



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН

Абрау-2017 • Труды конференции



И.О. Одинцов, Е.О. Тютляева,  
А.А. Московский

**На пути к инфраструктуре  
экзаскейльного суперкомпьютера**

***Рекомендуемая форма библиографической ссылки***

Одинцов И.О., Тютляева Е.О., Московский А.А. На пути к инфраструктуре экзаскейльного суперкомпьютера // Научный сервис в сети Интернет: труды XIX Всероссийской научной конференции (18-23 сентября 2017 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2017. — С. 377-378. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/78.pdf> doi:[10.20948/abrau-2017-78](https://doi.org/10.20948/abrau-2017-78)

Размещена также [презентация к докладу](#)

# На пути к инфраструктуре экзаскейльного суперкомпьютера

И.О. Одинцов, Е.О. Тютляева, А.А. Московский

*ЗАО «РСК Технологии»*

**Аннотация.** Существует ряд технологических проблем, стоящих перед разработчиками суперкомпьютеров следующих поколений. В данной работе продемонстрированы результаты исследований, которые подчеркивают высокую результативность жидкостного охлаждения (на основе кулплейтов) с комбинацией дополнительных подходов – фрикулинга и горячей воды. В рабочей эксплуатации более года находится энергоэффективный суперкомпьютер с коэффициентом PUE 1,057, работающий на горячей воде.

**Ключевые слова:** суперкомпьютер, инфраструктура, энергоэффективность, жидкостное охлаждение, фрикулинг, система на горячей воде.

Задачи, стоящие перед прикладными исследователями, требуют огромных вычислительных мощностей. Примеры областей с задачами эксафлопсного уровня: биоинформатика, астрофизика, энергетика и многие другие. Однако, если обратить внимание на десятку лучших вычислителей, входящих в международный список Top500, то она последние десять лет остается практически без изменений, а мощность лучшего вычислителя в списке последние три года прирастает очень незначительно (92-93 Терафлопа). Разберемся в причинах такого существенного замедления, если не сказать – стагнации вычислителей. Собственно, причины достаточно хорошо известны – перечислим две их основных группы:

- Экономические: высокая дороговизна решений, сложности с обоснованием необходимости использования суперкомпьютеров в индустрии, ...
- Технологические: необходимость энергетической эффективности, необходимость обеспечения вычислительной плотности, обеспечение отказоустойчивости, ...

Следует подчеркнуть, что технологические проблемы существенно растут при движении к эксафлопсному уровню. Часто даже говорят об экзаскейльном уровне — подчёркивая необходимость экстремального масштабирования суперкомпьютера. В данной работе мы обратим внимание на проблемы энергоэффективности и примеры их успешного решения.

Процессоры и другие основные узлы вычислителя при работе выделяют тепло, которое надо как снять с узла, так и сбросить его. При равных затратах

на электроэнергию более энергоэффективная вычислительная система обладает большей производительностью. Для оценки применяется коэффициент PUE (Power Usage Effectiveness), который определяется как отношение общей потребленной суперкомпьютерным центром энергии к энергии, которая пошла непосредственно на нужды суперкомпьютера (например, работу процессора, памяти, ...).

Известны и применяются следующие основные типы охлаждения вычислителя: воздушное, улучшенное воздушное, комбинированное водо-воздушное охлаждение, иммерсионное (погружное) охлаждение, жидкостное охлаждение (кулплейт). Исследования показывают, что использование системы непосредственного жидкостного охлаждения позволяет сократить энергопотребление на 45% и достичь коэффициента PUE 1,057.

Итак, для снятия тепла мы выбрали в качестве основной технологии прямое жидкостное охлаждение. Но нужен грамотный подход для сброса снятого тепла, и здесь применяются следующие дополнительные подходы:

- Система естественного кондиционирования (free cooling, фрикулинг) – охлаждение за счет холодного воздуха снаружи.
- Система на горячей воде (hot water cooling) – охлаждение при температуре хладоносителя +42 (для долговременной эксплуатации) и (кратковременно) до +65 °С на входе в вычислительные узлы.

Для фрикулинга вполне достаточно сухой (радиаторной) градирни, которая характеризуется закрытым контуром, отсутствием попадания примесей извне, возможностью работы на горячей воде, возможностью работы на различных жидкостях, отсутствием капельного уноса и т.п.

Исследования показывают линейную зависимость между температурой охлаждающей жидкости на входе и температурой процессора при его максимальной нагрузке. Рабочая эксплуатация одного из суперкомпьютеров проводится уже более года на температуре до +45 °С. Ухудшение производительности при температуре хладоносителя на входе в диапазоне 50-65 °С составляет всего 3%. Пример двухчасового тестирования на пакете LINPACK даёт следующие результаты:

- +19 °С на входе  $\Rightarrow$  LINPACK = 1001 TFLOPS
- +45 °С на входе  $\Rightarrow$  LINPACK = 1003 TFLOPS
- +57 °С на входе  $\Rightarrow$  LINPACK = 983 TFLOPS

Основным результатом данного исследования является практическая реализация и рабочая эксплуатация более года энергоэффективного суперкомпьютера с коэффициентом PUE 1,057, работающего на горячей воде. В марте 2017 года в строй введены еще два суперкомпьютера (Москва и Новосибирск) с аналогичными характеристиками, причём они связаны высокоскоростной сетью.