

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**на диссертационную работу Миркина Андрея Леонидовича**

**«Математическое моделирование процессов миграции группы непрерывно работающих серверов»,**

**представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»**

Диссертационная работа посвящена проблемам переноса исполняющихся в виртуализированной среде приложений с одного компьютера на другой в режиме непрерывного обслуживания. Выбранное соискателем направление – виртуализация – с технической точки зрения является на сегодняшний день одним из наиболее популярных направлений в информационных технологиях. Имея возможность миграции процессов без их остановки с одного сервера на другой в кластерных системах можно эффективно управлять ресурсами (память, процессорное время и др.), от чего сильно зависит работоспособность всей системы, а также качество и скорость обслуживания пользовательских запросов. Однако до сих пор не проводился анализ подобных алгоритмов с научной точки зрения, не делались количественные оценки длительности задержек в их сопоставлении с экспериментами. Представляется, что это связано с уникальным характером рассматриваемого технического решения (существовавшие ранее технические решения были слишком просты, чтобы их стоило оптимизировать научными средствами). Эти обстоятельства позволяют говорить о том, что проведенное соискателем исследование обладает не только актуальностью, но и высокой научной новизной.

Первая глава работы носит обзорный характер – автор последовательно описывает существующие подходы к реализации систем сохранения и восстановления процессов и их ресурсов и анализирует их недостатки. В главе также формулируются основные требования к такой системе, и показывается несоответствие им рассмотренных алгоритмов. Затем автор рассматривает существующие системы виртуализации, кластеризации и балансировки нагрузки.

Вторая глава посвящена моделированию процессов сохранения и восстановления состояния группы исполняющихся приложений. Предлагаются алгоритмы сохранения и восстановления состояния и различные подходы для реализации. Затем в соответствии с моделью автором производятся оценки времени работы различных стадий алгоритмов сохранения и восстановления. За основу для реализации, предлагаемых алгоритмов, автором была выбрана рассмотренная система виртуализации OpenVZ – отечественная разработка, которая выделяется на фоне остальных, рассмотренных в первой главе.

Приведенные далее результаты тестов полностью согласуются с теоретическими оценками, полученными в этой главе.

В третьей главе описывается модель процессов миграции группы исполняющихся приложений в режиме непрерывного обслуживания с одного компьютера на другой. Предлагается три алгоритма миграции, и делаются оценки паузы в обслуживании для всех предложенных алгоритмов. Приведенные далее результаты экспериментов показывают, что полученные теоретические оценки верны.

В четвертой главе описана модель балансировки нагрузки, которая необходима для применения алгоритмов, рассмотренных в основной части работы, к кластеру, состоящему из нескольких компьютеров. Предлагается алгоритм и критерий переноса исполняющегося виртуального сервера с одного компьютера на другой. Следует заметить, что этот алгоритм на данный момент не реализован и поэтому может рассматриваться как задел для развития данного исследования в рамках некоторого технического решения.

В целом, работа производит весьма хорошее впечатление, несмотря на присущий области ИТ объективный недостаток математической сложности. Автором проведено серьезное исследование проблемы, рассмотрен широкий спектр разработанных подходов и аккуратно проанализированы их недостатки. Автор грамотно подошел к построению новых моделей, четко указал их ограничения, с их использованием разработал и успешно реализовал соответствующие алгоритмы.

Новизна полученных результатов и их научная ценность заключается в том, что впервые получены модели, описывающие процессы сохранения и восстановления состояния исполняющихся приложений и их миграции в режиме непрерывного обслуживания с одного компьютера на другой. Практическая значимость предложенных алгоритмов миграции приложений состоит в существенном повышении эффективности обслуживания пользователей, использующих эти приложения по сети.

Построенные в работе модели основываются на корректном применении теории алгоритмов, теории операционных систем и математического аппарата. Все утверждения подтверждены ссылками на источники. Результаты экспериментов соответствуют излагаемой теории. Это дает основание считать полученные результаты достаточно обоснованными и достоверными.

Из недостатков работы можно отметить следующие.

1. Обзор в первой главе некоторых устаревших подходов кажется излишним. Их стоило вынести во введение в виде исторической справки или совсем опустить.
2. В работе мало внимания уделено обоснованию важности проведенных оценок длительности; в частности, в результатах не приведено количественного

сопоставления длительности различных этапов процесса миграции (в типичных ситуациях), из которого была бы очевидна потребность в предложенных автором усовершенствованных алгоритмах.

3. Один из выводов работы «Показана эффективность ее (т.е. предложенной модели балансировки нагрузки) использования в кластерах с большим количеством компьютеров» сформулирован слишком амбициозно. Т.е. его можно признать обоснованным лишь при условии, что имеется ввиду качественный результат анализа (а не количественное исследование в зависимости от числа компьютеров).
4. В списке использованных источников следовало бы отделить собственно публикации (статьи, доклады, книги) от инструкций, описаний и других источников в Интернет, публикациями не являющихся.
5. Подразделы "Математическая модель" в главах 2-4 не содержат описания самой математической модели (которая описывается в других подразделах), а содержат лишь ограничения и обозначения модели.

Тем не менее, указанные недостатки не снижают ценности полученных результатов.

### **Заключение**

Диссертационная работа А. Л. Миркина выполнена на высоком научном уровне. Результатом работы является решение важной задачи актуального направления в информационных технологиях. Приведенные результаты можно классифицировать как новые, обоснованные и имеющие большое практическое и научное значение.

Диссертация написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Работа отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Миркин Андрей Леонидович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Кандидат физико-математических наук, доцент  
кафедры вычислительной математики МФТИ

А. В. Евдокимов

Подпись Евдокимова А. В. удостоверяю  
Ученый секретарь МФТИ

Ю.И. Скалько