



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
( НИУ «БелГУ» )

Победы ул., д. 85, г. Белгород, 308015; тел.: (4722) 30-12-11, факс 30-10-12  
e-mail: info@bsu.edu.ru; Web: http://www.bsu.edu.ru  
ОКПО 02079230, ОГРН 1023101664519, ИНН/КПП 3123035312/312301001

24.11.2015 № 7-439

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и  
инновационной деятельности НИУ  
«БелГУ», д.т.н., проф.  
И.С. Константинов



Председателю диссертационного совета  
Д 212.038.24  
проф. А.И. Шашкину  
394006, г. Воронеж,  
Университетская площадь, д.1.

«24» 11 2015 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Шилова Сергея Николаевича «Модели и алгоритмы балансировки нагрузки в кластерной системе с поддержкой механизма репликации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики»

### Актуальность для науки и практики

В настоящее время кластеризация компьютерных систем является одним из основных направлений развития современных информационных технологий. Объединение вычислительных и аппаратных ресурсов, а также ресурсов хранения позволяет существенно повысить эффективность различных программных комплексов. Однако подобное объединение в единую кластерную систему является сложной задачей, требующей всестороннего изучения проблемы. Функционирование данных систем обеспечивается специализированными программными комплексами, позволяющими набору отдельных участвующих узлов работать как единое целое. В зависимости от конкретных требований данные программные

комплексы должны решать определенный спектр задач. Одной из центральных задач подобных комплексов является балансировка нагрузки на узлы кластерной системы для наиболее эффективного использования ее объединенных ресурсов. При этом существует необходимость обеспечения возможности динамического входа и выхода узлов из состава кластерной системы без остановки ее работы.

Наиболее эффективные решения в данной области основаны на использовании технологии распределенных хеш-таблиц. Однако существующие решения обладают определенными недостатками, ограничивающими область их применения. Одним из таких недостатков является наличие множественных сетевых пересылок входящего запроса от узла к узлу системы до нахождения узла, ответственного за его обработку, что вносит непредсказуемые задержки в процесс обработки запроса и деградации производительности системы с ростом числа обрабатывающих узлов. Отдельной проблемой является необходимость хранения значительного количества служебных данных для обеспечения функционирования алгоритмов, влекущее за собой использование постоянных запоминающих устройств, что также негативно влияет на время обработки запросов. В настоящее время наблюдаются тенденции снижения накладных расходов, связанных с функционированием систем балансировки нагрузки, а также уменьшения отрицательного влияния роста числа узлов на общую производительность кластерной системы. Эти факторы определяют актуальность разработки в рамках, представленных в диссертации моделей и алгоритмов, применяемых в системах балансировки нагрузки. Создание быстрых и эффективных алгоритмов даст возможность существенно сократить время обработки входящих запросов. Простота и вычислительная эффективность используемых информационных структур позволят использовать такие программные комплексы с минимальными накладными

расходами без отрицательного влияния возрастающего числа участвующих узлов на общую производительность системы.

Таким образом, тематика диссертационной работы Шилова С.Н. является актуальной.

### **Структура диссертации**

Диссертация Шилова С.Н. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, включающих 60 наименований на русском и английском языках, и 4-х приложений. Общий объем диссертации составляет 143 страницы, включая 126 страниц основного текста, содержащего 37 рисунков.

Первая глава диссертации посвящена исследованию имеющихся подходов и информационных структур, используемых для построения распределенных хеш-таблиц. Приведено понятие компьютерного кластера и представлена классификация компьютерных кластеров, отмечены их преимущества. Одной из центральных областей применения разработанных в рамках диссертации моделей и алгоритмов является система доменных имен, понятие и характеристики которой приведены в главе. Представлен обзор существующих реализаций распределенных хеш-таблиц, рассмотрены и проанализированы различные подходы, описаны их преимущества и недостатки.

Вторая глава посвящена разработке моделей и алгоритмов балансировки нагрузки в кластерной системе. Приведены особенности системы доменных имен. С точки зрения теории массового обслуживания рассмотрена кластерная система при наличии выделенных узлов обработки, показано её преимущество по времени обработки при сохранении соответствия между заявкой и выделенным обрабатывающим устройством. Создана модель балансировки нагрузки, принципиальным отличием которой является наличие таблицы вариантов распределения, позволяющей

исключить работу с постоянным запоминающим устройством. Приведены описание и анализ одноуровневой и двухуровневой моделей организации таблиц вариантов распределения. Оценена временная сложность разработанных алгоритмов, проанализирована возможность масштабирования системы.

Третья глава посвящена разработке алгоритмов репликации в рамках комплекса программ балансировки нагрузки. Представлено понятие репликации, определена ее цель и указаны особенности. На основе разработанной модели балансировки нагрузки созданы и проанализированы два оригинальных алгоритма репликации, соответствующих поведению системы в случае аварийного или планового выхода узлов. Приведена оценка временной сложности разработанных алгоритмов репликации и их влияния на масштабируемость системы.

В четвертой главе приведено статистическое исследование разработанной модели балансировки нагрузки. Представлена и проанализирована динамика различных статистических показателей с ростом числа уникальных запросов к системе. Проведен вычислительный эксперимент с использованием уникальных DNS-запросов и DNS-запросов реальных пользователей, показывающий соответствие между экспериментальными результатами и теоретическими данными.

В заключении приводятся итоги диссертационного исследования.

### **Научная новизна полученных результатов**

Научная новизна результатов, полученных Шиловым С.Н., заключается в разработке моделей и алгоритмов балансировки нагрузки, основанных на технологии распределенной хеш-таблицы, отличительной чертой которых является наличие таблицы вариантов распределения, позволяющей избежать хранения значительного количества служебных данных на постоянном запоминающем устройстве для сопоставления ключей

с обрабатываемыми узлами. Данный подход позволил исключить работу с постоянным запоминающим устройством во время функционирования системы, вносящую непредсказуемые задержки в процесс обработки запросов. Отсутствие необходимости хранения служебных данных для сопоставления ключей с обрабатываемыми узлами позволило избежать значительных затрат ресурсов памяти, т.к. в разработанной модели данное сопоставление производится динамически с использованием таблицы вариантов распределения. Также разработанная диссертантом модель балансировки нагрузки позволяет определять узел, ответственный за обработку элемента данных, с использованием одного цикла поиска.

В рамках диссертации разработаны алгоритм поиска ответственного за обработку узла и алгоритмы репликации, отличительной особенностью которых является константная временная сложность. Таким образом, данные алгоритмы не имеют отрицательного влияния на масштабируемость кластерной системы, тем самым обеспечивая высокую производительность для различного числа обрабатываемых узлов.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в развитии научно-методического аппарата, применяемого при разработке программных комплексов различного назначения, основанных на технологии распределенных хеш-таблиц.

Практическая значимость результатов заключается в возможности их использования в различных кластерных системах, где необходимо обеспечить равномерное распределение входящей нагрузки на обрабатываемые узлы с возможностью динамического входа и выхода узлов из состава кластерной системы в режиме реального времени без остановки ее функционирования. Возможно их широкое использование в кластерах, составленных из рекурсивных кэширующих DNS-серверов, а также в составе

распределенных файловых систем для равномерного размещения служебных данных на выделенных для данной цели узлах.

### **Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования**

Результаты диссертационного исследования целесообразно использовать в кластерных системах ОАО “НИИ СуперЭВМ” (г. Москва), КарНЦ РАН (г. Петрозаводск), ОАО “НИИПП” (г. Томск).

### **Обоснованность и достоверность научных положений и выводов диссертации**

Обоснованность и достоверность результатов определяется корректным применением методов теоретических и экспериментальных исследований и подтверждается совпадением результатов вычислительного эксперимента с теоретическими данными.

Материал диссертации Шилова С.Н. изложен лаконично, выводы являются логичными и последовательными.

Основные результаты диссертационного исследования достаточно полно изложены в 11 научных работах и обсуждались на международных и всероссийских научно-методических конференциях. Опубликованы 4 статьи в изданиях, входящих в перечень журналов и изданий, рекомендованных ВАК РФ. Имеются два свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Работоспособность реализованного программного комплекса подтверждается соответствующим актом внедрения.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В диссертации ничего не сказано, для каких топологий сети разработаны алгоритмы балансировки нагрузки кластера (например, не понятно, как балансировщик будет работать в

топологиях тор, решетка, гиперкуб). Следовательно, остается неясным, каким образом виртуальная топология отображается на физическую топологию сети.

2. В работе не проведен обзор всех существующих на сегодняшний день методов балансировки нагрузки. В частности, нет описания методов, реализованных в распространенном наборе интегрированных программных компонентов Linux Virtual Server.
3. Желательно провести сравнение разработанных моделей и алгоритмов балансировки нагрузки с современными аналогами.
4. В п. 2.4 говорится о том, что количество вариантов распределения узлов кластерной системы в содержащей их таблице было выбрано равным 512. При этом упоминается экспериментальное исследование, выполненное автором диссертации, показавшее улучшение показателей равномерности распределения запросов при росте числа вариантов распределения до 512, после чего увеличение количества вариантов не имело эффекта. Однако результаты данного исследования не были детально представлены в диссертации, из-за чего невозможно сделать вывод об оптимальности выбора данного числа.
5. В п. 2.4.3 на рисунке 2.9 график зависимости эффективности распределения нагрузки для пяти узлов кластерной системы не является достаточно информативным, необходимо было бы предоставить большее количество данных о проведенном диссертантом исследовании.
6. В п. 3.7 на рисунке 3.11 структурную схему взаимодействия основных модулей реализованного программного комплекса нагляднее было бы представить в виде диаграммы компонентов.
7. В п. 4.2 приведены результаты статистических исследований для кластерной системы при отсутствии временно вышедших узлов,

однако при этом не представлены результаты тестирования равномерности распределения запросов для случая, когда имеются узлы, временно вышедшие из состава кластерной системы.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертация Шилова Сергея Николаевича «Модели и алгоритмы балансировки нагрузки в кластерной системе с поддержкой механизма репликации» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему, она содержит новые научные результаты, обладающие теоретической значимостью и имеющие практическую ценность. Сформулированные выводы достаточно обоснованы, полученные результаты в полной мере отражены в имеющихся авторских публикациях, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики», область исследований соответствует п. 1 «Исследование, в том числе с помощью средств вычислительной техники, информационных процессов, информационных потребностей коллективных и индивидуальных пользователей»; п. 2 «Исследование информационных структур, разработка и анализ моделей информационных процессов и структур»; п. 14 «Разработка теоретических основ создания программных систем для новых информационных технологий».

Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Правительства РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Шилов Сергей Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики».



Отзыв подготовлен доктором технических наук, профессором кафедры математического и программного обеспечения информационных систем ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» Корсуновым Николаем Ивановичем.

Профессор кафедры математического и программного обеспечения информационных систем, д.т.н., проф.,  
308015, г. Белгород, ул.Победы, д. 85,  
корп.14, к.1-9, тел.: (4722) 30-13-00\*2175,  
e-mail:korsunov@bsu.edu.ru

Н.И.Корсунов

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры математического и программного обеспечения информационных систем ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (протокол № 4 от 11 ноября 2015 года).

Председатель  
Заведующий кафедрой математического и программного обеспечения информационных систем, к.т.н., доц.

В.В.Муромцев

Секретарь  
Доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем, к.т.н.

Е.В.Бурданова

