

## ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ GRID-СИСТЕМИ ІЗ ПІДТРИМКОЮ ЗАХИЩЕНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ

*Описано проектування та розробку програмного комплексу, який дозволяє моделювати роботу Grid-системи із підтримкою захищеної обробки даних. Програмний комплекс дозволяє моделювати роботу Grid-системи при класичному та адаптивному механізмих управління захищеністю. При розробці програмного комплексу використовувалась бібліотека GridSim. У статті детально описано напрями модифікації існуючих компонентів системи та створення нових для реалізації програмного комплексу. Представлено приклад моделювання роботи Grid-системи із підтримкою захищеної обробки даних.*

**Ключові слова:** Grid-система, захищена обробка даних, моделювання, бібліотека GridSim

**1. Вступ.** В теперішній час отримали широкий розвиток розподілені комп'ютерні системи (РКС) у тих сферах людської діяльності, які пов'язана з обробкою великих масивів даних. Не дивлячись на значні досягнення науковців у даній сфері, постійно існує потреба вдосконалення та розробки нових технологій розподілених комп'ютерних систем. Крім того, дослідження поведінки реальних РКС при різних сценаріях роботи також є важливим і актуальним завданням сьогодення. На жаль, не завжди існує можливість проведення досліджень на реальних системах у зв'язку з тим, що це вимагає значних фінансових затрат та затрат часу. В такому випадку виникає необхідність застосування прийому моделювання.

*Метою даної роботи* є розробка програмного комплексу для моделювання роботи Grid-системи і дослідження її поведінки при застосуванні різних механізмів управління захищеністю ресурсів.

Під захищеністю обчислювальних вузлів (ОВ) слід розуміти рівень довіри до цього вузла, який фактично визначає цінність даних, які можуть оброблятися ним. Класичний механізм управління захищеністю полягає в тому, що ОВ встановлюється рівень довіри, значення якого не змінюється у часі. На відміну від класичного, адаптивний механізм передбачає, що рівень довіри до ОВ змінюється в часі у залежності від поведінки вузла в РКС. Програмний комплекс повинен надавати можливість моделювання роботи Grid-системи як при класичному, так і при адаптивному механізмих управління захищеністю. Впровадження адаптивного механізму управління захищеністю у РКС передбачає встановлення на ОВ системи додаткового програмного забезпечення, таким чином, програмний комплекс повинен забезпечувати додаткове постійне обчислювальне навантаження на ОВ. Крім того, так як адаптивний механізм полягає у постійній зміні рівня захищеності (у даному випадку рівня довіри) обчислювальних вузлів, отже, дана функція також повинна бути реалізована у програмному комплексі.

Існують різні засоби моделювання Grid-систем, у [1, 2] можна знайти порівняльний аналіз середовищ моделювання. Найпоширенішими серед доступних безкоштовно є GridSim [3] та ALEA2 [4]. GridSim представляє собою базовий набір компонентів, розроблених у концепції об'єктно-орієнтованого програмування (ООП) на мові Java. Використовуючи дану бібліотеку можна будувати моделі розподілених систем різної конфігурації. Середовище ALEA2 так само побудоване на основі GridSim, але воно спеціалізується на дослідженні поведінки і завантаженні кластерів при виконанні потоку задач. Оскільки у даному випадку необхідно реалізувати досить специфічні функції, такі як зміну рівня захищеності обчислювального вузла у часі та відповідний алгоритм вибору ресурсів згідно рівня довіри, то для розробки програмного комплексу доцільно використати GridSim як базову бібліотеку. У [5] представлено приклад моделювання планування ресурсів Grid-системи засобами GridSim.

**2. Проектування та розробка програмного комплексу.** Враховуючи викладені вище вимоги, визначимо основні напрями модифікації існуючих і створення нових компонентів системи. При розробці комплексу важливо дотримуватись принципів ООП. Ієрархію класів пакета GridSim представлено у [3, с.16]. Розглянемо класи, які потребують змін і визначимо шляхи їх реалізації.

**Формат вхідних даних.** Вхідними даними для моделювання є обчислювальна складність задачі у МІ (million instructions) та час її появи у системі. Дані зчитуються із файлу вхідних даних, де характеристики кожної задачі записуються з нового рядка і розділяються крапкою з комою. Приклад файлу вхідних даних представлено на рис. 1.

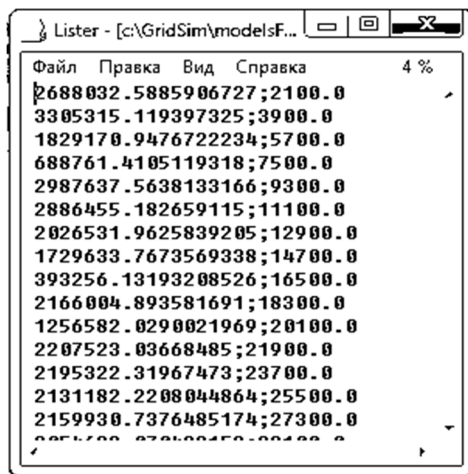


Рис. 1. Приклад вмісту файлу з вхідними даними (параметри задачі)

Також у програмному комплексі реалізована можливість формування файлу з параметрами задачі, для чого використовується клас GridSimRandom із пакета GridSim. На рис. 1 представлено фрагмент файлу, який було згенеровано засобами програмного комплексу.

**Задача.** Основна мета модифікації задачі – додати характеристику рівня захищеності, який є вимогою задачі до ОВ. Задля цього створено новий клас TaskWidthSecureReq, який наслідує клас Gridlet пакета GridSim. У новому класі додано відповідну змінну класу та методи доступу до неї.

При зчитуванні із файлу характеристик і формуванні набору задач вимоги до рівня захищеності генеруються з використанням класу GridSimRandom у межах від 0,1 до 0,9.

**Обчислювальний вузол.** У пакеті GridSim обчислювальний ресурс (клас GridResource) формується з набору машин або комп'ютерів (одна і більше), кожна з яких складається з набору процесорів (один і більше). Один обчислювальний ресурс будемо називати обчислювальним вузлом незалежно від того, скільки комп'ютерів та процесорних елементів він містить. Для збереження характеристик ресурсу існує клас ResourceCharacteristics, також він використовується планувальником при зберіганні даних про ресурси всієї системи. Так як кожен ОВ характеризується додатково параметром рівень довіри, то створено нові класи GridResourceWithSecure, який наслідує клас GridResource, та ResourceCharacteristicsWithSecure, який наслідує клас ResourceCharacteristics.

Крім того, як зазначалося вище, впровадження адаптивного механізму управління захищеністю у РКС передбачає встановлення на ОВ системи додаткового програмного забезпечення. З метою забезпечення моделювання додаткового постійного обчислювального навантаження на ОВ реалізовано новий клас MachineWithMonitoring, який наслідує клас Machine. Новий клас має додаткову змінну класу, яка відображає додаткове обчислювальне навантаження на ОВ у МІ. При створенні екземпляра класу MachineWithMonitoring із заданої обчислювальної здатності комп'ютера віднімається значення цієї змінної, оскільки вважаємо, що додаткове програмне забезпечення функціонує постійно. При проведенні дослідження

впливу системи моніторингу на роботу всієї РКС для всіх екземплярів класу MachineWithMonitoring ця змінна мала однакове значення незалежно від обчислювальної здатності комп'ютера, адже вважаємо, що на всіх комп'ютерах встановлено однакове додаткове програмне забезпечення.

**Планувальник.** Один з основних компонентів Grid-системи, який безпосередньо відповідає за підбір ресурсів і розміщення задач на ресурси. Реалізується класом TheScheduler. При отриманні нової задачі виконується підбір вільного ОВ із відповідним рівнем довіри для її виконання. Якщо жоден ОВ не підходить, задача поміщається у чергу задач.

По завершенні обробки задачі ОВ генерує сигнал планувальнику про своє звільнення і планувальник передає йому на обробку задачу, яка на даний момент знаходиться першою у черзі з відповідними вимогами рівня довіри до вузла. Найповніше роботу планувальника, та й програмного комплексу в цілому, можна представити за допомогою діаграми послідовності, яка зображена на рис. 2.

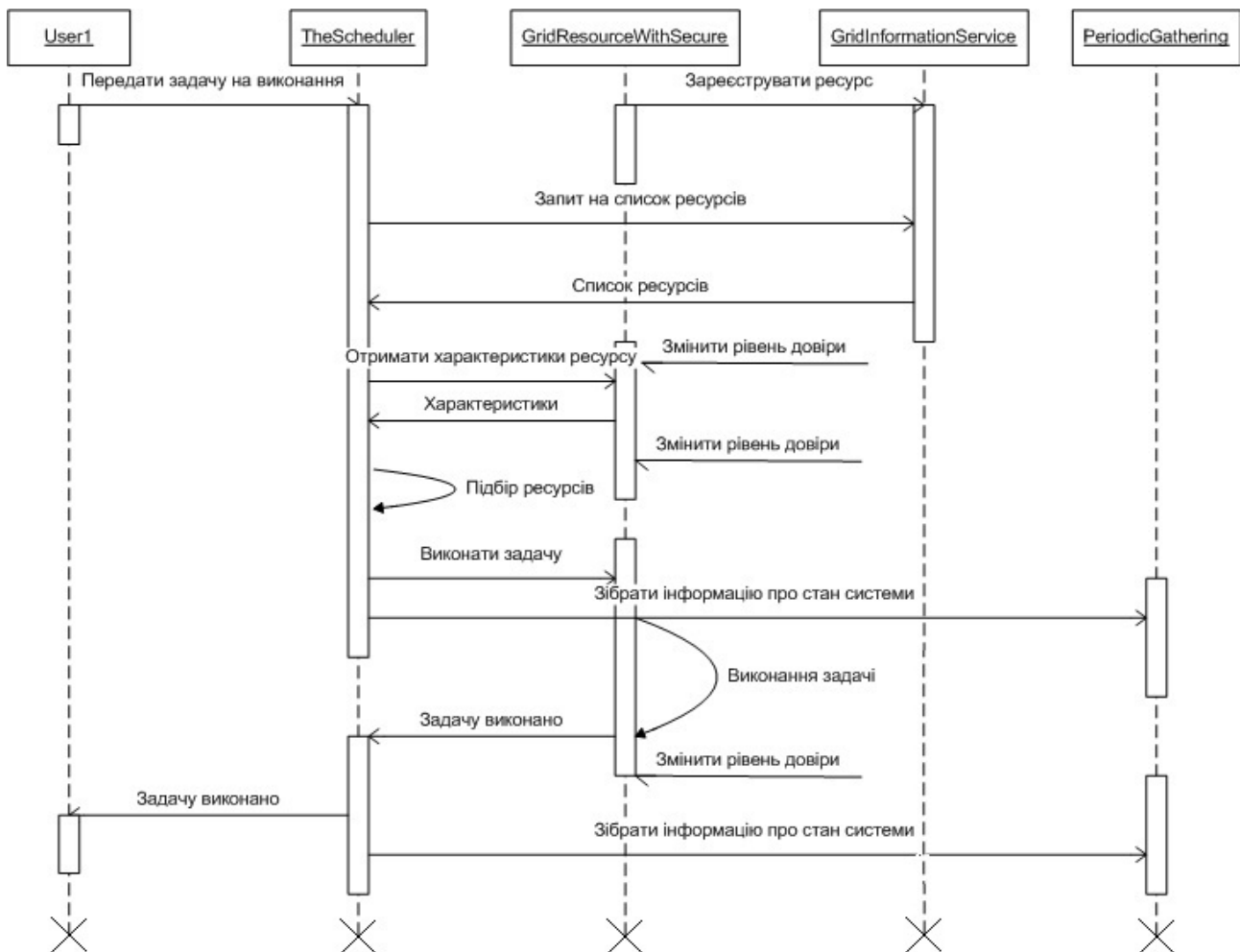


Рис. 2. Діаграма послідовності програмного комплексу

На рис. 2 представлено лише один ресурс та одну задачу, але з іншими ресурсами системи та задачами, які надходять від користувачів, дії відбуваються аналогічним чином.

**Збір результатів моделювання та формат вихідних даних.** Оскільки необхідно проаналізувати роботу Grid-системи за різними напрямками, збір даних необхідно реалізувати по декількох параметрах роботи Grid-системи, зокрема довжина черги задач у певні моменти часу, час появи задачі у системі, час початку обробки задачі, час завершення обробки задачі, кількість вільних та зайнятих ОВ у певні моменти часу та відповідна їх сумарна обчислювальна здатність у MIPS-ах (million instructions per second) та ін. У пакеті GridSim є клас Stat, призначений для виведення у файл статистичних даних, але аналізувати

спеціалізованими програмами дані з файлу, у який вони записуються, незручно через специфічний формат виведення. Тому вирішено реалізувати додатковий клас PeriodicGathering, призначений для збору необхідних даних та клас StatSaving для збереження зібраних даних у різні файли відповідно до їх призначення. Вихідні дані розділяються крапкою з комою і не містять надлишкових коментарів, що дозволяє використовувати для їх подальшої обробки спеціалізовані програми.

На рис. 3 представлено вигляд файлів з вихідними даними.

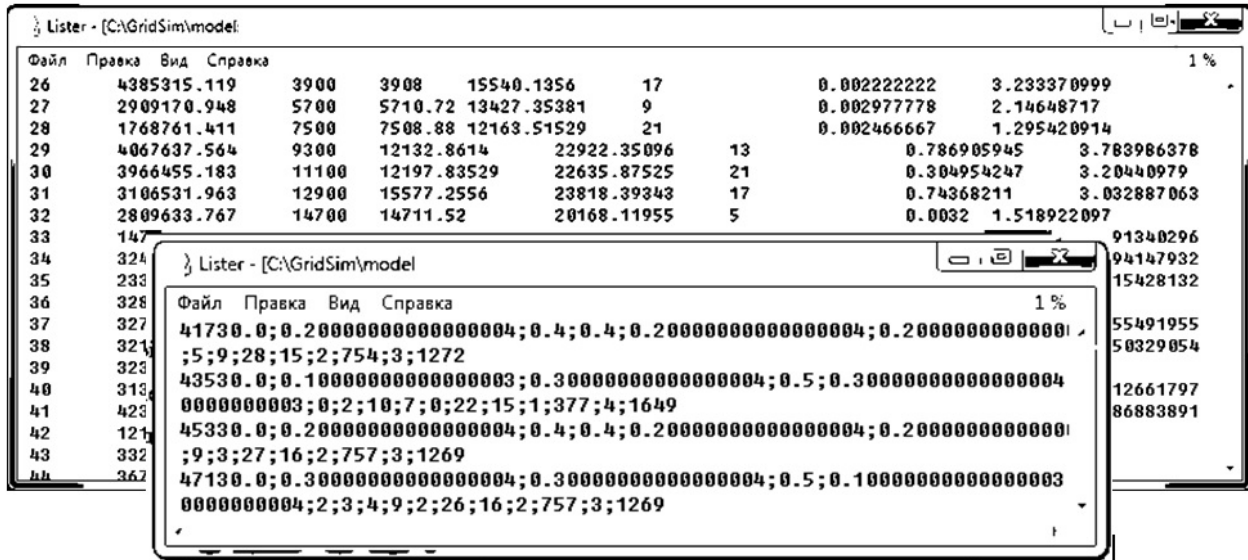


Рис. 3. Приклад вмісту файлів із вихідними даними

Крім того, у програмному комплексі реалізовано виведення діагностичних повідомлень під час моделювання, що дозволяє відслідковувати коректність процесу моделювання. Вигляд вікна виведення діагностичних повідомлень представлено на рис. 4.

```

At current time there are 6 tasks in queue.
There are tasks in queue: amount 5. Next task is sending for exequting on resource 9
Do periodic gathering event at 32730.0
User_0: received an SUBMIT_GRIDLET event. Clock: 34500.0
New submission. Task number:18 .
At current time there are 6 tasks in queue.
There are tasks in queue: amount 5. Next task is sending for exequting on resource 17
Do periodic gathering event at 34530.0
User_0: received an GRIDLET_RETURN event. Clock: 34932.329338623415
Resource 21 is free now.
It is time to start executing next task on free resource.
There are tasks in queue: amount 4. Next task is sending for exequting on resource 21
User_0: received an GRIDLET_RETURN event. Clock: 35218.732962277955
Resource 5 is free now.
It is time to start executing next task on free resource.
User_0: received an GRIDLET_RETURN event. Clock: 35942.22779031738
Resource 9 is free now.
It is time to start executing next task on free resource.
User_0: received an SUBMIT_GRIDLET event. Clock: 36300.0
New submission. Task number:19 .
At current time there are 5 tasks in queue.
There are tasks in queue: amount 4. Next task is sending for exequting on resource 9
Do periodic gathering event at 36330.0
User_0: received an SUBMIT_GRIDLET event. Clock: 38100.0
New submission. Task number:20 .
At current time there are 5 tasks in queue.
There are tasks in queue: amount 4. Next task is sending for exequting on resource 5
Do periodic gathering event at 38130.0
User_0: received an SUBMIT_GRIDLET event. Clock: 39900.0
New submission. Task number:21 .
At current time there are 5 tasks in queue.

```

Рис. 4. Приклад виведення діагностичних повідомлень під час процесу моделювання

**3. Приклад роботи програмного комплексу.** Представимо приклад роботи програмного комплексу. Для цього спочатку необхідно визначити мету моделювання та розробити план проведення експерименту.

Наприклад, необхідно порівняти роботу Grid-системи при адаптивному та класичному механізмі управління захищеністю. Порівняння здійсимо по завантаженості вузлів системи та середній довжині черги завдань. Спочатку визначимо параметри вузлів Grid-системи та внесемо їх у налаштування програми. Потім необхідно сформувати потік вхідних задач, на якому буде проведено моделювання. Можна формувати потік самостійно або ж використати програмний комплекс. Для даного прикладу було згенеровано у програмному комплексі потік із 1000 задач. Параметри задач записуються у файл (фрагмент сформованого файлу представлено на рис. 1).

Отримавши файл із вхідними даними, можна перейти безпосередньо до моделювання роботи Grid-системи. Ім'я вхідного файлу вноситься у налаштування програми, а також вказуються імена вихідних файлів. Файлів із вихідними даними може бути декілька. У даному прикладі при кожному запуску програми формувалося три вихідні файли: файл із довжиною черги задач у певні моменти часу; файл із характеристиками виконаних задач (час надходження в систему, час початку виконання, час завершення обробки); файл із параметрами ОБ у певні моменти часу (рівень довіри до ОБ, кількість зайнятих та кількість вільних вузлів, кількість атак на кожен вузол та ін.).

Як зазначалося вище, при моделюванні роботи Grid-системи виводяться діагностичні повідомлення. На рис. 4 представлено приклад виведення діагностичних повідомлень при моделюванні роботи Grid-системи із класичним механізмом управління захищеністю.

Приклад виведення діагностичних повідомлень при моделюванні роботи Grid-системи із адаптивним механізмом управління захищеністю продемонстровано на рис. 5.

```
New submission. Task number:347 .
At current time there are 9 tasks in queue.
Do periodic gathering event at 828730.0
It is time to update nodes' trust level according to amount of local attacks
Before updating: 0.8 0.8 0.7000000000000001 0.9 0.8
After updating: 0.8 0.7000000000000001 0.8 0.9 0.8
User_0: received an GRIDLET_RETURN event. Clock: 828655.27752427
Resource 17 is free now.
It is time to start executing next task on free resource.
There are tasks in queue: amount 8. Next task is sending for executing on resource 17
User_0: received an GRIDLET_RETURN event. Clock: 827955.9724933297
Resource 13 is free now.
It is time to start executing next task on free resource.
There are tasks in queue: amount 7. Next task is sending for executing on resource 13
User_0: received an GRIDLET_RETURN event. Clock: 828478.5144057935
Resource 5 is free now.
It is time to start executing next task on free resource.
There are tasks in queue: amount 6. Next task is sending for executing on resource 5
User_0: received an SUBMIT_GRIDLET event. Clock: 828500.0
New submission. Task number:348 .
At current time there are 7 tasks in queue.
Do periodic gathering event at 828530.0
It is time to update nodes' trust level according to amount of local attacks
Before updating: 0.8 0.7000000000000001 0.8 0.9 0.8
After updating: 0.8 0.8000000000000001 0.7000000000000001 0.9 0.8
User_0: received an SUBMIT_GRIDLET event. Clock: 830300.0
New submission. Task number:349 .
At current time there are 8 tasks in queue.
Do periodic gathering event at 830330.0
It is time to update nodes' trust level according to amount of local attacks
Before updating: 0.8 0.8000000000000001 0.7000000000000001 0.9 0.8
After updating: 0.7 0.5000000000000001 0.8 0.8 0.7
User_0: received an GRIDLET_RETURN event. Clock: 831332.8570494242
Resource 5 is free now.
It is time to start executing next task on free resource.
```

Рис. 5. Приклад виведення діагностичних повідомлень під час процесу моделювання роботи Grid-системи із адаптивним механізмом управління захищеністю ресурсів

Результати моделювання, записані до вихідних файлів, можуть бути оброблені спеціалізованими програмами для побудови графіків чи обчислення статистичних даних.

Так на рис. 6 представлено приклад побудови графіків на основі вихідних даних моделювання роботи Grid-системи.

Важливо відмітити, що результати моделювання значно залежать від багатьох факторів, основними з яких є: параметри вхідного потоку задач, характеристики самих задач, параметри обчислювальних вузлів Grid-системи (модель якої будується в експерименті), параметри генератора кількості атак на ОВ та ін., а тому перед моделюванням необхідно чітко визначати мету проведення експерименту і у відповідності до неї проводити його планування та підготовку відповідних вхідних даних. Представлені у даній роботі результати експерименту є демонстративним прикладом функціонування програмного комплексу.

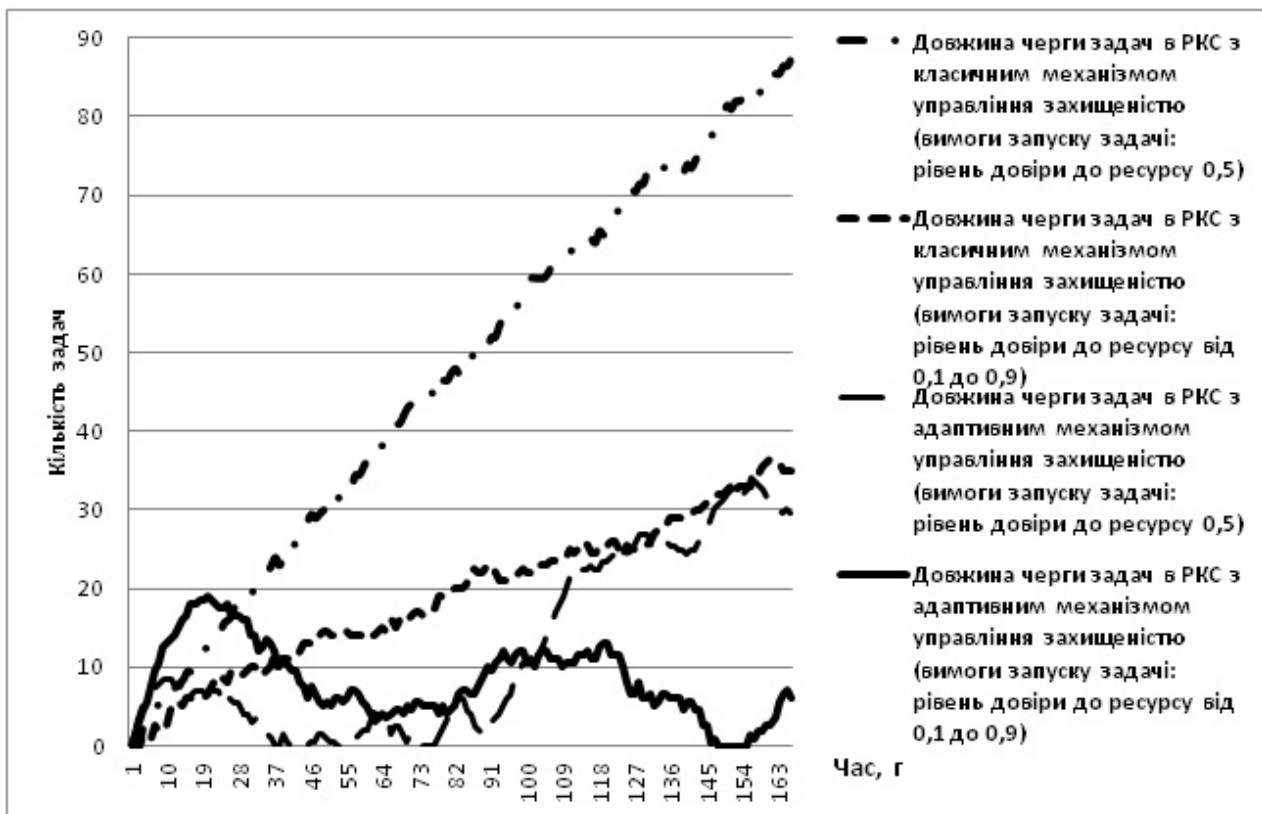


Рис. 6. Графічне представлення вихідних даних моделювання роботи Grid-системи

**4. Висновки.** У даній роботі представлено програмний комплекс для моделювання роботи Grid-системи із підтримкою захищеної обробки даних. Розроблений комплекс дозволяє виконати моделювання роботи Grid-системи як із класичним механізмом управління захищеністю, так і з адаптивним механізмом управління захищеністю. Вхідні дані для моделювання можуть генеруватися з використанням генератора псевдовипадкових чисел або зчитуватися із файлу. У результаті моделювання формуються вихідні файли, які містять поточну інформацію щодо роботи Grid-системи, а також у стандартне вікно виведення виводяться діагностичні повідомлення, завдяки яким можна відслідковувати коректність моделювання. Подальше вдосконалення планується провести у напрямку реалізації підтримки планувальником різних алгоритмів планування та розподілу ресурсів, а також у вдосконаленні інтерфейсу програмного комплексу.

**Список використаної літератури**

1. Михайлов П. А. Методы моделирования и оценки производительности облачных систем / П. А. Михайлов, Г. И. Радченко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Вычислительная математика и информатика». – 2014. – Том 3, выпуск 3. – С. 109-123.
2. Скитер И. С. Обзор инструментов разработки моделей GRID-среды / И. С. Скитер, О. А. Преляя, Т. А. Гуза // Вільне програмне забезпечення в освіті, науці та бізнесі: тези доповідей п'ятої Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів: Чернігівський національний технологічний університет. – 2014. – С. 28-29.
3. Buyya R. GridSim: A Toolkit for the Modeling and Simulation of Distributed Resource Management and Scheduling for Grid Computing [Електронний ресурс] / R. Buyya and M. Murshed // The Journal of Concurrency and Computation: Practice and Experience (CCPE). – Wiley Press. – 2002. – 37p. – Режим доступу: <http://arxiv.org/abs/cs/0203019>.
4. Klusáček D. Alea 2 – Job Scheduling Simulator [Електронний ресурс] / Dalibor Klusáček, Hana Rudová // In proceedings of the 3rd International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools 2010), ICST. – 2010. – 10p. – Режим доступу: <http://www.fi.muni.cz/~xklusac/pub/alea2.pdf>.
5. Минухин С.В. Моделирование планирования ресурсов GRID средствами пакета GRIDSIM / С.В. Минухин, А.В. Коровин // Системи обробки інформації. – 2011. – №3 (93). – С. 62-68.

*Автори статті*

**Герасименко Оксана Юрїївна** – асистент кафедри мережевих та Інтернет технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ.  
Тел.: +380 99 785 87 58. E-mail: oksgerasymenko@gmail.com.

*Authors of the article*

**Herasymenko Oksana Yuriivna** – assistant professor of networking and internet technologies department, Taras Shevchenko National University of Kyiv.  
Тел. +380 99 785 87 58. E-mail: oksgerasymenko@gmail.com.

Рецензент:

доктор технічних наук,

професор К. С. Сундучков

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігора Сікорського»

Дата надходження

в редакцію: 23.10.2016 р.