

КІБЕРНЕТИКА та КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.38

DOI:10.34229/2707-451X.23.4.3

Н.В. КРАВЧЕНКО, А.Л. ГОЛОВИНСЬКИЙ, А.Л. ГРАБОВСЬКИЙ,
О.Ю. БАНДУРА

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ СУПЕРКОМП'ЮТЕРІВ СІМЕЙСТВА СКІТ ІНСТИТУТУ КІБЕРНЕТИКИ ІМЕНІ В.М. ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ

Вступ. Під науковим керівництвом І.В. Сергієнка в 2003–2005 рр. в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України створено перший з сімейства суперкомп'ютерів СКІТ на найкращій технологічній основі свого часу і розроблено більше 20 інформаційних комп'ютерних технологій для них. Розробку архітектури та системного програмного забезпечення, які лягли в основу всього сімейства, вели В. Коваль, А. Якуба, С. Рябчун, А. Головинський, В. Сав'як. В СКІТ втілені оригінальні розробки у сфері системного програмного забезпечення та вітчизняні математичні бібліотеки, розроблені під керівництвом І. Молчанова, О. Перевозчикової, О. Хімича, В. Тульчинського.

Суперкомп'ютери сімейства СКІТ представляють собою несерійні дослідні системи. У них втілені оригінальні вітчизняні розробки у сфері системного програмного забезпечення та бібліотеки вітчизняної математики. Завдяки цьому Інститут ввійшов у склад провідних організацій світу, здатних самостійно вирішувати надскладні задачі державного значення. Це стосується задач, пов'язаних з питаннями ринкової економіки, розвитку областей науки (інформатики, біології, медицини, енергетики, вивчення космосу та інших), а також з проблемами військового-оборонного комплексу, захисту інформації у комп'ютерних мережах тощо. Схему кластерного комплексу показано на рис. 1.

Оскільки з кожним роком галузі розвивалися, то і потрібно було вирішувати велику кількість задач, які не можна було швидко обчислити на звичайному персональному комп'ютері. Таким чином зростав попит користувачів на суперкомп'ютер.

Для ефективної роботи потужної обчислювальної машини свого часу були розроблені бібліотеки прикладного програмного забезпечення методів лінійного програмування та способів наближення, у тому числі і чебишовська апроксимація [1].

У 2003 році на базі Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України був створений дослідний варіант суперкомп'ютера, який постійно вдосконалювався і згодом перетворився на суперкомп'ютерний комплекс СКІТ – «Суперкомп'ютер для інформаційних технологій». За 20 років діяльності можна проаналізувати роботу СКІТ та зробити висновки.

Ключові слова: суперкомп'ютер, архітектура СКІТ, кластерний комплекс.

© Н.В. Кравченко, А.Л. Головинський,
А.Л. Грабовський, О.Ю. Бандура, 2023

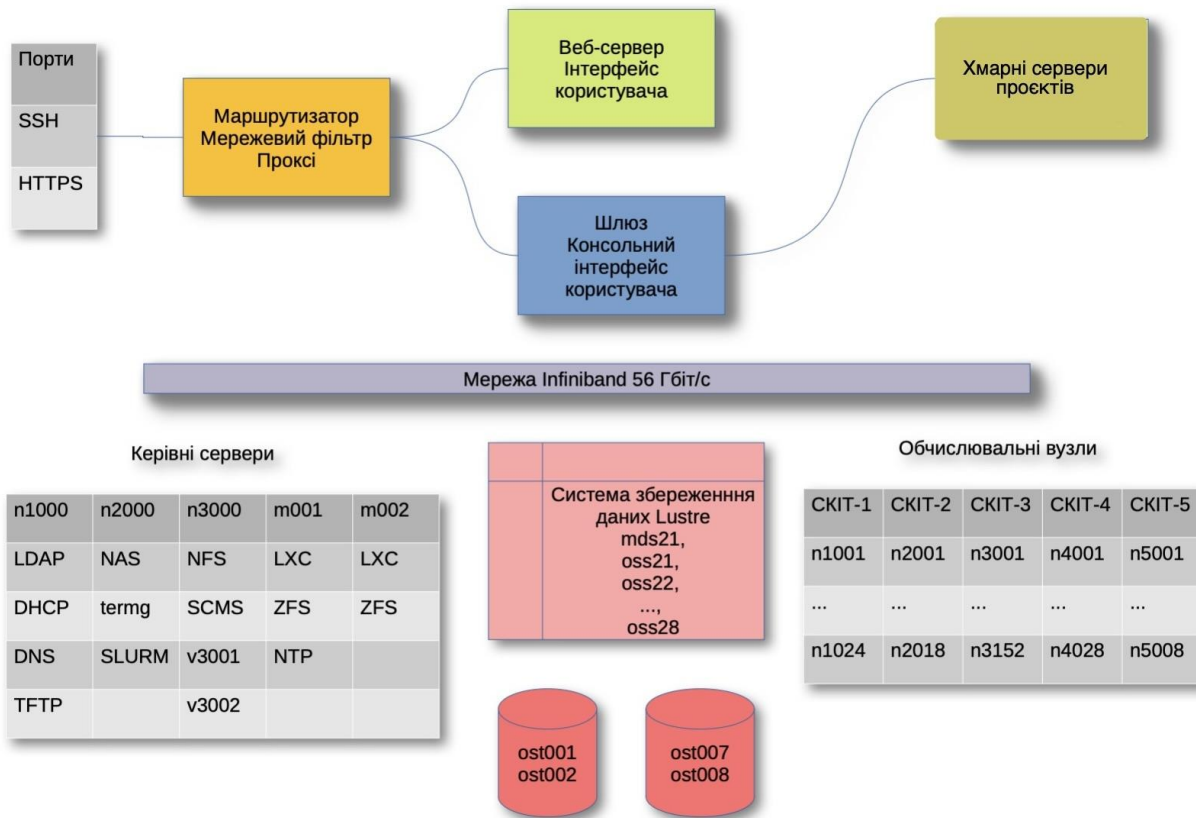


РИС. 1. Схема кластерного комплексу

З допомогою суперкомп'ютерного комплексу СКІТ стає можливим реалізація інформаційно-аналітичних систем, в основі яких є дослідження процесів прийняття управлінських рішень у різних галузях. Суть їх полягає у тому, що співробітниками Інституту кібернетики створюються нові інформаційні технології, оригінальні математичні моделі для моніторингу та аналізу різноманітних економічних процесів, прийняття колективних рішень та вибір оптимальних стратегій в умовах невизначеності та ризиків, а також математичні моделі та методи прогнозування з безпосереднім використанням статистичних та експертних даних. Саме завдяки суперкомп'ютеру стає можливим використання таких систем з необхідним ступенем захисту інформації на державному рівні у реальному режимі часу [2].

Показником ефективної роботи на суперкомп'ютерних центрах виступає аналіз статистики діяльності користувачів. Подібне дослідження проведено для суперкомп'ютера Кракен Оакріджської лабораторії (США) [3]. Ці два комплекси мають подібну структуру вирішення надскладних задач за областями науки, а також параметри їх розподілу. Відмінність суперкомп'ютерів полягає у кількості ядер процесорів та географічне розміщення.

Архітектура СКІТ

Архітектура кластерів сімейства суперкомп'ютерів СКІТ фактично пройшла сім основних етапів, наведених в таблиці.

ТАБЛИЦЯ. Продуктивність кластерів сімейства СКІТ

Рік	Назва	Кількість процесорних ядер	Продуктивність у Linpack, Rpeak, ТФлопс
2003	СКІТ-0	4	0.02
2004	СКІТ-1	48	0.19
2005	СКІТ-2	64	0.28
2007	СКІТ-3	725	5.3
2012	СКІТ-4	448	18
2018	СКІТ-4.5 AI	144	100
2021	СКІТ-5	1280	30

У 2003–2004 рр. на базі Інституту кібернетики під керівництвом І.В. Сергієнка та В.М. Коваля було створено перший дослідний зразок кластера СКІТ-0. У роботах авторів детально описано основні ідеї проєкту [4, 5]. СКІТ-0, як перший випробувальний варіант кластера, мав 4 вузли на процесорі AMD Duron 800, мережу 100Мб Fast Ethernet. На даному кластері створено сховище даних об’ємом 160 Гб на основі масиву з архітектурою RAID-1.

СКІТ-0 був оригінальним кластером, відмінним від класичної архітектури Beowulf саме бездисковим принципом завантаження, тобто на ньому всі вузли були клонами, завантаження яких відбувається з одного образу операційної системи. Завдяки даній особливості стало можливим синхронно вносити зміни у системне та прикладне програмне забезпечення, що у свою чергу полегшило його адміністрування. Спільне дискове сховище для домашніх тек користувачів, яке синхронно монтувалось на усі вузли кластера було новим архітектурним рішенням. У подальшому дана архітектура була використана і у наступних проєктах. МРІ задачі запускалися на СКІТ-0 з ручним контролем зайнятості вузлів, на даному кластері була відсутня спеціалізована система керування чергою обчислювальних задач. Завдяки СКІТ-0 було здійснено розрахунок низки задач з моделювання зміни клімату, фільтрації ґрунтів та розрахунку міцності конструкцій.

2004–2006 рр. стали проривними в Інституті кібернетики, оскільки одночасно було створено два принципово різних кластери – СКІТ-1 та СКІТ-2. Авторами статей детально описано основні ідеї та особливості даних потужних машин [5, 6].

Кластер СКІТ-1 був облаштований на процесорах Intel Xeon з 32-бітною архітектурою i686, мав 24 вузли, мережу Infiniband SDR 10 Гбіт/с.

В свою чергу кластер СКІТ-2 був побудований з 32 вузлів на інноваційних процесорах Intel Itanium-2 з 64-бітною архітектурою ia64. На відміну від СКІТ-1, на СКІТ-2 мав інтерконект Dorphinics SCI мав вищу швидкодію та нижчу латентність, ніж у Infiniband. Однак спостерігалися проблеми з надійністю. Комплекси мали спеціальні керівні сервери та спільне сховище для збереження даних об’ємом 480 Гб на основі контролерів MegaRAID з архітектурою RAID-6.

Особливість кластера СКІТ-2 – технологія IPMI-1.1, завдяки якій виникла можливість керувати живленням вузлів та контролювати стан обладнання. Згодом система IPMI-1.1 з’явилася на платформах Intel x64.

Для кластерів СКІТ-1 та СКІТ-2 була розроблена оригінальна система керування ресурсами MVS, яка давала змогу формувати чергу задач надала зручний діалоговий інтерфейс користувача. Завдяки даній системі виникла можливість працювати у денний та нічний час та задавати пріоритети обчислювальних задач. Так, у денний час на кластері запускалися в основному короткі задачі, а надскладні за-

дачі, які вирішувалися тривалий час, запускалися вночі. У такий спосіб звільнялися ресурси для роботи програмістів протягом робочого дня.

Кластер СКІТ-3 створено в 2007–2008 рр. [7]. Кластер мав 125 вузлів та 725 процесорних ядер. В основу кластера були покладені новітні на той момент 64-бітні процесори 2-ядерний Intel Xeon 5160 3.0 ГГц та 4-ядерний Xeon E5345 2.33 ГГц з архітектурою x64. На СКІТ-3 використовувалася швидкісна мережа передачі даних Infiniband DDR 20 Гбіт/с.

При побудові системи збереження даних для кластерів важливу роль зіграв перехід на паралельну файловою систему Lustre. Дана файлова система має можливість підтримувати величезне число клієнтських систем, так як в її складі є такий набір вузлів збереження, які підтримують одночасну паралельну роботу з вузлами кластера. В результаті під час обчислення паралельних задач досягається швидкодія дискової системи понад 1 ГБ/с. Також для СКІТ-3 збільшується до 33 ТБ і об'єм самої системи (рис. 2). З цього рисунку видно, що об'єм системи збереження коливається в околі 150 ТБ.

При виборі менеджера ресурсів було обрано SLURM, який відзначився гнучкістю у контролі за потоком задач, обчислювальними вузлами та простотою конфігурації.

28-вузловий кластер СКІТ-4 було створено у 2013 р. [8, 9]. Він був створений на новітній платформі HP ProLiant Gen8 Blade Systems, багатоядерних процесорах Intel Xeon E5-2600 2.6 ГГц з архітектурою x64 та графічних прискорювачах NVidia Tesla M2075.

Завдяки графічним прискорювачам стало можливим частину обчислювального алгоритму виконувати на власних спеціалізованих процесорах, яких є значна кількість на одній платі – 448 для M2075, 1344 на одному вузлі. Поява СКІТ-4 із графічними обчислювальними вузлами дозволила почати дослідження в області штучного інтелекту.

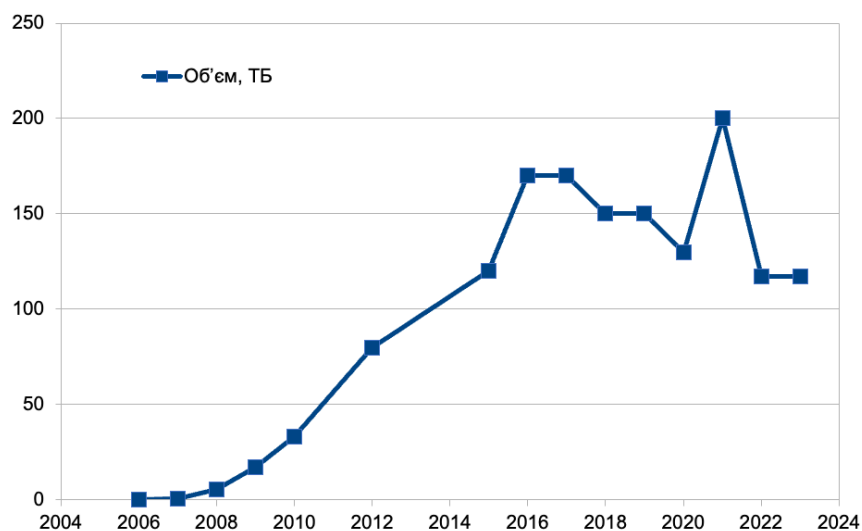


РИС. 2. Об'єм сховища на основі паралельної файлової системи Lustre

Кластер СКІТ-5, створений у 2021 році, став наступною системою у сімействі. У даному комплексі здійснено перехід на SSD накопичувачі у системі збереження даних. СКІТ-5 – це 8-вузловий кластер, який містить 192 і 128-ядерні вузли на процесорах AMD EPYC 7642. Пікова продуктивність, яку було зафіксовано на СКІТ-5, становить 100 TFLOPS. Суперкомп'ютерний комплекс СКІТ-5 функціо-

нує на операційній системі Ubuntu 20.04, мережа передачі даних між вузлами Infiniband HDR становить 200 Гбіт/с. Об'єм сховища у комплексі СКІТ-5 становить 64 ТБ.

Суперкомп'ютери, які функціонують на базі Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова, мають змогу вирішувати непосильні для персональних комп'ютерів принципово нові надскладні задачі великої розмірності у різних сферах діяльності науки та техніки, енергетики, медицини, економіки та інших галузях.

Застосування у науці та техніці

За двадцять років роботи комплексу навколо нього утворилась унікальна спільнота науковців з різних областей науки, які опанували, розробляються і активно використовують паралельне програмне забезпечення для вирішення складних задач відповідних областей.

За період функціонування потужного комплексу СКІТ змінювалась і кількість користувачів, які працювали на кластерах. Дослідження проводяться як науковцями Інституту кібернетики, так і дослідниками з інших установ НАН України та організацій МОН України (рис. 3). Використовуючи суперкомп'ютери СКІТ українські вчені отримали прикладні та фундаментальні результати у таких галузях, як біофізика, біохімія, фізична хімія, квантова механіка, медицина, геологія, геофізика, нанотехнології тощо.

Завдяки комплексу СКІТ забезпечується діяльність інститутів НАН України, користувачам провідних університетів МОН України, іншим державним організаціям та підприємствам. Використовуючи суперкомп'ютери СКІТ українські вчені отримали результати в прикладних та фундаментальних дослідженнях у таких галузях, як біофізика, біохімія, фізична хімія, квантова механіка, медицина, геологія, геофізика, нанотехнології та інші.

Статистика роботи комплексу СКІТ

Для забезпечення ефективного функціонування кластерного комплексу СКІТ та його пристосування до потреб користувачів, надзвичайно важливо проводити збір та аналіз статистики роботи кластера. Завдяки цій важливій інформації можливо визначити структуру обчислювальних задач, встановити, якому прикладному програмному забезпеченню необхідно найбільше приділяти увагу, коригувати різноманітні параметри черги задач, створювати нові профілі запуску задач у веб-інтерфейсі користувача. Також дуже актуальним є контроль за використанням кластерних ресурсів окремими користувачами або організаціями.

При обробці даних від менеджера ресурсів SLURM можливо отримати наступні статистичні показники використання кластера за даний певний період:

- кількість задач, які були запущені на виконання. Цей показник показує активність використання кластера користувачами в кількісному вираженні;
- структура задач за статусом завершення як в абсолютних, так і відносних величинах. Дозволяє визначити, яка частка задач серед поставлених у чергу виконана успішно;
- середня тривалість однієї задачі. Визначає характер використання кластера: екстенсивно чи інтенсивно;
- сумарне завантаження кластера в процесоро-секундах, визначається як тривалість виконання кожної задачі, помноженої на кількість зайнятих нею процесорів;
- окремо необхідно розраховувати статистичні дані як по кластеру в цілому, так і в розрізі користувачів та організації, при цьому додатково обраховуються наступні параметри;
- частка задач окремого користувача чи організації у загальній кількості задач за період, дозволяє визначити його активність по запуску задач у порівнянні з іншими користувачами;

- частка завантаження кластера користувачем у сумарному завантаженні кластеру, дозволяє відстежити основних споживачів кластерних ресурсів СКІТ.

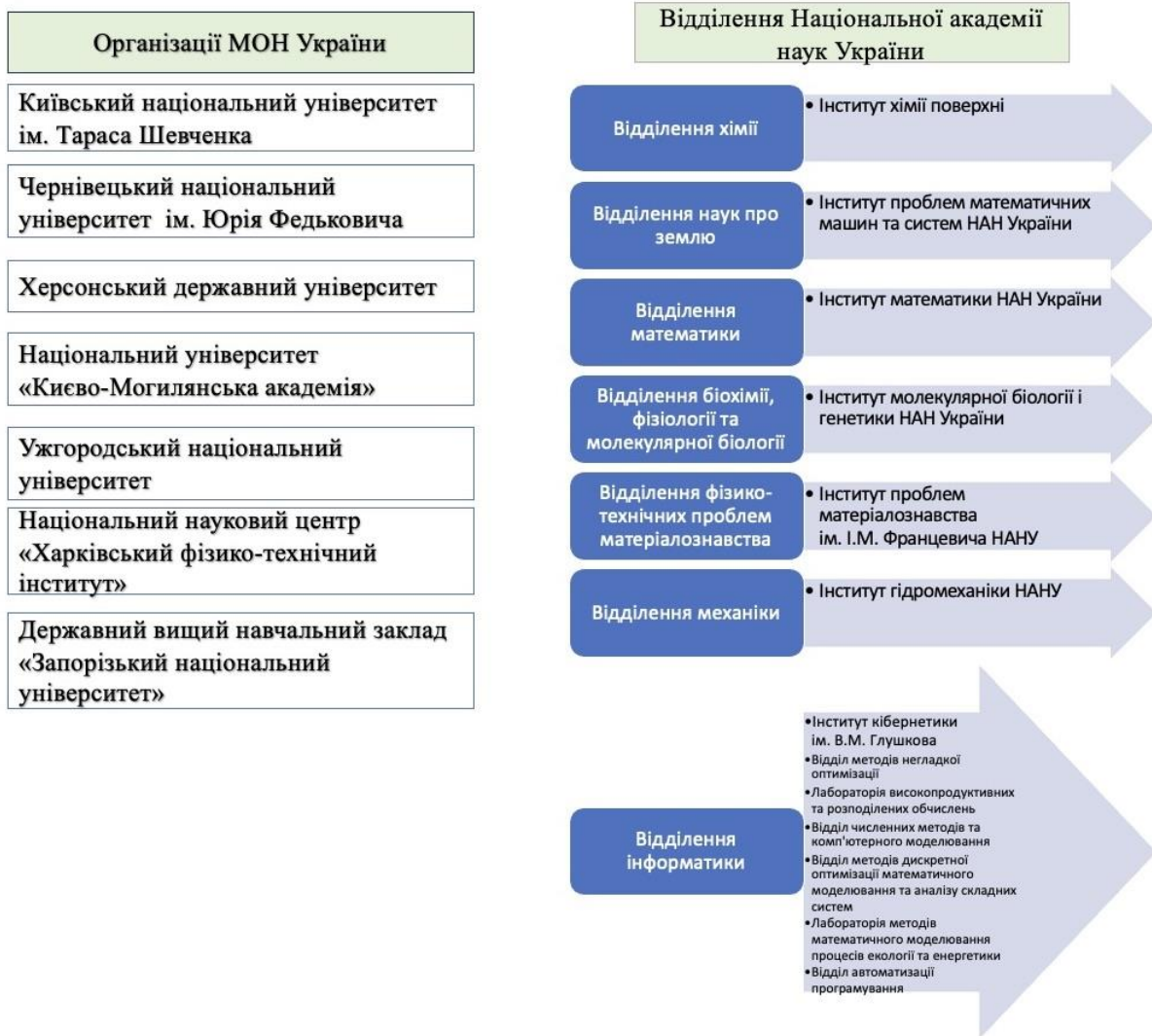


РИС. 3. Користувачі суперкомп'ютерного комплексу СКІТ

Загалом, за період 2005–2023 рр. на кластерах СКІТ виконано 2 млн. задач користувачів, СКІТ надав 29,4 млн процесоро-годин обчислювальних ресурсів (рис. 4).

Аналізуючи статистику за період 2009–2023 рр. бачимо, що тренд, який склався у 2007–2010 рр. закінчився революцією гідності та початком російської агресії в Україні. Останнє зростання об'ємів обчислень пов'язане зі створенням кластера СКІТ-5, який суттєво збільшив загальну потужність обчислювального комплексу.

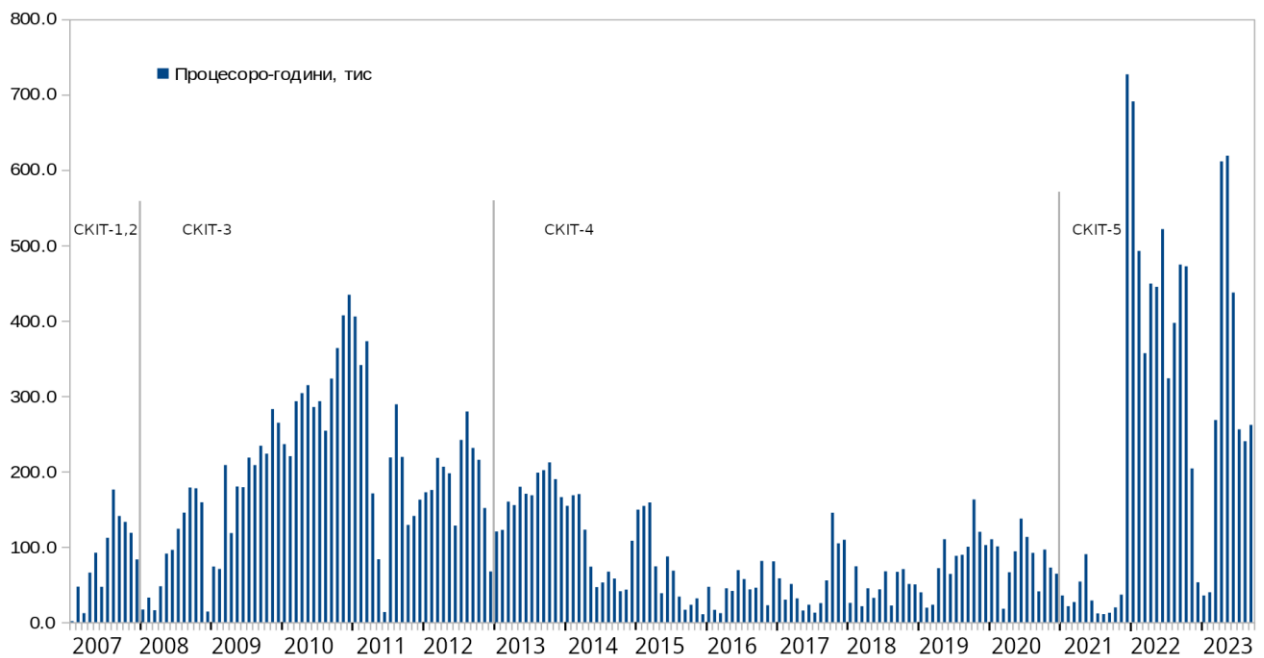


РИС. 4. Навантаження кластерів СКІТ за період 2007–2023 рр.

Висновки

Результати досліджень з створення комп'ютерних інформаційних технологій, які проводилися за останні роки в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова, виступають важливою складовою розвитку інформаційної спільноти.

Україна історично вважається одним з міжнародних лідерів розвитку інформатики, має великий кадровий потенціал та налагоджену систему підготовки кадрів, має значний досвід у розробці нових комп'ютерних технологій та володіє розвинутою інфраструктурою телекомунікаційного зв'язку на всій своїй території (за виключенням окупованих територій). Можна стверджувати, що при належній державній підтримці наша країна матиме можливість зайняти гідне місце серед інших інформаційно розвинутих країн.

Враховуючи той факт, що в наш час розвиток науки переживає певні проблеми, вчені та співробітники Інституту кібернетики гідно продовжують розвивати наукову сферу, базуючись на наукових відкриттях своїх попередників.

Список літератури

1. Каленчук-Порханова А.А. Наилучшая чебышевская аппроксимация для сжатия численной информации. *Кибернетики и системный анализ*. 2009. № 6. С. 99–107.
2. Лавренюк С.И., Перевозчикова О.Л. Определение оптимального метода прогноза загрузки кластерных ресурсов и грид-узлов. *Кибернетика и системный анализ*. 2011. № 2. С. 159–172.
3. You H., Zhang H. Comprehensive Workload Analysis and Modeling of a Petascale Supercomputer. 16 th International Workshop, JSSPP 2012, Shanghai, China, May 25, 2012. Revised Selected Papers. P. 253–271.

4. Коваль В.Н., Савьяк В.В., Сергиенко И.В. Тенденции развития современных высокопроизводительных систем. *Управляющие системы и машины*. 2004. № 6. С. 31–43.
5. Коваль В.Н., Савьяк В.В. Мультипроцессорные кластерные системы: планирование и реализация. *Искусственный интеллект*. 2004. № 3. С. 31–43.
6. Сергієнко І., Коваль В. СКІТ – український суперкомп'ютерний проєкт. *Вісник Національної академії наук України*. 2005. № 8. С. 3–13. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2005_8_1
7. Головинский А.Л., Рябчун С.Г., Якуба А.А. Гетерогенный кластерный комплекс Института кибернетики НАН Украины: средства построения. *Искусственный интеллект*. 2006. № 3. С. 107–112.
8. Головинський А.Л., Маленко А.Л., Сергієнко І.В., Тульчинський В.Г. Енергоефективний суперкомп'ютер СКІТ-4. *Вісник Національної академії наук України*. 2013. № 2. С. 50–59. <https://doi.10.15407/vsn2013.02.050>
9. Головинський А.Л., Сергієнко І.В., Тульчинський В.Г., Маленко А.Л., Бандура О.Ю., Горенко С.О., Роганова О.Ю., Лаврікова О.І. Розвиток суперкомп'ютерів серії СКІТ, розроблених в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України у період з 2002 по 2017 роки. *Кибернетика и системный анализ*. 2017. Т. 53, № 4. С. 124–129. http://nbuv.gov.ua/UJRN/KSA_2017_53_4_13

Одержано 26.10.2023

Кравченко Наталія Володимирівна,

кандидат економічних наук, інженер-програміст 1 категорії
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

Головинський Андрій Леонідович,

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторією
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

Грабовський Андрій Леонідович,

інженер-електронік 1 категорії
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

Бандура Олександр Юрійович,

науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ.
icybcluster@gmail.com

УДК 004.38

Н.В. Кравченко, А.Л. Головинський, А.Л. Грабовський, О.Ю. Бандура *

Аналіз розвитку суперкомп'ютерів сімейства СКІТ Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ

* Листування: icybcluster@gmail.com

У 2003 році на базі Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України був створений дослідний варіант суперкомп'ютера, який постійно вдосконалювався і згодом перетворився на суперкомп'ютерний комплекс СКІТ – «Суперкомп'ютер для інформаційних технологій». За 20 років діяльності можна проаналізувати роботу СКІТ та зробити висновки. Дані, представлені у статті, будуть корисні насамперед для розробників обчислювальних кластерів, які активно вдосконалюють роботу своїх систем та розробляють нові алгоритми керування кластерами та науковців, які використовують комплекс СКІТ для своїх досліджень.

Ключові слова: суперкомп'ютер, архітектура СКІТ, кластерний комплекс.

UDC 004.38

Nataliia Kravchenko, Andrii Golovynskyi, Andrii Grabowski, Oleksandr Bandura *

Analysis of the development of the SCIT Family Supercomputers in V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv

* *Correspondence: icybcluster@gmail.com*

In 2003 the first testing version of supercomputer in V.M. Glushkov Institute of cybernetics the NAS of Ukraine was created. Since then computing system was constantly developed and turned into supercomputing complex SCIT “Supercomputer for information technologies”. During 20 years in operation complex has involved in numerous big and small projects, and now it’s time to summarize that period. The data presented in the article will be useful primarily for developers of computer clusters who are actively improving the operation of their systems and developing new cluster management algorithms, and scientists who use the SCIT complex for their research.

Keywords: supercomputer, SCIT architecture, cluster complex.