

## ОТЗЫВ

научного руководителя о кандидатской диссертации Мукосея А.В.  
*«Алгоритмы выбора узлов и построения таблиц маршрутов для высокоскоростной сети с топологией «многомерный тор»,*  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Для эксплуатации суперкомпьютеров на основе отечественной высокоскоростной сети Ангара в системном программном обеспечении сети Ангара должны быть реализованы две задачи: выбор для заданий пользователей достижимых множеств вычислительных узлов, а также построение таблиц маршрутов в выбранном множестве узлов. Достижимость множества узлов означает, что от каждого узла множества до любого другого узла этого множества должен существовать хотя бы один маршрут, удовлетворяющий правилам маршрутизации сети. При построении таблицы маршрутов необходимо учитывать критерии сбалансированности, то есть чтобы маршруты были распределены равномерно по каналам связи, от этого зависит производительность заданий пользователей. При решении задачи выбора узлов для топологии «многомерный тор» часто используются подходы с избыточностью, поэтому от качества решения этой задачи зависит эффективность использования суперкомпьютера с точки зрения выполнения вычислительными узлами полезной работы во время запуска заданий пользователей.

До выполнения работы А.В. Мукосея в системном программном обеспечении сети Ангара были реализованы так называемые базовые алгоритмы выбора узлов и построения таблиц маршрутов, однако они функционировали в

условиях очень грубых допущений, а также не поддерживали работу в условиях отказов узлов и каналов связи сети. В результате происходила потеря возможных решений задачи выбора узлов.

Ключевой частью работы А.В. Мукосея является разработка алгоритма построения маршрутного графа, который позволяет применять алгоритмы обработки графов для анализа маршрутов в коммуникационных сетях с топологией «многомерный тор» и произвольным количеством отказавших узлов и каналов связи, а также маршрутизацией, накладывающей ограничение на маршрут сетевого пакета в зависимости от истории его прохождения по сети. Разработанный маршрутный граф применим для анализа маршрутов в сетях Ангара, IBM Blue Gene L/P/Q.

На основе маршрутного графа разработаны алгоритм определения достижимости множества вычислительных узлов сети с временной сложностью  $O(N^2)$ , алгоритм построения сбалансированных таблиц маршрутов с временной сложностью  $O(N^2)$ , алгоритм выбора узлов в сети с учетом её фрагментации с временной сложностью  $O(N^4)$ , где  $N$  – количество узлов сети. Важно отметить, что в отличие от существовавших ранее алгоритмов разработанные алгоритмы охватывают несколько уровней системного программного обеспечения суперкомпьютера и позволяют на уровне управления ресурсами суперкомпьютера учитывать аппаратные возможности маршрутизации сети Ангара.

Разработанные алгоритмы реализованы и используются в составе системного программного обеспечения более, чем десяти суперкомпьютеров, построенных с использованием сети Ангара. Внедрение разработанных алгоритмов позволило на суперкомпьютере «Десмос» в ОИВТ РАН повысить утилизацию вычислительных ресурсов на 7,65%.

При выполнении диссертационной работы А.В. Мукосей проявил себя зрелым исследователем, способным как к самостоятельному выдвижению новых идей при решении задач в сложной области, так и к их реализации и проверке.

Полученные в диссертации результаты являются новыми, их достоверность подтверждается оценочным тестированием разработанных алгоритмов, экспериментами на имитационной модели вычислительной системы, на реальном суперкомпьютере «Десмос» в ОИВТ РАН, функционированием разработанных алгоритмов на суперкомпьютерах с использованием сети Ангара, а также публикацией полученных результатов.

Диссертационная работа выполнена на высоком уровне, представляет собой законченное научное исследование и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Ее результаты получены лично автором и прошли квалифицированную апробацию. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации. Рекомендую присудить ее автору А.В. Мукосею ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Семенов Александр Сергеевич,  
кандидат технических наук,  
начальник отдела архитектуры и программного  
обеспечения суперкомпьютеров,  
АО «НИЦЭВТ» (117587, Москва, Варшавское шоссе, д. 125)  
Телефон: +7 963 7706100  
Адрес электронной почты: [alxdr.semenov@yandex.ru](mailto:alxdr.semenov@yandex.ru)

17.10.2023

Подпись А.С. Семенова заверяю  
Заместитель генерального директора  
по научно-техническому развитию



Е.Р. Куштанов