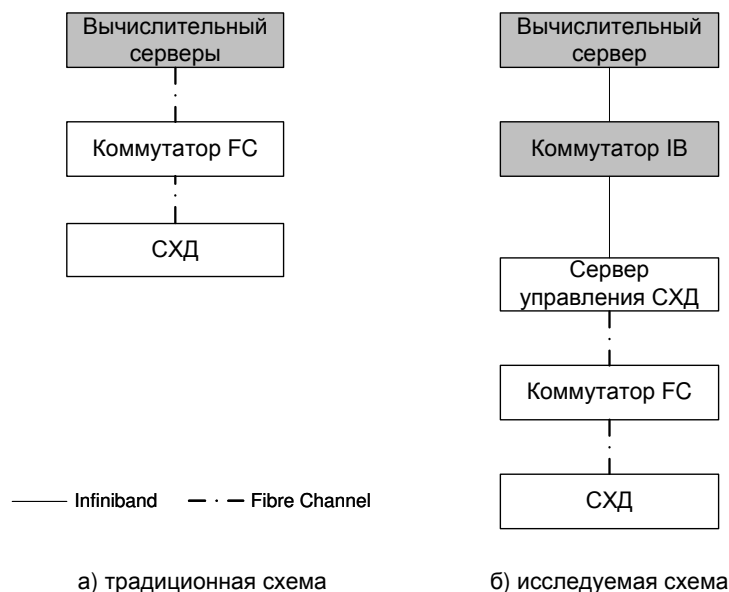
либо аренда его ресурсов может быть дорогостоящей. В качестве альтернативы такому решению может выступать аренда аппаратных мощностей у вуза, имеющего, с одной стороны, опыт работы с различными программными продуктами, и, с другой стороны – развитую ИТ инфраструктуру. При таком подходе актуальной становится оценка готовности ЦОД вуза к развертыванию СЭД, при этом на первый план выходит возможность использования имеющихся вычислительных ресурсов.

ЦОД вуза строится в первую очередь для решения собственных задач учебного заведения. В случае УГАТУ, ЦОД создавался для обеспечения функционирования суперкомпьютера, который используется, прежде всего, для решения больших вычислительных задач. На это ориентирована его архитектура, определяющая межузловую связность, и набор базовых приложений. Целью проведенного исследования стало изучение возможности использования ресурсов вычислительного суперкомпьютера для решения задачи развертывания системы электронного документооборота республиканского уровня.

### **3. Особенности использование Infiniband в качестве транспорта СЭД**

С момента появления в 1999 году и до наших дней технология Infiniband [3] активно развивается, что привело к ее повсеместному использованию при построении высокопроизводительных вычислительных систем. Одним из факторов, оказавших большое влияние на этот процесс, стало распространение универсального программного обеспечения OFED (Open Fabric Enterprise Distribution) [4]. Причиной распространения OFED явилось открытость его исходного кода, ориентация на высокопроизводительные сетевые приложения, требующие низкую латентность, высокая масштабируемость, поддержка протоколов удалённого прямого доступа к памяти (Remote Direct Memory Access, RDMA) и множества протоколов верхнего уровня, среди которых следует отметить SRP (SCSI RDMA Protocol) и iSER (iSCSI Extensions for RDMA). Распространение OFED позволило рассмотреть вопрос об использовании Infiniband в качестве транспорта для СЭД.

Следует отметить, что традиционная архитектура ЦОД предполагает использование FC как для системы хранения данных, так и для связи с вычислительными серверами (рис. 1а). При этом использованное в качестве базового при построении суперкомпьютера УГАТУ решение IBM System Cluster 1350 [5] предполагает использование Infiniband для связи между вычислительными серверами, тогда как FC используется только для связи с системой хранения данных. Для приведения архитектуры суперкомпьютера УГАТУ к традиционной потребовалось бы оснащение вычислительных серверов адаптерами FC, что влечет дополнительные финансовые затраты. Поэтому было принято решение об исследовании возможности построения СЭД на базе имеющейся производительной и высокодоступной телекоммуникационной инфраструктуры с поддержкой унифицированной матрицы коммутации, консолидирующей локальные сети (LAN), сети хранения (SAN) и системы хранения данных, а так же сети высокопроизводительных вычислений (InfiniBand) (рис. 1б).



**Рис. 1.** Варианты инфраструктур для построения СЭД

Для выявления слабых и сильных сторон данного решения были собраны *тестовые стенды* и проведено нагрузочное тестирование, по результатам которого можно сделать выводы по возможности использования суперкомпьютеров для оказания услуг аутсорсинга вычислительных мощностей.

Нагрузочное тестирование проводилось на стенде следующей конфигурации:

- система хранения: HP MSA2312FC, массив на дисках SATA 750Gb, 16 дисков RAID6 + 4 hot spare – емкостью 10.4Tb;
- сервер СХД: HP DL360R05 E5430 2G EU Svr (Rack1U XeonQC 2.66Ghz (2x6Mb)/ P400i (256Mb/RAID5/1/0)/ iLO2std/ 2xGigEth), HP 8GB FBD PC2-5300 2x4GB LP Kit – 2 шт., HP 72.8GB Pluggable SAS 15,000 rpm Universal – 2 шт., HP FC2242SR PCI-e DC HBA, HP 4GB SW SinglePack SFP Transceiver– 2шт., HP NC364T PCI Express Quad Port Gigabit Ser;
- сервер приложений: IBM HS21EM / 2xXeon Quad E5345 / RAM 8Gb / HDD 73,4 Gb / IB HCA 4x;
- сервер базы данных: IBM HS21EM / 2xXeon Quad E5345 / RAM 8Gb / HDD 73,4 Gb / IB HCA 4x;
- сервер мониторинга: IBM HS21EM / 2xXeon Quad E5345 / RAM 8Gb / HDD 73,4 Gb / IB HCA 4x.

Тестирование проводилось для решения следующих задач: выбора наиболее подходящей технологии доставки данных при организации системы хранения и проверка возможности ее использования в системе электронного документооборота.

### 3.1. Тестирование программно-аппаратных архитектур

Основой построения сетей хранения данных SAN (Storage Area Network) является протокол высокоскоростной передачи данных Fibre Channel Protocol (FCP), обеспечивающий поддержку протокола SCSI в сетях Fibre Channel (FC). Изначально FC использовался в качестве среды передачи данных для суперкомпьютеров уступив в последующем технологии Infiniband. В настоящее время FC практически полностью перешел в сферу сетей хранения данных, где он используется как стандартный способ подключения к системам хранения данных уровня предприятия. В связи с тем, что архитектура современных суперкомпьютеров оптимизирована для решения больших вычислительных задач, вопросы обмена и хранения данных отходят на второй план. Вместе с тем, потенциал высокоскоростных межузловых связей и потенциал сетей хранения данных позволяют рассмотреть вопрос об использовании свободных ресурсов суперкомпьютера, построенного по стандартной архитектуре, для решения задач системы межведомственного

электронного документооборота. Решение этого вопроса может способствовать повышению эффективности использования ресурсов суперкомпьютера.

Для выбора технологии доставки было произведено сравнительное тестирование двух программно-аппаратных архитектур систем хранения данных (FC+iSER+IB и FC+SRP+IB) основанных на возможностях программного обеспечения OFED.

Протоколы iSER и SRP являются транспортом для протоколов iSCSI и SCSI соответственно. Данные протоколы транслируют команды через RDMA [6].

Тестирование перечисленных решений проводилось с использованием тестов bonnie++ [7] для следующих вариантов реализации дисковой системы:

- сервер с локальными дисками (physical.local);
- сервер с дисковой системой SRP (physical.srp);
- сервер с дисковой системой iSER (physical.iser).

Результаты измерения скорости обмена данными и латентности для различных вариантов реализации дисковой системы приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Результаты тестирования

Вариант	Параметр	Последовательная запись			Последовательное чтение		Случайный доступ
		посимвольная	блочная	перезапись	посимвольное	блочное	
physical.local	скорость, КБ/с	531	48265	24129	2287	6345	381
	задержка, мс	15	614	708	9	121	132
physical.srp	скорость, КБ/с	257	130492	71209	740	214532	5163
	задержка, мс	32	427	5401	19	58	278
physical.iser	скорость, КБ/с	526	154260	123285	2296	399503	1506
	задержка, мс	15	2309	507	14	191	1047

Проанализируем полученные результаты.

*Последовательная запись*

- a. посимвольный вывод: локальный диск и iSER показали примерно одинаковые результаты, скорость SRP в два раза ниже, при этом в два раза выше задержки;
- b. блочная запись: SRP быстрее локального диска в 2.7 раза, iSER быстрее локального диска в 3.2 раза;
- c. перезапись: SRP быстрее локального диска почти в 3 раза, iSER быстрее локального диска в 5.1 раза.

*Последовательное чтение*

- a. посимвольный ввод: локальный диск и iSER показали примерно одинаковые результаты, результаты SRP в два раза хуже, задержки iSER и SRP выше локального диска;
- b. блочное чтение: SRP быстрее локального диска в 3.4 раза, iSER быстрее локального диска в 6.3 раза.

*Случайный доступ*

- a. SRP быстрее локального диска в 13.5 раз, iSER быстрее локального диска почти в 4 раза.

Задержки в целом либо сопоставимы, либо в разы выше локального диска, что объясняется наличием промежуточных протоколов между дисковой подсистемой и серверами.

Построим график сравнения скорости обмена данными в случаях с минимальной производительностью (рис.3).

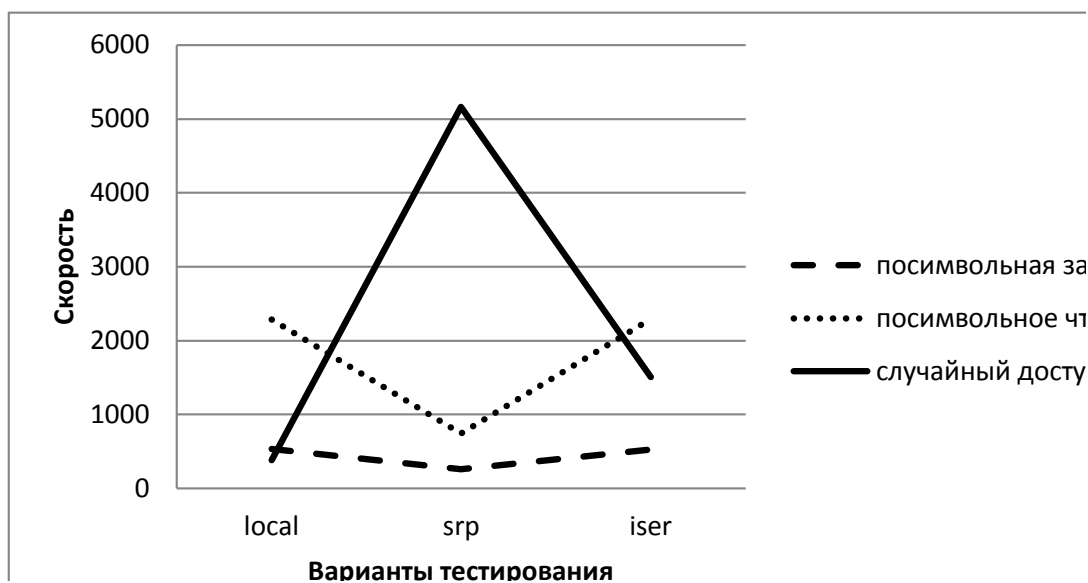


Рис. 2. Скорость обмена данными в различных реализациях дисковой подсистемы

Результаты тестирования показывают, что для построения СЭД (обращение к базам данных) решение FC+SRP+IB является более подходящим для поддержки системы хранения.

## 3.2. Нагрузочное тестирование работоспособности

### 3.2.1. Цель, условия и методика тестирования

Целью нагрузочного тестирования являлось проверка соответствия оборудования для обеспечения работоспособности СЭД при имитации реальной эксплуатации. Тестирование проводилось специалистами компании АйТИ по смешанной функционально-автоматизированной схеме. Часть нагрузки формировали активно работающие пользователи, которые создавали, регистрировали, подписывали, согласовывали, рассматривали, исполняли документы. Другая часть нагрузки обеспечивалась виртуальными пользователями, которые имитировали следующую работу: авторизация, переход по вкладкам, просмотр документов.

Нагрузка на систему подавалась в три этапа в течение 30 минут с последовательным увеличением. Такой способ дал возможность измерить и проанализировать как время отклика системы, так и тенденции изменения загрузки оборудования при изменении нагрузки.

Количество сессий, открытых на каждом этапе нагрузочного тестирования, приведено в таблице 2.

Таблица 2. Количество сессий на различных этапах

Вид нагрузки/ Этапы	открытие вкладок	открытие документов	создание документов	пользователи помощники	всего
Этап 1	150	118	120	12	400
Этап 2	380	70	120	12	582
Этап 3	550	150	120	12	832

При проведении тестирования использовались два типовых сценария:

- *Сценарий перехода по вкладкам.* Представленный сценарий эмулирует действия пользователей, которые авторизуются в системе и переключаются между вкладками.

- *Сценарий открытия документов.* Представленный сценарий эмулирует действия пользователей, которые авторизуются в системе, переключаются между вкладками и открывают документы.

Условия проведения тестирования накладывали некоторые ограничения, в частности не была использована виртуализация и отсутствовала балансировка нагрузки, но для анализа возможности функционирования системы в целом погрешностями, вносимыми этими ограничениями, было решено пренебречь.

### 3.2.2. Анализ времени отклика системы

Результаты тестирования и замеров среднего времени отклика системы при изменении нагрузки на различных этапах, приведены в таблице 3.

**Таблица 3.** Среднее время отклика при увеличении нагрузки

Показатель	1 этап (сек)	2 этап (сек)	3 этап (сек)
Авторизация	0,5	0,6	0,8
Открытие документа	5,1	6,2	6,6
Создание новой карточки документа	4,2	5,3	5,6
Переход между вкладками	9,8	10,2	17,6
Действия помощников, переход по вкладкам и открытие документов	7,45	14,1	14,6
Переход документа в следующий статус	4,75	4,86	5,24

Для наглядного представления результатов построим по полученным данным график зависимости среднего времени отклика (в секундах) от количества активных пользователей. Пользователи переключались по вкладкам, просматривали документы и создавали новые.

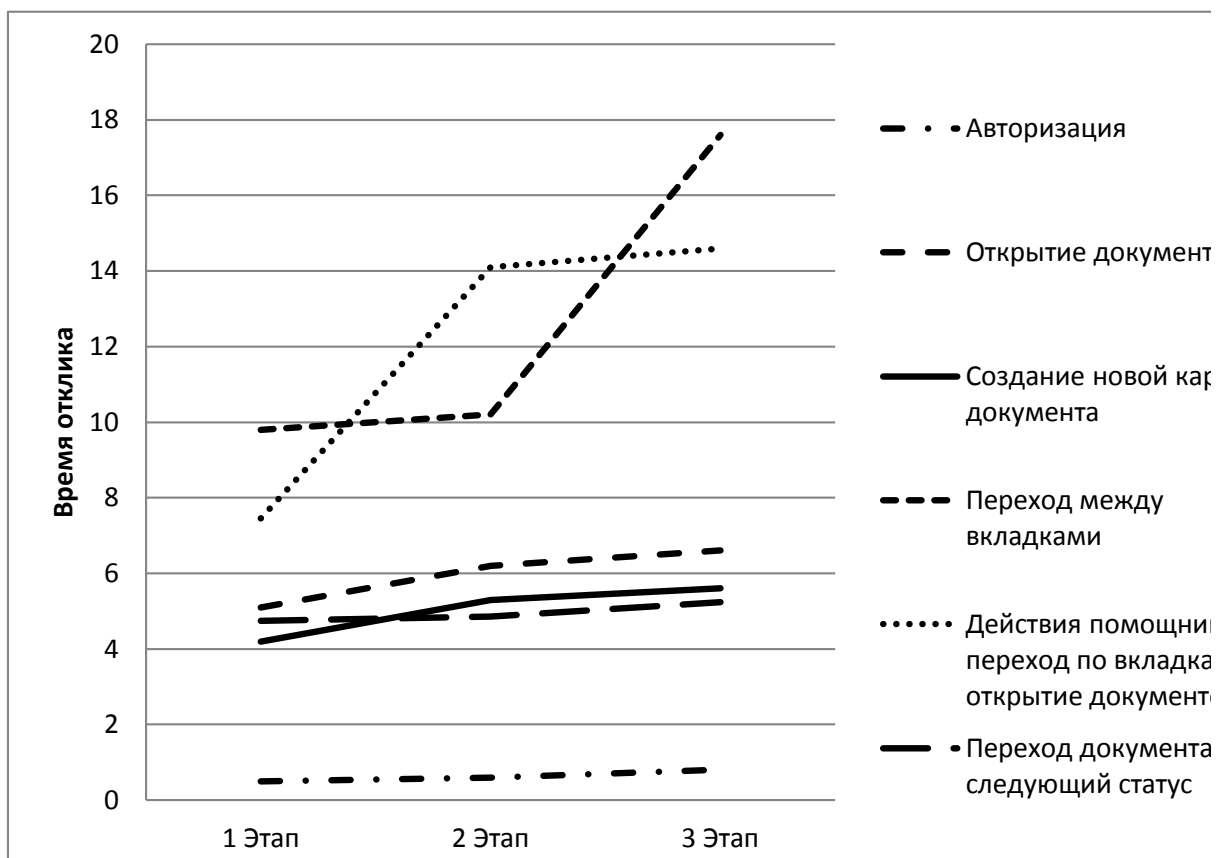


Рис. 3. График отклика системы

Рисунок 3 показывает то, что при максимальной нагрузке более 800 пользователей время отклика системы в допустимых пределах.

Уменьшение времени отклика на втором этапе тестирования на открытие новой карточки документа и на переход документа в следующий статус обуславливается уменьшением в 2 раза количества пользователей создающих документы по сравнению с первым этапом. На третьем этапе было увеличено число как активных, так и пассивных пользователей. Таким образом, можно сделать вывод о том, что уменьшение активных пользователей незначительно влияет на общую загрузку системы и на среднее время отклика.

### 3.3. Анализ загрузки оборудования

Для анализа загрузки оборудования на всех этапах нагрузочного тестирования проводились измерения количественных характеристик различных параметров, таких как загрузка процессора, использование ОЗУ, нагрузка на дисковую систему. Измерения проводились как для сервера баз данных, так и для сервера приложений. Значения максимальной нагрузки на различных этапах для сервера БД и сервера приложений Jboss приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4. Максимальная загрузка сервера приложений Jboss

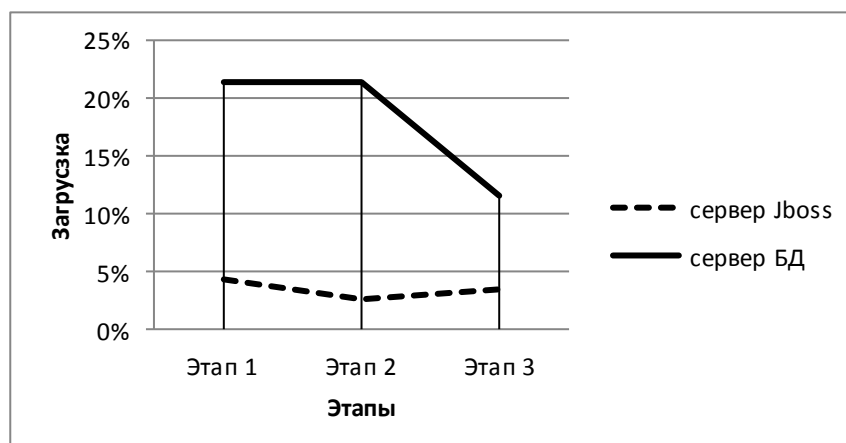
	Загрузка процессоров, %	Загрузка ОЗУ, %	Загрузка дисковой подсистемы, %
Этап 1	4.6	43.7	5.96
Этап 2	1.5	50.5	6.14
Этап 3	2.5	32.2	6.15



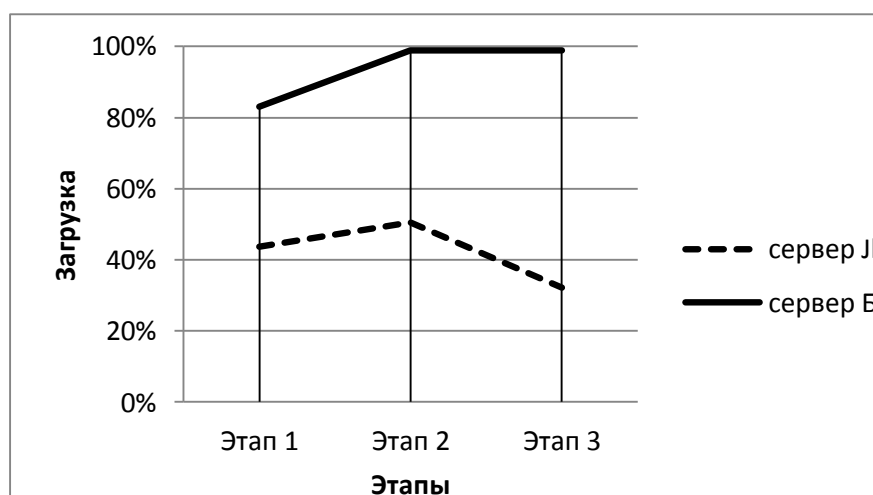
**Таблица 5.** Максимальная загрузка сервера БД

	Загрузка процессоров, %	Загрузка ОЗУ, %	Загрузка дисковой подсистемы, %
<b>Этап 1</b>	21.5	83.0	48.27
<b>Этап 2</b>	21.5	98.9	48.27
<b>Этап 3</b>	11.5	98.9	48.80

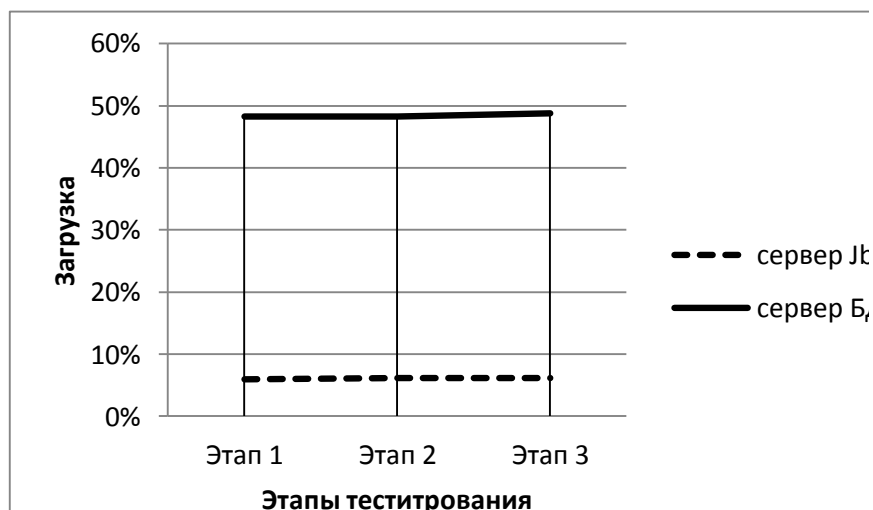
Для дальнейшего анализа полученных результатов построим по полученным данным сравнительные графики зависимости загрузки серверов от тестовой нагрузки на различных этапах (рисунки 4-6).



**Рис. 4.** Загрузка процессоров



**Рис. 5.** Загрузка ОЗУ



**Рис. 6.** Загрузка дисковой подсистемы

Как видно из графиков, основная нагрузка, создаваемая пользователями, приходится на сервер с базой данных. При этом наиболее значительную нагрузку испытывает оперативная память, тогда как на такие ресурсы как процессоры и дисковые подсистемы нагрузка незначительна.

Учитывая режим работы системы как слабо нагруженный или средне-нагруженный, то приведенная схема тестирования допускает приемлемую работу 600 пользователей с возможностью нарастания пиковой нагрузки до 800 пользователей.

## Выводы

По результатам проведенного тестирования можно сделать следующие выводы.

Построение межведомственного электронного документооборота органов государственной власти на базе стандартной производительной и высокодоступной телекоммуникационной инфраструктуры с поддержкой сети высокопроизводительных вычислений (InfiniBand) становится возможным при минимальной адаптации и настройке программного обеспечения путем установки OFED.

Таким образом, можно утверждать, что использование высокопроизводительных вычислительных установок, построенных на основе технологии Infiniband, в качестве аппаратной платформы для развертывания СЭД, позволяют повысить эффективность их использования. Вместе с тем, использование такого решения позволяет сократить расходы государственных органов власти на развитие и поддержку ИТ инфраструктуры для обеспечения выполнения распоряжения Правительства РФ о предоставлении услуг в электронной форме.

## Литература

1. Рейнгольд Л. Обзор систем электронного документооборота. <http://www.ixbt.com/soft/sed.shtml>.
2. Антимонов Д. СЭД осваивает регионы. [http://www.cnews.ru/reviews/free/dms2007/articles/practice\\_1.shtml](http://www.cnews.ru/reviews/free/dms2007/articles/practice_1.shtml)
3. Дайерлинг К. InfiniBand: архитектура коммутации для серверов, запоминающих устройств и коммуникационных систем // Мир компьютерной автоматизации. – 2002. – №3
4. OpenFabrics Alliance (OFA). <http://www.openfabrics.org>.
5. В УГАТУ запущен самый мощный в России суперкомпьютер IBM. <http://www.cnews.ru/news/line/index.shtml?2007/12/19/280310>
6. High-Performance Storage Solutions using RDMA <http://www.voltaire.com/download/whitepapers/High%20Performance%20Storage0605.pdf>
7. Тест bonnie++. <http://www.coker.com.au/bonnie++>