

Висновки

Результати роботи запропонованого алгоритму перевірено аналітичними (точними) методами. Незначна неточність роботи алгоритму породжується його дискретністю. Міняючи крок роботи алгоритму, можемо встановити межі точності отриманого результату. У проведених числових розрахунках зміною кроку алгоритм знайшов точний розв'язок. Швидкодія алгоритму слабко залежить від кількості ПСГ, оскільки його складність є лінійною відносно кількості газосховищ.

1. Тетерев И.Г., Шешуков Н.Л., Нанивский Е.М. Управление процессами добычи газа. – М.: Недра, 1981. – 248 с. 2. Вечерік Р.Л., П'янило Я.Д., Притула М.Г., Хасецький Ю.Б. Математичне моделювання процесу руху газу в системі пласт підземного сховища газу – магістральний газопровід // *Нефть и газ*. – 2004. – № 6. – С. 83–89. 3. Вечерік Р.Л., П'янило Я.Д., Притула М.Г., Хасецький Ю.Б. Математичний аналіз акумулюючої здатності газонесних пластів ПСГ // *Нафтова і газова промисловість*. – 2005. – № 6. – С. 55–59. 4. П'янило Я.Д., Притула М.Г. Дослідження впливу параметрів пласту та привибійної області свердловини на розрахунок дебіту свердловини. // *Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології* // *Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2002. – № 392. – С. 45–49. 5. Вечерік Р.Л., П'янило Я.Д., Притула М.Г., Хасецький Ю.Б. Математичне моделювання процесу руху газу в системі пласт підземного сховища газу – магістральний газопровід // *Нефть и газ*. – 2004. – № 6. – С. 83–89. 6. Лопух Н.Б., П'янило Я.Д., Притула М.Г., Притула Н.М. Розрахунок початково – граничних умов в задачах фільтрації газу в пористих середовищах // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка: Комп'ютерні науки та інформаційні технології"*. – Львів, 2009. – № 638. – С. 239–243.

УДК 519.81+519.863+004.942

О. Верес, Ю. Верес

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра інформаційних систем та мереж

РОЗПОДІЛ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ ЗАСОБАМИ СППР

© Верес О., Верес Ю., 2012

Описано методології планування потреб у ресурсах. Проаналізовано програмні комплекси систем розподілу ресурсів і обґрунтовано потребу в розробленні своєї системи підтримки прийняття рішень. Проведено тестування прототипу СППР розподілу обмежених ресурсів, яка реалізує розроблені моделі та алгоритми.

Ключові слова: метод аналітичної ієрархії, обмежений ресурс, пріоритет, прийняття рішень, система підтримки прийняття рішень.

In the article describes the methodology of planning resource needs. The analysis of software systems and resource allocation systems proved the need to develop their decision support systems. Testing of the prototype DSS allocation of scarce resources, implementing the developed models and algorithms.

Key words: analytic hierarchy method, limited resources, priority, decision-making, Decision Support System.

Вступ. Загальна постановка проблеми

Без відповідних бізнес-процесів, стандартів і інструментів ефективний розподіл і постачання обмежених ресурсів є неможливим. Навіть, навпаки, неефективне управління ресурсами може значно збільшити ризик невиконання проектів. Прийняття рішень – підґрунтя будь-якого управління.

Система підтримки прийняття рішень з розподілу обмежених ресурсів забезпечує широку інформованість і свідоме прийняття рішень із розподілу і постачання ресурсів. Ефективний розподіл ресурсів є рушійною силою конкурентоспроможності підприємства.

Використання систем підтримки прийняття рішень у практиці управління виробничою фірмою виявляє її внутрішні резерви, що дає змогу досягнути кращих результатів з меншими витратами. Застосування таких систем є підґрунтям для прийняття правильних рішень.

Сучасний стан проблем, пов'язаних із розв'язанням задач автоматизації і управління в промислових системах, спонукає до розроблення і застосування нових математичних методів, комп'ютерних та інформаційних технологій. Водночас практично неможливо обійтися без наявності системного, гнучкого, багатofункціонального, універсального математичного і програмного забезпечення.

Проте в будь-якому випадку, зазвичай, системи підтримки прийняття рішень (СППР) з розподілу обмежених ресурсів мають використовувати положення математичного моделювання і програмування, враховувати багатокритерійність оптимізаційних задач, нелінійність моделей технологічних зв'язків, наявність обмежень, умови невизначеності під час прийняття рішень, неперервне оновлення інформації, унеможливити суб'єктивність і трудомісткість процесу опитування спеціалістів під час експертного оцінювання.

Розвинуті у роботі наукові положення ґрунтуються на доробку багатьох учених, зокрема О'Лірі, В.М. Буркова, Т. Сааті, А.Н. Борисова, Е.Р. Вілюмса, В.М. Глушкова, І.В. Сергієнка [1–4].

Отже, актуальним науковим завданням є розроблення математичного забезпечення процесу розподілу обмежених ресурсів та удосконалення математичної моделі системи «постачальник-споживач», розроблення методів розв'язання задачі розподілу обмежених ресурсів в управлінні ІТ-проектами та у виробничих фірмах, а також створення програмних засобів для реалізації відповідної системи підтримки прийняття рішень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Більшість перебоїв у процесі виробництва пов'язана зі запізненням надходження тих чи інших комплектуючих. Водночас створення надмірних страхових запасів приводить до заморожування значних оборотних коштів, що негативно позначається на ефективності бізнесу. Крім того, за надмірних запасів важко визначити, до якої партії належить елемент, який перебуває у вже укомплектованому готовому продукті. А це буває необхідно під час виявлення причин виробництва бракованої продукції.

Для подолання таких проблем розроблено методологію планування потреби у матеріалах MRP (Material Requirements Planning). Її головна ідея полягає у плануванні постачань, що забезпечує наявність будь-якої облікової одиниці товарно-матеріальних цінностей, необхідних для виробництва виробів і/або постачань товарів споживачам у потрібний час і у потрібній кількості. Методологія MRP реалізується за допомогою комп'ютерних програм, що дають змогу скласти оптимальний план постачання комплектуючих у виробничий процес або товарів, що підлягають відвантаженню за замовленнями покупців. Оптимізацію плану постачань можна проводити за різними критеріями, але базовим принципом є контроль заданого рівня реально необхідних у кожен момент запасів [5, 7, 8].

Отже, MRP-система – це сукупність комп'ютерних програм, призначених для складання детального календарного плану постачань товарно-матеріальних цінностей, потрібних для забезпечення виробничого процесу або відвантаження товарів за замовленнями покупців, що забезпечує оптимальний рівень стану запасів у будь-який момент заданого періоду [5].

Системи підтримки прийняття рішень (СППР), які реалізують методологію MRP, забезпечують планування процесу закупівель потрібних товарно-матеріальних цінностей у постачальників, ґрунтуючись на рівні наявних запасів, вже розміщених замовлень на закупівлі, потреб виробництва (замовлень покупців, прогнозів продажу) з урахуванням нормативного рівня страхових запасів. Під час зміни у виробничій програмі, плані постачань товарів покупцям або відхиленнях від раніше прийнятих графіків виконання замовлень постачальниками, система видає рекомендації для зміни термінів обсягів закупівель та постачань для їхньої відповідності початковим графікам.

Основною вхідною інформацією MRP-системи є:

- описання стану матеріалів;
- програма виробництва (збуту) продукції (товарів);
- перелік складових компонентів остаточних продуктів.

Описання стану матеріалів (Inventory Status File) для виробничих фірм містить вичерпні відомості про всі матеріали та комплектуючі, необхідні для виробництва усіх потрібних видів продукції. Для кожної номенклатурної позиції задається наявний запас, вже зарезервована для тих або інших цілей кількість матеріалу (товару), обсяг вже розміщених у постачальників замовлень на постачання, орієнтовні терміни виконання замовлень постачальниками, мінімально необхідний обсяг страхових запасів. Вказуються ціни й інша додаткова інформація, наприклад, терміни придатності, максимальний обсяг запасу, мінімальний і максимальний розміри партії постачання тощо.

Виробнича програма (Master Production Schedule) є графіком випуску продукції або постачань товарів згідно із замовленнями покупців на планований період.

Перелік складових остаточного продукту (Bills of Material File) для виробничих підприємств є списком матеріалів і їхньої кількості, потрібної для виробництва кінцевого продукту. Для торгових фірм список складових може бути потрібним для опису комплектів товарів, що входять у різні замовлення.

Ґрунтуючись на вказаній інформації, система здійснює необхідні розрахунки і формує різноманітну звітність.

Основним звітом MRP-системи є План замовлень (Planned Order Schedule), у якому містяться дані про те, яку кількість кожного матеріалу потрібно замовити у кожен період часу впродовж терміну планування. План замовлень є основою для подальшої роботи з постачальниками. Крім того, він визначає внутрішню виробничу програму випуску напівфабрикатів і комплектуючих.

При змінах у первинному плані формується звіт змін до плану замовлень (Changes in Planned Orders). Він показує, які замовлення треба відмінити, змінити, затримати або перенести на інший період.

Звіт про «вузькі місця» планування (Exception Report) призначений для того, щоб завчасно вказати на ті періоди часу впродовж терміну планування, в які може виникнути потреба зовнішнього втручання для точнішого (ручного) управління. Такі ситуації можуть виникнути, наприклад, у разі серйозної затримки того чи іншого постачання.

Звіт про прогнози (Planning Report) містить інформацію, яка використовується для складання прогнозів про можливу майбутню зміну обсягів випуску продукції. Ці дані є результатом аналізу поточного ходу виробничого процесу і звітів про продукти. Звіт про прогнози може використовуватися для довгострокового планування потреб у матеріалах [5].

На практиці використовують ще деякі методології.

MRP II (Manufactory Resource Planning) – система виробничого планування ресурсів, що поєднує виробниче, маркетингове, фінансове планування й логістичні операції.

DRP (Distribution Requirements Planning) – система планування відправлень і запасів готової продукції у дистрибутивних каналах, зокрема й у логістичних посередників.

DRP II (Distribution Resource Planning) – це сучасна версія системи планування, що використовує сучасніші й потужніші програмні модулі, алгоритми й моделі прийняття рішень.

VMI (Vendor Managed Inventory) – удосконалена версія системи управління запасами постачальником, що ґрунтується на нових інформаційних технологіях.

ERP (Enterprise Resource Planning) – система інтегрованого планування ресурсів, що дає змогу планувати всю діяльність підприємства.

CSRP (Customer synchronized resource planning) – система планування ресурсів, синхронізована зі споживачем, що використовує функціональність ERP, переорієнтовує планування від виробництва до кінцевого покупця.

Визначивши основні технології розподілу та планування ресурсів, що застосовують в сучасних виробничих фірмах, необхідно здійснити класифікацію систем підтримки прийняття рішень, щоб визначати тип та функції системи підтримки прийняття рішень розподілу обмежених ресурсів.

Конкурентоспроможність у сучасному світі потребує розв'язання задач оптимізації бізнес-процесів, скорочення видатків, підвищення якості продукції і лояльності клієнтів. Для розв'язання цих задач призначені інформаційні системи класу ERP/ERP II [6–8].

ERP-система (англ. Enterprise Resource Planning System – система планування ресурсів підприємства) – це інтегрована система на базі ІТ для управління внутрішніми і зовнішніми ресурсами підприємства (значимі фізичні активи, фінансові, матеріально-технічні і людські ресурси). Зазвичай ERP-системи будують із використанням централізованого сховища даних. Така система формує стандартизований єдиний інформаційний простір підприємства [6].

Концепція ERP стала розвитком простіших концепцій MRP (Material Requirement Planning – Планування матеріальних потреб) і MRP II (Manufacturing Resource Planning – Планування виробничих ресурсів).

Класична архітектура ERP-систем містить такі елементи:

- модель управління інформаційними потоками (ІП) на підприємстві;
- апаратно-технічна база і засоби комунікації;
- СУБД, системне і супровідне програмне забезпечення;
- регламент використання і розвитку програмних продуктів;
- служби, що забезпечують функціонування системи;
- користувачі програмних продуктів;
- набір програмних засобів, що автоматизують управління інформаційними потоками.

До основних функцій ERP систем належать:

- впровадження конструкторських і технологічних специфікацій, що визначають склад виробів, а також матеріальні ресурси і операції, необхідні для їхнього виготовлення;
- формування планів продажу і виробництва;
- планування потреб у матеріалах і комплектуючих, строків і обсягів постачань для виконання плану виробництва продукції;
- управління запасами і закупками: ведення договорів, реалізація централізованих закупівель, забезпечення обліку і оптимізації складських і цехових запасів;
- планування виробничих потужностей від збільшеного планування до використання окремих верстатів та обладнання;
- оперативне управління фінансами, зокрема складання фінансового плану і виконання контролю його виконання, фінансовий і управлінський звіт;
- управління проектами, зокрема планування етапів і ресурсів.

У цьому розділі ми коротко розглянемо основні ERP-вирішення, що використовуються на українських виробничих фірмах та підприємствах, а саме:

1) SAP Business One – одна із перших систем SAP. Є самостійним програмним комплексом, призначеним для виробничих фірм, що працюють у сферах торгівлі і надання сервісних послуг. Система орієнтована на автоматизацію роботи відділу продажу, закупівель, ведення складського обліку і фінансів.

2) Microsoft Dynamics AX (Ахарта) – комплексне ERP-вирішення, створене для середніх і великих компаній. Є повністю інтегрованим вирішенням.

3) Microsoft Dynamics NAV (Navision) – комплексне ERP-вирішення, яке містить передові і найсучасніші технології управління підприємством.

4) ERP HansaWorld Enterprise – сучасне ERP-вирішення, призначене для інтеграції бізнес-процесів будь-якого підприємства. У цій системі інтегровані: бухгалтерія, логістика, CRM, веб-магазин, документообіг і мобільні вирішення для ведення бізнесу.

5) Ericor iScala – сучасний ефективний інструмент управління різними галузями діяльності підприємства. Повністю враховує локальні особливості. Scala є гнучкою системою, що використовується більше, ніж у 90 країнах протягом багатьох років. Модулі Scala охоплюють такі аспекти бізнесу, як фінанси, матеріально-технічне забезпечення, управління виробництвом, сервісне обслуговування, ведення проектів і управління персоналом.

6) 1С:Предприятие 8.0 – об'єднує платформу і прикладні вирішення, розроблені для автоматизації діяльності організацій і приватних підприємств.

7) Галактика Business Suite – комплекс бізнес-вирішень, що дає змогу у єдиному інформаційному просторі виконувати типові і спеціалізовані задачі з управління підприємством, холдингом, групою компаній в умовах сучасної економіки.

Оскільки до складу багатьох сучасних ERP-систем входять компоненти, які дають змогу управляти проектами та розподіляти ресурси між проектами (та між роботами проекту), розглянемо програмний продукт Microsoft Project Server 2010, який призначений для управління проектами [7].

Microsoft Project Server 2010 використовує переваги SharePoint Server 2010 і надає організаціям гнучкі рішення з управління робочим процесом. Project Server 2010 об'єднує управління проектами та портфелями, даючи можливість розподіляти наявні ресурси та інвестиції відповідно до пріоритетів організації, ефективно керувати всіма типами роботи та візуалізації її результатів за допомогою багатфункціональних панелей моніторингу.

У Microsoft Project Server 2010 з'явилася нова функціональна можливість «Стратегія» для управління портфелем проектів (раніше входила в окремий продукт Project Portfolio Server 2007), в яку входить розроблення бізнес факторів, визначення їхніх пріоритетів та аналіз портфеля.

З появою Microsoft Project Server 2010 офіс управління проектами отримав не тільки інструмент з аналізу портфеля та вибору стратегії, але й інструмент з управління ресурсними (людськими) обмеженнями проектів у портфелі.

Microsoft Project Server 2010 пропонує низку кроків з управління ресурсними обмеженнями, а саме: сценарії «що якщо»; перепризначення ресурсів; додавання або видалення. Користувач може переглянути відомості про потреби в ресурсах.

Якщо нам потрібно змоделювати замовлення ресурсів (аналіз «що якщо»), треба задати необхідну кількість ресурсу і розподіл ресурсу здійснюється залежно від розрахованого рангу проекту, який ґрунтується на визначених пріоритетах бізнес-факторів. Також можна моделювати примусове включення і виключення проектів, змінювати дати початку проектів.

Для того, щоб створити бізнес-фактор у Microsoft Project Server 2010, треба створити бібліотеку імен бізнес факторів і їхніх коротких описів. За бажанням можна вибрати відділи компанії, які будуть відповідати за певний бізнес фактор. З одним відділом рекомендується пов'язувати не більше ніж 7–9 бізнес-факторів.

Переваги та недоліки систем розподілу ресурсів наведено у табл. 1. Нашу увагу будемо звертати на ті переваги, які стосуються розподілу ресурсів, зокрема розподілу обмежених ресурсів.

Таблиця 1

Переваги та недоліки систем розподілу ресурсів

Перевага	Назва системи							
	SAP Business One	Microsoft Dynamics AX (Axapta)	Microsoft Dynamics NAV (Navision)	HansaWorld Enterprise	iScala	1C 8.0	Business Suite	Project Server
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Управління фінансовими ресурсами	+	+	+	+	+	+	+	+
Управління основними засобами	-	+	-	+	+	+	+	+
Бюджетування	+	+	+	+	-	+	+	+
Управління персоналом	-	+	+	-	+	+	+	+
Консолідація	-	+	-	+	-	-	-	-
Виробництво	+	+	+	+	+	+	+	+
Склад	+	+	+	+	+	+	+	-
Управління проектами	-	+	+	+	+	-	-	+
Взаємодія із клієнтами	+	+	+	+	-	+	-	-
Пріоритетний розподіл ресурсів	+	+	+	+	+	-	+	+

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Врахування обмеженості ресурсів	-/+	-	-/+	-	-	-	-	-/+
Примітка: «+» означає повну підтримку переваги програмним продуктом; «-» – перевага не підтримується; «-/» – часткова підтримка заданої функції.								

У SAP Business One, Microsoft Dynamics NAV (Navision), Microsoft Project Server є часткове врахування обмеженості ресурсів. Під час пропорційного розподілу обмежених ресурсів – розглянутими системами пропонується або збільшити плани виробництва дефіцитних ресурсів, або переглянути вимоги споживачів.

Невирішені раніше частини загальної проблеми. Оскільки жодна із розглянутих сучасних систем управління та розподілу ресурсів не враховує можливого дефіциту (обмеженості) ресурсів – доцільним є розроблення та побудова (програмна реалізація) системи підтримки прийняття рішень розподілу обмежених ресурсів, яка міститиме розроблені математичні моделі та методи.

Цілі (завдання) статті

Основним завданням статті є імітаційне моделювання розподілу обмежених ресурсів та порівняльний аналіз результатів дослідження різноманітних принципів і методів розподілу.

Основний матеріал

У результаті проведених наукових досліджень описано, засобами теорії систем, процес розподілу обмежених ресурсів. Побудовано математичний опис системи «постачальник-споживач» та сформульовано критерій ефективності її функціонування, який полягає у мінімізації сумарних видатків функціонування системи [9].

Для задоволення попиту споживачів необхідно так організувати процес постачання ресурсів від постачальників до споживачів, щоб сумарні видатки функціонування системи були мінімальними. Потрібно знайти такі значення елементів кортежу контролінгу $V = \langle S_{pu}, W_{pm}, O_{mu}, \hat{T} \rangle$, за яких отримаємо оптимальний розв'язок задачі розподілу обмежених ресурсів.

Компонентами кортежу є: $S_{pur}^t, W_{pmr}^t, O_{mur}^t$ – кількості ресурсу r -го виду, що наявні на маршрутах відповідно (pu) , (pm) і (mu) , тобто величини ресурсів, що надходять до споживачів і на проміжні пункти до початку t -го інтервалу постачань; \hat{T} – множина інтервалів функціонування системи.

Для подальшого опису стану і динаміки системи введено вектор стану системи $s^t = \{X_{pr}^t, Y_{ur}^t, Z_{mr}^t\}$. Координати вектора стану – ресурси, наявні в кінці інтервалу часу t у постачальників, споживачів та на проміжних пунктах, відповідно. Початковий і кінцевий стани системи вважаємо заданими векторами s^0 і s^T .

Стан системи описано місцезоташуванням точки в просторі станів. Координати цієї точки – поточні ресурси у постачальників, споживачів і на проміжних пунктах. Розмірність простору станів системи $P \times U \times M$. Стан системи описано у вигляді вектора

$$s^t = (X^t, Y^t, Z^t), \quad (1)$$

де X^t, Y^t, Z^t – ресурси наявні в кінці інтервалу часу t у відповідно постачальників, споживачів та на проміжних пунктах.

Очевидно, що плани постачань відповідають на три запитання: в який момент треба організувати постачання ресурсу, якою має бути його кількість і звідки вигідно його постачати.

Оптимальним вважається такий розподіл, за якого Центр мінімізує сукупні витрати, що пов'язані із функціонуванням системи, тобто витрати на розміщення замовлень, формування ресурсів, їхнього зберігання і втрати від дефіциту.

У критерій ефективності введено складову g^T , що відображає можливі втрати від недопостачання споживачам ресурсу. У результаті критерій ефективності набув вигляду

$$J = f^T + g^T + w^T + g^T \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$g^T = \sum_{t=1}^T \sum_{u=1}^U \sum_{r=1}^R g_{ur}^t, \quad (3)$$

де f^T – сумарні видатки формування ресурсів за час T ; g^T – сумарні видатки зберігання за час T ; w^T – сумарні видатки виробництва за час T ; g^T – можливі втрати від недопостачання споживачам ресурсу за час T ; g_{ur}^t – можливі втрати від недопостачання одиниці r -го виду ресурсу.

Тут

$$g^t = \sum_{u=1}^U \sum_{r=1}^R g_{ur}^t, \quad 0 \leq t \leq T. \quad (4)$$

Значення g_{ur}^t обчислено як добуток коефіцієнта ефективності a_{ur}^t використання u -м споживачем r -го виду ресурсу в t -му періоді та різниці між його попитом та фактично отриманою кількістю ресурсу

$$g^t = \sum_{u=1}^U \sum_{r=1}^R (a_{ur}^t \cdot (d_{ur}^t - n_{ur}^t)), \quad (5)$$

де d_{ur}^t – попит u -го споживача на r -й вид ресурсу в t -му періоді; n_{ur}^t – фактично надана u -му споживачу кількість r -го виду ресурсу в t -му періоді.

Оптимізація функціонування системи «постачальник-споживач» полягає у вирішенні двох головних проблем, а саме: проблеми розподілу обмежених ресурсів між споживачами оптимальним для Центру способом; проблеми оптимальної доставки обмежених ресурсів до споживачів. У такому разі ми розв'язуємо задачу розподілу ресурсів, оскільки для розв'язання задачі доставки відомі ефективні методи та алгоритми для розв'язку задач транспортного типу (наприклад, метод гілок і границь для розв'язання задачі комівояжера).

Розроблені алгоритми подані із використанням алгебри алгоритмів В.К. Овсяка [10], яка на відміну від вербального та блок-схемного описів, забезпечує точний опис, мінімізацію за кількістю дій (унітермів) та дослідження алгоритмів.

Загальний алгоритм розподілу ресурсів передбачає секвенції

$$S_1 = \overline{a_4; a_5}; \quad S_2 = \overline{a_3; S_1}; \quad S_3 = \overline{a_2; S_2}; \quad S_4 = \overline{a_1; S_3}.$$

Тут a_1 – визначення початкових даних, потрібних для здійснення розподілу обмежених ресурсів; a_2 – опитування експертів та побудова матриць переваг для кожного виду ресурсу; a_3 – обчислення пріоритетів споживачів для кожного з видів ресурсів; пропорційний розподіл обмежених ресурсів між споживачами згідно з обчисленими пріоритетами; a_4 – визначення рівня сукупних видатків та обчислення значення критерію ефективності; a_5 – обчислення вихідних даних: значення пріоритетів споживачів для кожного виду ресурсу; видатки функціонування системи «постачальник-споживач»; кількості ресурсів, які отримає кожен із споживачів; значення критерію ефективності функціонування системи «постачальник-споживач».

Підставивши замість $S_1 - S_4$ їхні секвенції, отримуємо таку формулу загального алгоритму розподілу ресурсів:

$$\overbrace{a_1; \overbrace{a_2; \overbrace{a_3; \overbrace{a_4; a_5}}}} \quad (6)$$

Синтез алгоритму оптимального розподілу ресурсів, який застосовується в унітермі a_3 , виконано секвентним методом, який передбачає синтез секвенцій та елімінувань.

У результаті роботи алгоритму отримуємо: обчислені вектори пріоритетів споживачів $q^j = (q_1^j, q_2^j, \dots, q_n^j)$, для кожного виду ресурсу; кількості обмежених ресурсів, що надаються споживачам (пропорційно до пріоритету).

Для обґрунтування та застосування методу обчислення пріоритетів споживачів (крок 2 алгоритму розподілу обмежених ресурсів між споживачами) використано дерево цілей та множину споживачів ресурсу [3, 9, 11]. Кореню ієрархії відповідає генеральна мета розподілу обмеженого ресурсу, а саме: оптимальний розподіл обмеженого ресурсу. Відповідно до методу аналітичної ієрархії, на другому рівні ієрархії знаходяться аспекти. На рівні листя ієрархії знаходяться споживачі. Використовуючи метод попарного порівняння елементів ієрархії, побудовано матриці парних порівнянь для всіх вершин ієрархії, окрім листя (рівню листя відповідає множина споживачів). Для обчислення вектора пріоритетів споживачів щодо альтернатив та фокуса ієрархії здійснено ієрархічний синтез.

Обчисливши пріоритети альтернатив відносно фокуса ієрархії, отримано вектор пріоритетів споживачів $r_{(1)}^{(j)} = (r_{(1)1}^{(j)}, r_{(1)2}^{(j)}, \dots, r_{(1)n}^{(j)})$ для j -го виду ресурсу. Оскільки оцінювався ступінь видатків, то споживач із найбільшим пріоритетом має найбільший рівень видатків, як фактичних, так і прогнозованих. Для застосування сформованих пріоритетів в алгоритмі розподілу ресурсу між споживачами, треба, щоб споживач із найменшим рівнем видатків мав найвищий пріоритет. Для цього змінюємо пріоритет кожного з них за такою формулою:

$$q_i^j = \frac{1 - r_{(1)i}^{(j)}}{\sum_i r_{(1)i}^{(j)}}, \quad (7)$$

де q_i^j – нове значення пріоритету i -го споживача для j -го виду ресурсу; $r_{(1)i}^{(j)}$ – пріоритет i -го споживача для j -го виду ресурсу, обчислений за допомогою методу аналітичної ієрархії.

Отримуємо $q^j = (q_1^j, q_2^j, \dots, q_n^j)$ – вектор пріоритетів споживачів для j -го виду ресурсу.

Пріоритети споживачів застосовуються в алгоритмі розподілу ресурсу між споживачами.

Грунтуючись на розробленому математичному забезпеченні процесу розподілу обмежених ресурсів та на математичній структурі системи «постачальник-споживач», розроблено алгоритми розв'язання задачі розподілу обмежених ресурсів, що забезпечують мінімізацію сукупних видатків функціонування системи «постачальник-споживач» [9].

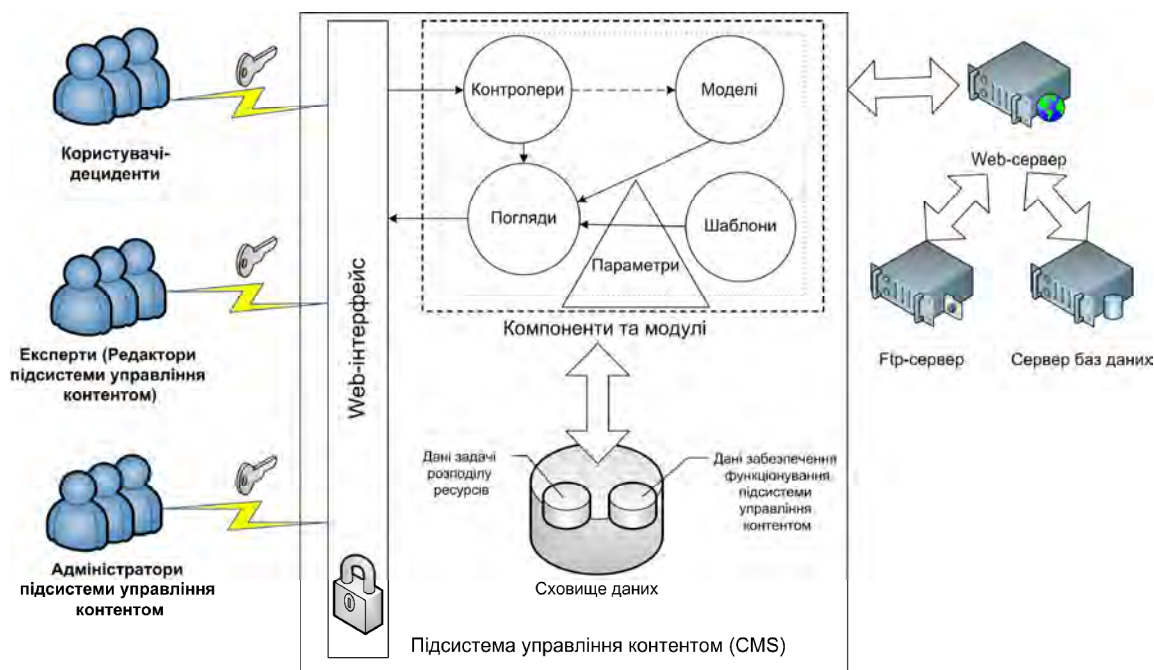


Рис. 1. Архітектура СПДР розподілу обмежених ресурсів

Розроблені алгоритми реалізовано у системі підтримки прийняття рішень. Розроблена узагальнена класифікація СППР дала змогу визначити тип СППР розподілу обмежених ресурсів [4]. Така система є комбінованою, оскільки містить у собі властивості систем різних типів.

Система підтримки прийняття рішень розподілу обмежених ресурсів складається з: підсистеми управління контентом; web-сервера; ftp-сервера; сервера баз даних (рис.1).

Користувачі системи взаємодіють з нею через веб-інтерфейс. Користувачів умовно поділяємо на три групи: користувачі, які приймають рішення (ці користувачі не змінюють ні структури системи, ні даних, якими вона оперує; вони користуються нею для прийняття рішення про надання споживачам певної кількості ресурсу); експерти або редактори підсистеми управління контентом (ці користувачі вносять у систему необхідну інформацію для прийняття рішення: заповнюють матриці переваг, необхідні для виконання алгоритму розподілу обмежених ресурсів); адміністратори підсистеми управління контентом (адміністратори мають повний доступ до системи, вони можуть змінювати дані, занесені до бази даних, змінювати (редагувати) ключові елементи системи). Кожна з груп користувачів має певний набір привілеїв (прав доступу до системи). Тому дії, які можуть здійснити адміністратори системи, не можуть здійснити користувачі (дециденти).

Опишемо призначення основних складових системи (табл. 2):

- web-сервер. Зв'язує всі компоненти системи в одне ціле. За його допомогою відбувається взаємодія користувачів із веб-інтерфейсом підсистеми управління контентом (CMS – Content Management System), та взаємодія CMS із сервером баз даних та ftp-сервером. Він здійснює компіляцію виконуваних файлів CMS.
- ftp-сервер. Призначений для зберігання файлів підсистеми управління контентом.
- сервер баз даних. На ньому розміщена база даних СППР розподілу обмежених ресурсів.
- підсистема управління контентом (CMS). Містить необхідні моделі для розв'язання задачі розподілу обмежених ресурсів. Надає користувачам (особам, що приймають рішення – ОПР) необхідні їм інтерфейси користувача. Експертам надає інтерфейси для заповнення таблиць бази даних СППР. Адміністраторам надає адміністративний інтерфейс для управління контентом та складовими частинами CMS.

CMS складається із компонентів, модулів та бази даних. У базі даних зберігаються таблиці, необхідні для забезпечення функціонування CMS, та таблиці, потрібні для зберігання даних, необхідних для розв'язання задачі розподілу ресурсів.

СППР із розподілу обмежених ресурсів є розширюваною, тобто адміністратори системи можуть розширювати функціональність CMS шляхом додавання до неї нових компонентів та модулів. Модулі та компоненти також називають розширеннями підсистеми управління контентом.

Модулі, зазвичай, використовуються для відображення інформації. Вони мінімально втручаються у функціонування системи і не впливають на її складові частини.

На відміну від модулів, компонент завантажується завжди у одну і ту ж позицію (спеціальна позиція для компонентів). На сторінці веб-інтерфейсу може бути лише один компонент. Вони використовуються для взаємодії із користувачами. Компоненти слугують, наприклад, для відображення проміжних обчислень, які отримуємо, використовуючи розроблені моделі розподілу ресурсів. Компоненти, як і модулі, мають набір різних параметрів, які необхідні для їхнього налаштування (наприклад, один і той же компонент може приймати різний вигляд, залежно від параметрів, з якими користувач завантажує веб-інтерфейс системи).

Кожен модуль та компонент підсистеми управління контентом побудований із використанням сучасної технології MVC (Model View Controller – Модель Погляд Контролер).

Прототип системи підтримки прийняття рішень розподілу обмежених ресурсів розроблений у вигляді веб-порталу. Для його функціонування потрібні такі програмні засоби: веб-сервер із можливістю виконання скриптів PHP 5 (підтримка інтерпретації файлів .php5); FTP сервер (він потрібний для завантаження файлів СППР на хостинг); POP3 / IMAP4 сервер (необхідний для відправлення повідомлень користувачам СППР), DNS сервер (потрібний для підтримання доменного імені веб-порталу), MySQL сервер із підтримкою таблиць у форматі InnoDB (це сервер управління базами даних у якому зберігається сховище даних СППР); phpMyAdmin (набір PHP скриптів, який використовується для адміністрування СУБД MySQL).

Призначення та функції розроблених компонентів СППР

Назва компоненту	Призначення	Функції
1	2	3
Перегляд бази даних	Відображення частини бази даних системи, яка призначена для зберігання даних розв'язання задачі розподілу обмежених ресурсів	Відображення споживачів обмеженого ресурсу для заданого періоду
		Відображення постачальників обмеженого ресурсу для заданого періоду
		Відображення проміжних пунктів для заданого періоду
		Відображення кількості обмеженого ресурсу певного типу спродукованого постачальниками у заданий період
		Відображення прогнозованих витраток функціонування системи у заданому періоді.
		Відображення вимог споживачів за кожним типом ресурсу у заданому періоді.
		Відображення рівня прибутковості кожного із споживачів для кожного типу ресурсу у заданому періоді.
		Відображення значення важливості аспектів у заданому періоді.
		Відображення усіх наявних періодів розподілу обмежених ресурсів та значень критеріїв якості, отриманих розробленими методами, методом прямого, оберненого та рівного розподілу обмежених ресурсів.
		Відображення усіх типів ресурсів, які підлягають розподілу.
Імітаційне моделювання	Генерування даних задачі розподілу обмежених ресурсів. Запис отриманих значень у базу даних. Очищення бази даних від значень.	Відображення типів витраток.
		Очищення частини бази даних, яке використовується для зберігання даних, необхідних для розв'язання задачі розподілу обмежених ресурсів.
		Генерування даних із наперед заданим розкидом значень.
		Заповнення бази даних числовими значеннями.
		Генерування заданої кількості періодів.
		Генерування заданої кількості споживачів для наявного періоду.
		Генерування заданої кількості постачальників для наявного періоду.
		Генерування заданої кількості проміжних пунктів для наявного періоду.
		Генерування заданої кількості типів ресурсів
		Імітаційне моделювання продукування постачальниками обмежених ресурсів.
		Імітаційне моделювання виникнення витраток (генерується значення витратку на одиницю ресурсу).
		Імітаційне моделювання виникнення у споживачів вимог на споживання обмежених ресурсів.
		Генерування прибутковості (значення прибутковості на одиницю ресурсу) споживачів для окремих типів обмежених ресурсів.
		Імітаційне моделювання оцінювання експертами аспектів, критеріїв та витраток споживачів.
Запис у базу даних типів витраток.		

1	2	3
Розв'язання задачі розподілу обмежених ресурсів	Розв'язання задачі розподілу обмежених ресурсів, розробленими та наявними методами. Відображення перебігу розв'язання задачі. Обчислення критеріїв якості функціонування системи.	Відображення перебігу розв'язання задачі для заданого періоду та типу ресурсу.
		Обчислення та відображення рівня видатків для заданого періоду.
		Розв'язання задачі розподілу обмежених ресурсів для усіх періодів.
		Запис у базу даних результатів розв'язання задачі розподілу обмежених ресурсів.
		Обчислення критерію якості функціонування системи для розв'язків отриманих розробленими методами та алгоритмами, та методами прямого, оберненого та рівного розподілу обмежених ресурсів.

Під час створення СППР використано такі засоби:

- HTML – мова розмітки гіпертексту, стандартна мова розмітки документів у Всесвітній павутині. Більшість веб-сторінок створюються за допомогою цієї мови. Документ HTML опрацьовується браузером та відтворюється на екрані у звичному для людини вигляді.
- XML – розширювана мова розмітки, запропонована консорціумом World Wide Web (W3C). (ця мова використана для опису структури модулів та компонентів СППР).
- SQL – мова структурованих запитів, декларативна мова програмування для взаємодії користувача з базами даних, що застосовується для формування запитів, оновлення і керування реляційними базами даних, створення схеми бази даних і її модифікація, система контролю за доступом до бази даних. SQL використана для здійснення запитів і внесення змін до бази даних СППР.

Функціональним призначенням системи підтримки прийняття рішень розподілу обмежених ресурсів є допомога децидентові прийняти найефективніше рішення. Програма пропонує децидентові варіант розв'язання задачі розподілу обмежених ресурсів, а саме: пріоритети, які необхідно присвоїти споживачам для надання їм ресурсів; кількості ресурсу, які треба надати кожному із споживачів. Також програма показує хід розв'язання задачі, щоб децидент міг оцінити достовірність обчислень та за необхідності внести відповідні корективи у вхідні дані задачі.

Компоненти програми реалізовано у формі каталогу із відповідним набором файлів. Всього розроблено три компоненти: dbrevision; dbgen; mai.

Компонент dbrevision, призначений для перегляду бази даних СППР у зручному для децидента вигляді. Опишемо призначення файлів компонента dbrevision: controller.php – реалізація контролеру компонента; dbrevision.php – файл завантаження компонента; models\dbrevision.php – реалізація моделі компонента; views\dbrevision\view.html.php – реалізація погляду компонента; views\dbrevision\templ\default.php – реалізація шаблону погляду компонента.

Компонент dbgen призначений для здійснення імітаційного моделювання, а саме для генерування вхідних даних задачі розподілу обмежених ресурсів. Своєю чергою mai – містить алгоритми та моделі розв'язання задачі розподілу обмежених ресурсів. Структура каталогів та призначення файлів компонентів є аналогічними до компонента dbrevision.

Для виклику програми, треба у браузері завантажити веб-портал за такою адресою: <http://resource>. Після завантаження, децидент отримає головну сторінку порталу. На головній сторінці відображено меню системи, використовуючи яке, користувач має змогу перейти на потрібну йому сторінку (завантажити потрібний компонент) (рис. 2).

Для здійснення аналізу роботи програмної реалізації системи підтримки прийняття рішень розподілу обмежених ресурсів здійснено низку експериментів, використовуючи розроблений компонент імітаційного моделювання (КІМ). Він дає змогу отримати розв'язки задачі розподілу обмежених ресурсів за різних вхідних даних та порівняти між собою критерії якості функціонування системи «постачальник-споживач», отримані в результаті розв'язання задачі різними методами, як розробленими, так і наявними (прямого, оберненого та рівного розподілу).

Щоб здійснити імітаційне моделювання, в розробленій системі користувачу треба ввести вхідні дані задачі.

- Кількість періодів. Вводимо кількість періодів функціонування системи «постачальник-споживач». Їх може бути один і більше.
- Кількість споживачів. Ця змінна означає кількість споживачів обмежених ресурсів у кожному із періодів функціонування системи «постачальник-споживач».
- Кількість постачальників. Значення цієї змінної відповідає кількості постачальників обмежених ресурсів у кожному із періодів функціонування системи «постачальник-споживач». Постачальники продукують ресурси, потрібні споживачам.
- Кількість проміжних пунктів. Вводимо кількість проміжних пунктів, які існуватимуть у кожному із періодів. Проміжні пункти є одночасно і постачальниками ресурсу (продукують ресурси) і їхніми споживачами.
- Кількість типів ресурсів. Змінна означає кількість типів обмежених ресурсів, які будуть продукуватися постачальниками та споживатися споживачами.
- Мінімальна та максимальна кількість ресурсу, яка може бути вироблена постачальником. По суті це мінімальне та максимальне значення виробничих потужностей постачальників. Кожен із постачальників продукуватиме обмежені ресурси у кількості, яка більша за мінімальне значення змінної та менша за максимальне.
- Мінімальна та максимальна величина видатку (рівень видатку на одиницю ресурсу). Задаємо рівень видатків на одиницю виробленого ресурсу. Значення видатків генеруються окремо для кожного із споживачів за кожним із видів ресурсів, у межах від мінімального до максимального заданого значення.
- Максимальний рівень дефіциту. Рівень дефіциту обчислюється як відношення суми всіх вимог на ресурс до його сумарного виробленого обсягу. Вводиться максимальне значення рівня дефіциту, яке може бути на певний вид ресурсу. Розроблена система генерує вимоги споживачів на ресурси залежно від заданого рівня дефіциту у межах від 0 (дефіциту немає) до значення введеного користувачем.
- Мінімальний та максимальний рівень прибутковості на одиницю ресурсу. Споживачі, використовуючи обмежені ресурси, дають певний рівень прибутку. У системі генеруються значення прибутковості кожного зі споживачів на одиницю певного виду ресурсу. Це значення генерується в межах від мінімального до максимального значень, заданих користувачем.

Виконаємо низку експериментів та проаналізуємо отримані вихідні дані (табл. 3).

Ввівши у систему вхідні дані, даємо команду провести імітаційне моделювання та записати результати експерименту у базу даних. Після цього за допомогою розробленого компонента перегляду бази даних отримуємо результати – обчислені критерії якості функціонування системи «постачальник-споживач» для кожного із періодів, використовуючи різні методи (розроблені та наявні). У таблиці також подамо відсоток покращення результату розробленими методами (значення обчислюється, як відношення результатів, отриманих наявними методами, до результатів, отриманих розробленими методами). Рівень дефіциту у вхідних даних задається як відношення сумарних вимог на ресурс до його сумарної виробленої



Рис. 2. Зовнішній вигляд меню графічного інтерфейсу

кількості. Проведемо п'ять експериментів з різними вхідними даними. Причому у кожному подальшому експерименті підвищуватимемо дефіцитність ресурсу.

Таблиця 3

Вхідні дані для експериментів

Назва змінної	Числове значення	
Кількість періодів	10	
Кількість споживачів	10	
Кількість постачальників	10	
Кількість проміжних пунктів	10	
Кількість типів ресурсів	10	
Назва змінної	Мінімальне значення	Максимальне значення
Кількість ресурсу, виробленого постачальниками	1	10
Величина видатку	1	10
Прибутковість	1	3
Номер експерименту	Назва змінної	Числове значення
1	Рівень дефіциту	1,1
2	Рівень дефіциту	1,25
3	Рівень дефіциту	1,5
4	Рівень дефіциту	1,75
5	Рівень дефіциту	2

Обчислені середні значення критерію якості для розробленого методу, а також методів рівномірного, прямого і оберненого розподілів, наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Середнє значення критерію якості та відсоток покращення результату

Порядковий номер експерименту	Метод обчислення критерію якості							
	Розроблені методи		Рівний розподіл		Прямий розподіл		Обернений розподіл	
	значення	%	значення	%	значення	%	значення	%
1	20763,45	-	20888,65	0,603	20889,14	0,605	20887,42	0,597
2	22119,59	-	22333,41	0,967	22342,72	1,009	22337,42	0,985
3	30609,65	-	30902,69	0,957	30946,94	1,102	30918,68	1,010
4	23501,56	-	23804,84	1,290	23740,62	1,017	23816,68	1,341
5	21102,33	-	21496,57	1,868	21486,89	1,822	21500,93	1,889

За результатами проведених експериментів (табл. 5) будуємо графік залежності рівня дефіциту від відсотка покращення результату (рис. 3).

Таблиця 5

Підсумкові результати експериментів

Порядковий номер експерименту	Відсоток покращення результату	Середній рівень дефіциту (%)
1	0,602	5
2	0,987	12,5
3	1,023	25
4	1,216	37,5
5	1,860	50



Рис. 3. Залежність покращення результату розробленими методами від рівня дефіциту

Проведемо ще один експеримент, у якому проаналізуємо пріоритети споживачів, обчислені різними методами (розробленими, методом прямого, оберненого та рівного розподілів).

За допомогою розробленої системи підтримки прийняття рішень згенеруємо вхідні дані задачі із такими параметрами:

- кількість періодів розподілу обмежених ресурсів – 3;
- кількість споживачів – 5;
- постачальників – 3;
- проміжних пунктів – 1;
- максимальний рівень дефіциту – 2;
- кількість виробленого ресурсу у межах від 1 до 10;
- величина витратків на одиницю ресурсу у межах від 1 до 10;
- рівень прибутковості на одиницю ресурсу у межах від 1 до 10;
- згенеровані вимоги споживачів на ресурси наведено у табл. 6

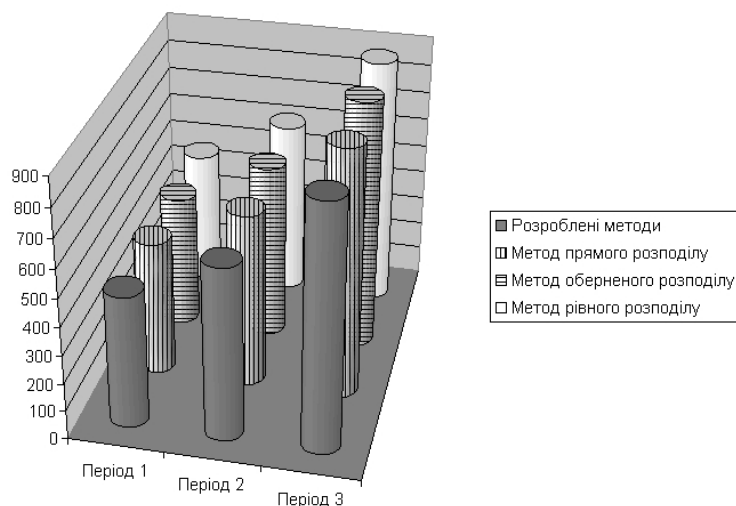
Розв'яжемо задачу розподілу обмежених ресурсів для кожного періоду та кожного виду ресурсу. У результаті отримаємо пріоритети споживачів, кількості ресурсів, які їм будуть надані та обчислені сумарні витатки (витатки у певному періоді для певного типу ресурсу). Порівнюємо результати експериментів, використовуючи різні методи обчислення пріоритетів, а саме: розроблені методи; методи прямого, оберненого та рівного розподілу.

Таблиця 6

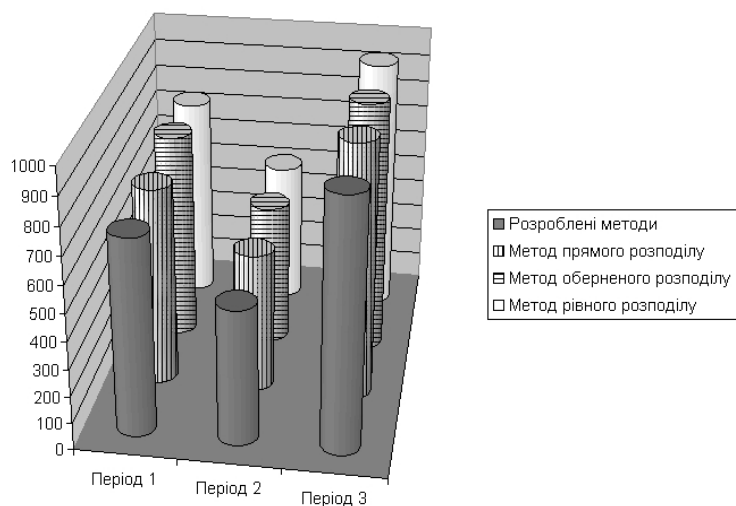
Вимоги споживачів на ресурси

	Споживач 1	Споживач 2	Споживач 3	Споживач 4	Споживач 5
Період 1					
Тип ресурсу 1	4,01	4,97	4,41	3,46	3,39
Тип ресурсу 2	6,7	6,31	4,76	4,62	5,64
Період 2					
Тип ресурсу 1	4,76	5,25	3,32	4,48	5,06
Тип ресурсу 2	4,59	4,61	4,45	2,95	4,66
Період 3					
Тип ресурсу 1	7,75	5,25	6,79	6,65	6,87
Тип ресурсу 2	8,62	5,19	6,05	6	5,34

Зобразимо графічно рівні видатків, обчислених у кожному із періодів для двох видів ресурсів (рис. 4).



a



б

Рис. 5. Рівні видатків для першого (а) і другого (б) типів ресурсу

Здійснивши експерименти, переконаємося у тому, що розроблені методи надають кращий результат за наявні у кожному із експериментів, що свідчить про їхню вищу ефективність порівняно із іншими.

За допомогою розроблених методів, отримуємо кращий результат, як за високих, так і за низьких рівнів дефіциту. Отже, вони застосовні для різних рівнів обмеженості ресурсів.

Висновки

Для досягнення поставленої мети здійснено порівняльний аналіз задач, моделей та методів розподілу обмежених ресурсів у різноманітних галузях народного господарства. Розроблено узагальнений формальний опис процесу прийняття рішення з розподілу обмежених ресурсів, що дало змогу побудувати адекватний формалізований опис основних етапів процесу прийняття рішень. Одержала подальший розвиток математична структура системи «постачальник-споживач».

Розроблено й досліджено модель розподілу обмежених ресурсів, що ґрунтується на побудові дерева цілей та споживачів ресурсів і обчислення значень їхніх пріоритетів засобами методу аналітичної ієрархії, тим самим підвищено ефективність прийнятих рішень системи «постачальник-споживач». Удосконалено критерій ефективності функціонування дворівневої системи «постачальник-

споживач», що дало змогу розв'язати задачу розподілу обмежених ресурсів з урахуванням можливих втрат від недопостачання ресурсу.

Розроблено архітектуру СППР розподілу обмежених ресурсів, яка ґрунтується на запропонованій узагальненій класифікації СППР. Описано принципи її функціонування. Основними складовими системи є: підсистема управління контентом; web-сервер; ftp-сервер; сервер баз даних. Створене прикладне програмне забезпечення реалізує розроблені математичне забезпечення та алгоритми. Програмна реалізація дала змогу здійснити імітаційне моделювання процесу розподілу обмежених ресурсів, що підтвердило ефективність розроблених методів та алгоритмів.

Подальші дослідження будуть присвячені розробленню інтелектуальної складової системи, ґрунтуючись на методах штучного інтелекту.

1. Бурков В.Н. Модели и механизмы распределения затрат и доходов в рыночной экономике / В.Н. Бурков, И.И. Горюхи, Д.А. Новиков, Б.С. Юсупов. – М. : Институт проблем управления, 1996. – 61 с. – (Препринт / Институт проблем управления).
2. Баркалов П.С. Задачи распределения ресурсов в управлении проектами / П.С. Баркалов, И.В. Буркова, А. В. Глаголев. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 65с.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
4. Верес О.М., Верес Ю.О., Катренко А.В. СППР з керування розподілом обмежених ресурсів // Інформаційні системи та мережі. Вісник НУ"Львівська політехніка", 2008, № 610. – С. 52–62.
5. Darryl V. Landvater, and Christopher D. Gray. MRP II Standard System. A handbook for Manufacturing Software Survival. John Wiley & Sons, Inc., 1989.
6. О'Лири Д. ERP системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. Выбор, внедрение, эксплуатация / Д. О'Лири / Пер. с англ. Ю. И. Водяновой. – М. : ООО «Вершина», 2004. – 272 с.
7. Верес Ю. О. Розв'язання задачі управління запасами в системах розподілу обмежених ресурсів // Системний аналіз та інформаційні технології: Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції (26–30 травня 2009 р., Київ). – К. : ННК "ІПСА" НТУУ "КПІ". – 2009. – С. 274.
8. Бородулин А. Н. Внутрифирменное управление, учет и информационные технологии. Учебное пособие. / А. Н. Бородулин, А. Ю. Заложнев, Е.Л. Шуремов. – М.: ЗАО «ПМСОФТ», 2006. – 340 с.
9. Верес Ю.О. Алгоритм розподілу обмежених ресурсів / Ю.О. Верес // Наукові праці Чорноморського державного університету ім. Петра Могили. Серія : Комп'ютерні технології. – 2010. – Вип. 130. – Т. 143. – С. 57–62.
10. Owsiak W. Teoria algorytmów abstrakcyjnych i modelowanie matematyczne systemów informacyjnych / Owsiak W., Owsiak A., Owsiak J. – Opole: Politechnika Opolska, 2005. – 275 s.
11. Катренко А. В. Системний аналіз / А. В. Катренко. – Львів: Новий світ, 2009. – 396 с.