

УДК 004.382.2

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-380412201545935>

**І. Г. Калюжний**<sup>1</sup>, бакалавр

## **СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СУПЕРКОМП'ЮТЕРІВ. ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ**

**En**

Supercomputers are computers, that have a huge amount of memory and consist of a large number of processors perform parallel calculations. Elements of this infrastructure characterized by the consumption of large amounts of electricity, while a significant amount of heat are allocated.

Energy costs of this system requiring a powerful and flexible specialized cool-

---

<sup>1</sup> Національний технічний університет України "КПІ",  
факультет інформатики та обчислювальної техніки

ing system, so research in this area is particularly urgent.

Modern computer systems use air and water for cooling systems of various designs. Liquid cooling systems are open and closed, or submersible type. In systems of open type intended for cooling elements immersed in a dielectric fluid.

For improvement of the submersible type system, proposed to use new generation of chemical liquid called "dry water". "Dry Water" has unique properties - it is not a solvent, does not conduct electric current, non-toxic, non-flammable, safe for the environment - its vapor destroyed by ultraviolet rays for 5 days without the formation of toxic compounds. When immersed in a box of "dry water" electronic devices, they continue to work.

When using "dry water" could achieve the following tangible benefits: high energy efficiency; simple design, dense arrangement of equipment; high reliability; fire and environmental safety; safety for personnel; the lack of noise, dust and pollutants; simplicity in the management and monitoring; durability.

Thus, the cooling system using submersible "dry water" without drawbacks of air systems and closed fluid systems, and much more effective for them.

## **Ru**

Рассмотрены современные способы охлаждения суперкомпьютеров, основные конструкции систем охлаждения. Проанализированы достоинства и недостатки, проблемы эффективного и безопасного охлаждения суперкомпьютерных систем. Предложено использование нового вещества – «сухая вода» - в качестве охлаждающего элемента в системе охлаждения методом погружения, как самого перспективного на сегодняшний день.

## **Вступ**

Суперкомп'ютерами називають комп'ютери, які мають величезний об'єм пам'яті та складаються з великої кількості процесорів, що виконують паралельні обчислення. Елементи цієї інфраструктури характеризуються споживанням великої кількості електроенергії, при цьому, відповідно, виділяється значна кількість тепла. До того ж різні елементи комп'ютерної системи нерівномірно виділяють тепло, тому що навантаження на них постійно змінюється.

На сьогоднішній день найпотужнішим суперкомп'ютером у світі за рейтингом міжнародної організації «Топ 500» признаний комп'ютер Тяньхе-2, розроблений науковцями китайського Національного університету оборонних технологій [1]. Швидкість його обчислень складає близько 33860 трлн. з плаваючою комою операцій в секунду. Для забезпечення такої швидкості розрахунків цей агрегат споживає 17,8 МВт електроенергії. Енергетичні затрати такого порядку потребують потужної та гнучкої спеціалізованої охолоджувальної системи, тому дослідження в цій галузі особливо актуальні.

З сучасним розвитком науково-технічного прогресу дедалі частіше виникає необхідність застосування суперкомп'ютерів практично в усіх галузях. Подальше вдосконалення та робота суперкомп'ютерів в значній мірі залежать від якості охолодження структурних елементів комп'ютерних систем.

**Постановка задачі**

Змоделювати систему охолодження, яка була б безпечною та зручною в обслуговуванні, потужною, енергоощадною, довговічною, гнучкою та ефективною для використання в суперкомп'ютерних системах.

**Види систем охолодження суперкомп'ютерів**

В сучасних комп'ютерних системах використовують повітряні або водяні охолоджувальні системи різної конструкції. Кожна з них має свої переваги та недоліки.

*Повітряні системи охолодження.*

Самими першими охолоджувальними системами комп'ютерів були саме повітряні системи. Це досить габаритні конструкції, що потребують великої кількості обладнання - трубопроводів, насосів, вентиляторів, кондиціонерів, систем фільтрації повітря. Вони прості у використанні та обслуговуванні. Серед недоліків таких систем можна назвати велику енергозатратність, високий рівень шуму та пилу, значні розміри конструкції та невисоку ефективність. Повітряну систему охолодження мають деякі суперкомп'ютери лінії *Cray, HP Apollo 6000*.

*Рідинні охолоджувальні системи*

Найчастіше у якості рідини для охолодження виступає вода. Порівняно з повітряним охолодженням, рідинне охолодження має ряд переваг – більшу компактність, безшумність, значно вищу (в 50-100 разів в залежності від конструкції) ефективність та набагато менші затрати енергії, можливість вторинного використання гарячої води для обігріву приміщень. Великою перевагою рідинних систем є значно більша теплоємність рідин порівняно з повітрям – від 1500 до 4000 разів [2].

Системи рідинного охолодження бувають двох типів.

*Закритого типу.* Елементи, що потребують охолодження, щільно покриваються металеву пластину з каналами для проходження охолоджувальної рідини, які з'єднані зі спільним теплообмінником, що знаходиться окремо від комп'ютерної системи. Охолоджувальна рідина рухається по трубкам завдяки насосам. Такий тип охолодження має складну конструкцію та вимагає високої герметичності з'єднань. Ще однією проблемою закритого типу охолодження є виникнення точки роси, внаслідок чого на пластині може накопичуватися волога. Тому для моніторингу та управління охолоджувальною системою встановлюють додаткові датчики, які контролюють рівень вологи. Комп'ютерні системи, що охолоджуються системою цього типу – *СКІФ-Аврора (Росія), IBM Aquasar, INSPUR Sunway Blue Light* (рис. 1).

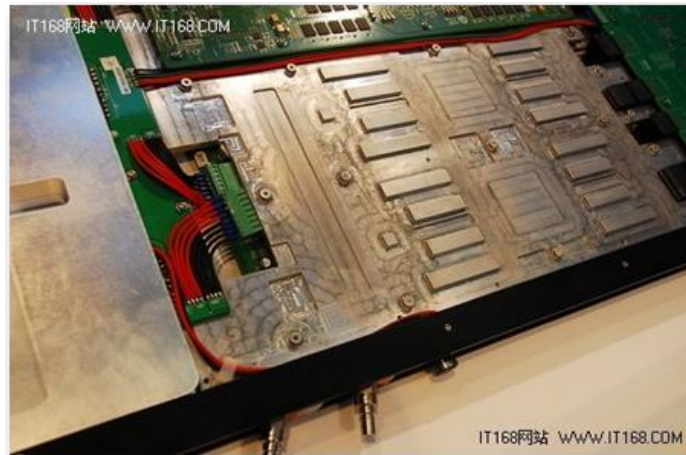


Рис. 1. Зовнішній вигляд елемента охолоджувальної системи закритого типу комп'ютерної системи *INSPUR Sunway Blue Light*

Охолоджувальні системи відкритого типу, де призначені для охолодження елементи занурюють у діелектричну рідину. Вперше таке охолодження елементів було реалізоване у 1982 р. на суперкомп'ютері *Cray 2*. Така система має багато переваг перед попередньою. По-перше, сама по собі відпадає проблема точки роси, адже елементи повністю покриті рідиною. По-друге, максимально спрощується конструкція, непотрібною стає складна система колекторів, датчиків, що сприяє збільшенню надійності і зменшенню енергозатратності та вартості. Велике значення для безперебійної роботи суперкомп'ютерів в даному випадку відіграє також повна відсутність забруднення. В якості наповнювача контейнерів найчастіше виступають, як правило, мінеральні олії.

Занурювальну систему охолодження має японський суперкомп'ютер *Tsubame-KFS*. Охолоджувальну систему розробила та встановила компанія *Green Revolution Cooling* (рис. 2). Ще одна група компаній, що активно працює в цьому напрямку – «СТОПУС». Разом з інститутом програмних систем ім. А. К. Айламазяна, Росія, ними була розроблена технологія занурювального охолодження *IMMERS*.

Система *IMMERS* являє собою замкнений цикл [3]. Рідина охолоджує елементи комп'ютера у повністю герметичному резервуарі, після чого поступає у зовнішній охолоджувач, де перебуває до охолодження до необхідної температури, а звідти – знову до резервуару. Рух рідини в системі відбувається за допомогою явища конвекції та спеціальних насосів з інтелектуальним управлінням (рис. 3).

Завдяки унікальним характеристикам охолоджувальної системи *IMMERS* забезпечуються такі важливі для суперкомп'ютерів показники як висока щільність розміщення компонентів, високий ступінь надійності та захищеності системи, низький рівень енергоспоживання.



Рис. 2. Зовнішній вигляд елемента охолоджувальної системи відкритого типу суперкомп'ютера *Tsubame-KFS*

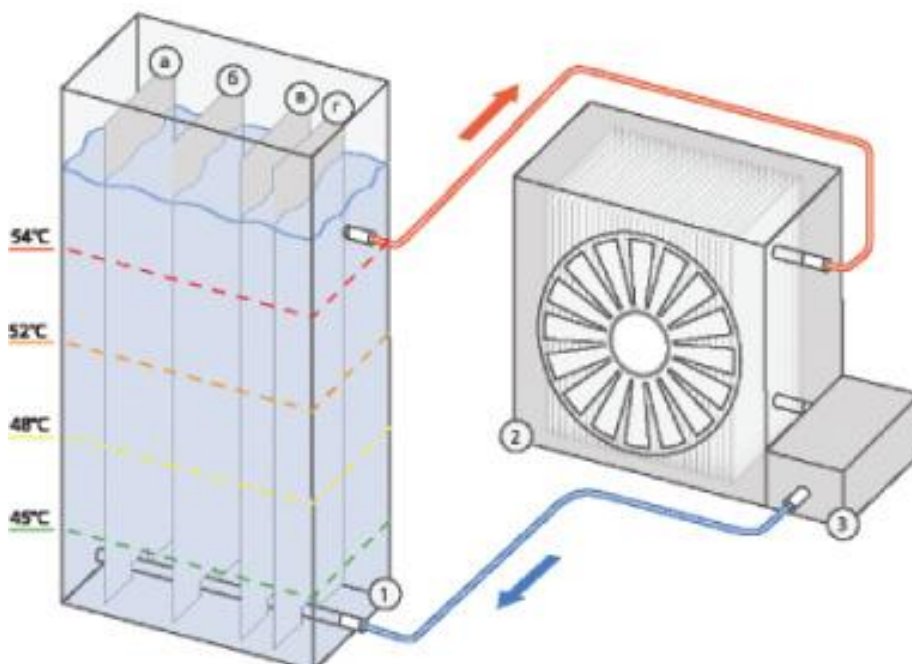


Рис. 3. Схема охолоджувальної системи IMMERS:

- 1 – резервуар з рідиною та встановленими елементами, а, б, в, г-елементи комп'ютера (материнська плата, системи живлення, зберігання тощо);
- 2 – зовнішній охолоджувач; 3 – насос

Численні переваги занурювальних систем охолодження відкритого типу спонукають науковців проводити нові дослідження в цьому напрямку. Вдосконалити систему охолодження типу *IMMERS* можна, знайшовши принципово іншу рідину для заповнення резервуарів з елементами обчислювальних машин.

**Вдосконалення систем охолодження суперкомп'ютерів**

В 2004 році вперше була продемонстрована хімічна речовина нового покоління під назвою «суха вода». Розроблена вона була спеціально для гасіння пожеж як заміник існуючим на той час досить шкідливим фреонам. Свою назву отримала від схожості зі звичайною водою. Запатентувала цю речовину американська компанія «ЗМ», сьогодні речовина під назвою ЗМ *Noves* успішно використовується для гасіння пожеж у спеціалізованих приміщеннях, де використання води могло б нанести непоправної шкоди – бібліотеках, серверних, тощо.

«Суха вода» має унікальні властивості – вона не являється розчинником, не проводить електричний струм, нетоксична, негорюча, безпечна для навколишнього середовища – її пари руйнуються під дією ультрафіолетових променів протягом 5 діб без утворення отруйних сполук. При зануренні в резервуар з «сухою водою» електронних приладів, вони продовжують працювати. Ці якості речовини наводять на думку про те, що її можна використати як охолоджувальну рідину у системі відкритого типу.

«Суха вода» має низьку температуру кипіння ( $34^{\circ}\text{C}$ ,  $49^{\circ}\text{C}$ ,  $56^{\circ}\text{C}$  в залежності від типу), завдяки чому відбувається перехід від рідкої фази до газоподібної, що супроводжується поглинанням великої кількості тепла [4]. Цей процес близько на 85 % може зменшити енергозатрати системи охолодження, адже він не потребує переміщення рідини за допомогою гідравлічних pomp, як у випадку з мінеральним маслом. «Суха вода» кипить і перемішується, видаляє зайве тепло завдяки фізичним процесам випаровування і конденсації, через що конструкція системи значно спрощується, що, в свою чергу, дає можливість значно зменшити площу розташування елементів комп'ютерних систем.

При конструюванні такої системи охолодження виникає проблема втрати робочої рідини через її високу летючість. Для уникнення цього недоліку потрібно над поверхнею випаровування установити додатковий охолоджувальний змієвик з підключенням датчиків температури повітря. При досягненні заданої температури змієвик буде включатися та охолоджувати випари, повертаючи їх у рідкий стан (рис. 4).

Для характеристики ефективності використання електроенергії охолоджувальних систем використовують показник *PUE*. Для повітряної системи охолодження *PUE* становить не менше 2,0, для рідинної (водяної) – близько 1,06, для системи охолодження методом занурення у «суху воду» можна досягти значення *PUE* менше 1,01.



Рис. 4. Схема охолодження за допомогою «сухої води»

### Висновки

Визначено, що найбільш універсальною являється занурювальна система. В якості охолоджувальної рідини використовують речовину під назвою «суха вода», яка надає наступні переваги:

- висока енергоефективність;
- простота конструкції, щільне розташування обладнання;
- висока надійність;
- пожежна та екологічна безпечність;
- гнучкість;
- безпечність для персоналу;
- відсутність шуму, пилу, шкідливих речовин;
- простота в управлінні та моніторингу;
- довговічність.

Таким чином, системи занурювального охолодження з використанням «сухої води» позбавлені недоліків повітряних систем та закритих рідинних систем та набагато ефективніші.

### Список використаної літератури

1. Дружинін Є. Энергоэффективное охлаждение суперкомпьютеров. Краткий обзор технологий охлаждения ЦОД. «Суперкомпьютеры» N 3 (11), 30 с.
2. ICS 2014: матеріали Міжнародної конференції з суперкомп'ютерних обчислень, 13-14 черв. 2014 року, Мюнхен, Німеччина/ Баварська академія наук – Режим доступу: <http://www.lrr.in.tum.de/~gerndt/ICS2014/>.

3. ISC-2014: матеріали Міжнародної суперкомп'ютерної конференції, 22-26 черв. 2014 року, Лейпціг, Німеччина/ Конгрес-центр - Режим доступу: <http://isc-events.com/isc14/>.
4. *Головинський А. Л.* Сучасні методи охолодження суперкомп'ютерних центрів /А.Л. Головинський, А.Л. Маленко // Високопродуктивні обчислення 2014: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. 13-15 жовт. 2014 року, Київ, Україна, НАН України, Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова. – Режим доступу: <http://hpc-ua.org/hpc-ua-14/files/proceedings/6.pdf>.
5. Los Alamos National Laboratory [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [США, Лос-Аламос: Los Alamos National Laboratory, 1943-2015]. - Режим доступу: <http://www.lanl.gov/discover/news-release-archive/2015/March/03.16-los-alamos-reduces-water-use.php>.
6. Иммерс [Електронний ресурс]: [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [Российская федерация, :Москва: Иммерс, 2010-2015]. - Режим доступу: <http://immers.ru/tech/operating//>.
7. 3m Science. Applied to Life [Електронний ресурс] : [Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [USA, : Saint Paul: 3m, 1902-2015]. - Режим доступу: [http://solutions.3mrussia.ru/wps/portal/3M/ru\\_RU/3MNovec/Home/ProductCatalog/1230/BlueSkyWarranty/](http://solutions.3mrussia.ru/wps/portal/3M/ru_RU/3MNovec/Home/ProductCatalog/1230/BlueSkyWarranty/).