

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора  
Зольникова Владимира Константиновича  
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 ТЕМЫ

В условиях динамично развивающейся информатизации общества весьма актуальным является вопрос создания аппаратных и программных средств, обеспечивающих высокоэффективную обработку большого количества информации. Стремительное увеличение числа пользователей компьютерной техники приводит к существенному повышению нагрузки на информационные системы, предоставляющие свои вычислительные мощности и ресурсы хранения. Одиночные высокопроизводительные машины способны обрабатывать большое количество данных, однако существенным минусом является высокая стоимость подобного оборудования.

По мере развития компьютерной техники и ее широкого внедрения в бизнес-процессы все большую актуальность приобретает проблема увеличения времени, в течение которого вычислительные ресурсы информационных систем являются доступными. Обеспечение их надежности и отказоустойчивости становится одним из ключевых факторов успешной работы организаций, предоставляющих различные Интернет-сервисы, использующих информационные системы для управления производственными процессами, производящих научные исследования, осуществляющих хранение и обработку большого количества данных и т.д. Отказ и простой оборудования ведет к существенным убыткам и потере доверия клиентов.

Одним из наиболее эффективных решений описанных выше проблем является кластеризация компьютерных систем. Наличие множества равноправных узлов позволяет обеспечить работоспособность всей системы при отказе отдельных ее компонентов, а высокая суммарная производительность узлов обуславливает быструю обработку данных. Однако эффективная работа подобных систем невозможна без программных средств балансировки нагрузки на обрабатывающие узлы.

Диссертационная работа Шилова С.Н. направлена на разработку моделей и алгоритмов балансировки нагрузки на узлы кластерной системы. Также для повышения отказоустойчивости системы автор разработал эффективные алгоритмы репликации данных.

В силу изложенного, тема диссертационной работы Шилова С.Н. является актуальной.

#### СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

В своей диссертационной работе Шилов С.Н. реализует цель по разработке и анализу моделей и алгоритмов балансировки нагрузки в кластерной системе с поддержкой механизма репликации, а также реализации комплекса компьютерных программ на основе предложенных моделей и алгоритмов. При этом соискатель на должном уровне использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Обоснованность выводов и результатов работы обусловлена корректным применением методов математической статистики, теории алгоритмов, теории вероятностей, а также совпадением в ходе вычислительного эксперимента прогнозируемых результатов с реальными характеристиками разработанных моделей и алгоритмов.

## ДОСТОВЕРНОСТЬ И НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТОВ

К основным научным результатам, полученным автором, относятся:

1. Модель балансировки нагрузки в кластерной системе, позволяющая избежать необходимости хранения метаданных на постоянном запоминающем устройстве для обеспечения функционирования алгоритмов, а также соответствующая требованиям масштабируемости, быстродействия и равномерности распределения нагрузки.

2. Алгоритм поиска узла, ответственного за обработку элемента данных, имеющий константную временную сложность и не ограничивающий масштабируемость системы.

3. Алгоритмы репликации, обеспечивающие наличие заданного числа резервных копий в зависимости от конкретных требований к надежности и отказоустойчивости системы, имеющие константную временную сложность и не ограничивающие масштабируемость системы.

4. Алгоритмы, построенные на основе разработанной модели балансировки нагрузки, а также результаты их программной реализации.

В основе разработанной в диссертации модели балансировки нагрузки лежит технология распределенных хеш-таблиц, позволяющая эффективно осуществлять поиск узла, ответственного за обработку элемента данных по ассоциированному с ним ключу. В своей работе диссертант предложил новую схему консистентного хеширования, направленную на динамическое определение принадлежности отрезков ответственности, выделенных в соответствии со схемой разбиения области значений базовой хеш-функции, узлам кластерной системы. Данное свойство принципиально отличает предложенную схему от классического подхода, основанного на использовании служебных данных для хранения подобной информации. Автор разработал оригинальную схему разбиения области значений базовой хеш-функции на отрезки ответственности узлов кластерной системы, которая позволила ввести таблицу вариантов распределения узлов в блоках,

покрывающих упомянутую область значений. Таблица вариантов распределения решает две задачи:

- 1) компактное хранение схемы разбиения области значений базовой хеш-функции и соответствия между отрезками ответственности и узлами кластерной системы;
- 2) эффективный поиск узла по ключу для обработки соответствующего элемента данных.

Таблица вариантов распределения строится динамически на основе текущего состава участников кластерной системы и перестраивается при его изменении. Данная таблица располагается в оперативной памяти без необходимости использования постоянного запоминающего устройства, что крайне положительно влияет на быстродействие системы. Автором показана высокая эффективность и производительность модели балансировки нагрузки, которая основана на использовании вычислительно эффективных алгоритмов.

Интересными представляются разработанные в диссертации два алгоритма репликации данных, использование которых приводит к повышению надежности и отказоустойчивости кластерной системы. Первый алгоритм направлен на создание одной резервной копии элемента данных при попадании соответствующего ключа в заданную область пересечения отрезков ответственности узлов. Данный подход полезен в случаях, когда ресурсы памяти ограничены, а наличие резервных копий не является критически важным. Второй алгоритм способен гарантированно создавать заданное четное число резервных копий, что делает его применимым в системах, где наличие копий является обязательным условием.

Особенно хочется отметить константную временную сложность алгоритма поиска ответственного за обработку узла и алгоритмов репликации, что является крайне важным для масштабируемых систем.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждена созданием протестированных программных средств, выполненной их проверкой, включающей сбор статистики распределения уникальных запросов среди узлов кластерной системы и проведение вычислительного эксперимента.

Основные результаты диссертации полностью и своевременно опубликованы в 11 работах, из которых 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и получили апробацию на международных и всероссийских конференциях. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Теоретическая значимость работы заключается, прежде всего, в развитии научно-методической основы совершенствования моделей и алгоритмов балансировки нагрузки. Предложенная оригинальная схема консистентного хеширования важна для дальнейшего улучшения методов построения распределенных хеш-таблиц и повышения эффективности программных комплексов, основанных на подобных технологиях.

Практическую значимость работы составляют программные реализации разработанных в диссертации алгоритмов. Реализованное программное обеспечение может быть использовано для повышения эффективности функционирования и отказоустойчивости как существующих, так и проектируемых кластерных систем с возможностью динамического масштабирования.

Практическая значимость полученных в диссертационной работе результатов также подтверждается их внедрением в ЗАО НПП «РЕЛЭКС».

## ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. Во второй главе диссертации автор вполне обоснованно использует для анализа изучаемых систем элементы теории массового обслуживания, основанные на простейших потоках, однако в диссертации отсутствует необходимое обоснование, точнее, экспериментальное подтверждение того факта, что потоки заявок и обслуживаний действительно являются простейшими.

2. В разделе 2.4.3 диссертации исследование равномерности распределения уникальных запросов среди узлов кластерной системы представлено недостаточно информативно, т.к. указанные результаты исследования не позволяют понять, насколько они являются показательными для оценки равномерности.

3. В разделе 3.4 автор декларирует возможность применения алгоритма репликации, основанного на использовании ближайших к ответственному узлу областей ответственности, для создания резервных копий элемента данных на всех узлах кластерной системы. Однако в этом случае наиболее оптимальным решением был бы непосредственный выбор всех узлов, функционирующих в нормальном режиме, для проведения репликации. Таким образом, использование алгоритма поиска узлов для репликации данных является в этом случае недостаточно обоснованным.

4. Целесообразно более детально рассмотреть практическую сторону применения работы с оценкой экономических эффектов, а также расширить результаты работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Указанные выше замечания не снижают общего достаточно высокого уровня диссертационной работы. Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, полностью обоснованы.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации и в полной мере отражает ее содержание.

Диссертация Шилова Сергея Николаевича на тему «Модели и алгоритмы балансировки нагрузки в кластерной системе с поддержкой механизма репликации» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача анализа информационных процессов и структур для ускорения на этой основе научно-технического прогресса. Результаты работы имеют научную новизну и практическую значимость. Тема диссертации является актуальной. Содержание работы соответствует специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики».

Диссертация Шилова Сергея Николаевича соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК при Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики».

Официальный оппонент:

д.т.н., профессор,

заведующий кафедрой вычислительной техники и информационных систем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

адрес: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8;

Email: wkz@rambler.ru

телефон: 8-473-253-78-47

Владимир Константинович Зольников

1.12.2015



Подпись *В.К. Зольникова*  
 удостоверяю:  
 ректората *В.К. Зольникова*  
 \* 01.12.2015 г. \* 151.