

УДК 004.942.519.872

## **ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБУ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ GPSS WORLD ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧ ПЛАНУВАННЯ ТА ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТУ**

Ракович Г.М.

*Мелітопольський державний педагогічний університет  
імені Богдана Хмельницького*

Тел. (0619) 44-80-29

**Анотація** - в статті розглядається планування, проведення та обробка багатofакторного експерименту на прикладі задач теорії масового обслуговування (ТМО) з використанням системи імітаційного моделювання GPSS World.

**Ключові слова** - імітаційне моделювання, планування, проведення та обробка експерименту, система GPSS World.

*Постановка проблеми.* Планування експерименту є ще зовсім молодою галуззю, яка бурхливо розвивається та викликає все більше інтересу у дослідників. Перспектива скоротити число дослідів, знайти оптимум, отримати кількісні оцінки впливу факторів та визначити помилки – є достатньо привабливою; але часто експериментатор невірно застосовує методи планування експерименту або обирає неоптимальний для даної ситуації шлях дослідження, або припускає ще якісь помилки. Все це є причинами того, що методи теорії планування експерименту не мають активного використання під час написання наукових та науково-дослідних робіт серед аспірантів, магістрантів, студентів тощо.

Навчальна дисципліна «Теорія планування експерименту» своєю задачею вбачає ознайомлення студентів з основами класичної теорії планування експерименту, без ілюстрації її застосування на реальних прикладах.

Часто в якості навчальних виступають задачі наступного типу: наявна таблиця з даними проведеного експерименту, треба скласти матрицю планування, провести дисперсійний та регресійний аналізи, виконати пошук оптимуму (як правило, методом градієнту). Відсутній етап експериментування, що є причиною низької наочності навчальних задач.

З цієї причини доцільно розглянути шляхи унаочнення навчального курсу «Теорія планування експерименту». Одним з таких шляхів є виконання етапу експериментування під час рішення задач з

планування та обробки експерименту.

Оскільки з проведенням натурних експериментів в більшості випадків виникають серйозні труднощі (не має коштів, відсутня експериментальна база тощо), найвдалішим рішенням виконання етапу експериментування виступає застосування комп'ютерного моделювання.

Отже, проблема полягає у виборі видів та інструментальних засобів моделювання, які б відповідали вимогам, що висуваються до навчальних задач з теорії планування експерименту.

*Аналіз останніх досліджень.* Як зазначають дослідники (Жиліна Л.В., Прокубовська А.О. та ін.) використання в навчальному процесі комп'ютерного моделювання сприяє розвитку самостійної пізнавальної діяльності студентів, дослідницьких навичок, є засобом розв'язування дослідницьких задач та мотивом дослідної роботи; стимулює логічне мислення і є засобом забезпечення студентів можливості тренування.

Імітаційне моделювання знайшло широке розповсюдження у багатьох науках та галузях: в математиці, економіці, медицині, у військовій галузі, у теорії систем масового обслуговування тощо.

Питанням розподіленого імітаційного моделювання присвячені сотні робіт вітчизняних та закордонних вчених: Гусева В.В., Казимира В.В., Литвинова В.В., Мар'яновича Т.П., Браянта Р.Е., Місри Д., Фуджімото Р.М., Ченді К.М. та інші.

Багато питань з комп'ютерного і, зокрема, імітаційного моделювання, розкрито у дослідженнях Майєра Р.В.

Численні дослідження з теорії планування експерименту належать Адлеру Ю.П., Грановському Ю.В., Налимову В.В., Федорову В.В., Радченко С.Г.

На сьогодні немає однозначного рішення питання щодо застосування комп'ютерного моделювання для унаочнення етапу експериментування в задачах з теорії планування експерименту. Наявний не один програмний засіб, функціональні можливості якого дозволяють виконувати моделювання, планування та математико-статистичну обробку експерименту.

Особливість навчального предмету «Теорія планування та обробки експерименту» полягає в тім, що прикладом складання плану та виконання математико-статистичної обробки результатів експерименту може виступати будь-який процес - хімічний, хіміко-технологічний, фізичний, з харчової, легкої промисловості, фармакології, соціальний, масового обслуговування тощо. Отже, постає питання вибору комп'ютерних засобів для успішного моделювання експерименту.

*Формулювання цілей статті.* Проаналізувати і охарактеризувати існуючі види та інструментальні засоби комп'ютерного моделювання, зокрема, для обробки багатфакторного експерименту та навести приклади рішення задач з теорії планування експерименту з моделюванням етапу експериментування в системі імітаційного моделювання.

*Основна частина.* Комп'ютерне моделювання – метод розв'язування задачі аналізу або синтезу складної системи, що ґрунтується на використанні її комп'ютерної моделі. Сутність комп'ютерного моделювання полягає у відшуканні кількісних і якісних результатів із залученням наявної моделі.

Комп'ютерна модель складної системи має якомога повніше відбивати всі основні фактори й взаємозв'язки, що характеризують реальні ситуації, критерії та обмеження. [1]

Майер Р.В. виділяє такі види комп'ютерного моделювання: 1) Фізичне моделювання; 2) Динамічне або численне моделювання; 3) Імітаційне моделювання; 4) Статистичне моделювання; 5) Інформаційне моделювання; 6) Моделювання знань. [2]

Імітаційне моделювання – це метод дослідження, за якого досліджувана система замінюється моделлю, що з достатньою точністю описує цю реальну систему, з нею проводяться експерименти з метою одержання інформації про цю систему.

До імітаційного моделювання прибігають, коли: 1) дорого або неможливо експериментувати на реальному об'єкті; 2) неможливо побудувати аналітичну модель, тому що в системі є час, причинні зв'язки, наслідки, нелінійності, стохастичні (випадкові) змінні; 3) необхідно зімітувати поведінку системи в часі.

Особливо ефективним даний вид моделювання є при вирішенні наступних завдань: 1) проектування та аналіз виробничих систем; 2) оцінка різних систем озброєнь; 3) визначення вимог до устаткування та протоколів мереж зв'язку; 4) модернізація різних процесів у діловій сфері; 5) аналіз фінансових та економічних систем. [1]

Імітаційна система реалізує алгоритм рішення завдання і надає користувачеві можливості з керування обчислювальним процесом.

Метод імітаційного моделювання дозволяє вирішувати задачі високої складності, забезпечує імітацію складних процесів, з великою кількістю елементів. Імітаційне моделювання ефективно використовується в задачах дослідження систем зі складною структурою з метою рішення конкретних проблем.

Імітаційне моделювання є важливим фактором в системах підтримки прийняття рішень, тому що дозволяє досліджувати велику

кількість альтернативних рішень, програвати різні сценарії за будь-яких вхідних даних.

Основна цінність імітаційного моделювання полягає в тому, що в основі його лежить методологія системного аналізу. Воно дозволяє здійснити дослідження проєктованої або аналізованої системи за схемою операційного аналізу, що включає взаємопов'язані етапи: змістовна постановка задачі, розробка концептуальної моделі, розробка і програмна реалізація імітаційної моделі, перевірка адекватності моделі та оцінка точності результатів моделювання, планування і проведення експериментів, прийняття рішень. [3]

Розглянемо інструментальні засоби комп'ютерного моделювання.

Моделювання з використанням математичних пакетів: математичне моделювання здійснюється за допомогою різноманітних інструментальних засобів та середовищ, таких як, MathCad, MatLab, Mathematica, Maple, Derive та інші.

Найбільш популярними пакетами імітаційного моделювання є: Arena, AnyLogic, GPSS World, Process Charter, Powersim, Ithlink, Extend+BPR, Vensim.

Пакети відрізняються стилем моделювання. У пакеті Process Charter модель будується за допомогою блок-схем. Powersim та Ithlink використовують систему позначень System Dynamics, запропоновану в 1961 р. Дж. Форрестером Массачусетського технологічного інституту. Extend застосовує компонувальні блоки. Всі продукти, крім Process Charter, дозволяють проводити аналіз чутливості, тобто багаторазово виконувати модель із різними вхідними параметрами, щоб зрівняти результати декількох прогонів.

Пакети імітаційного моделювання: Rockwell Arena – в даній системі використовується процесор і мова імітаційного моделювання SIMAN. Основні області застосування даного пакету: виробництво, логістика і складське господарство, озброєння і безпека, медицина тощо.

Arena надає користувачеві зручний графічний інтерфейс із набором шаблонів моделюючих конструкцій. Для створення моделі в пакеті Arena моделюючі конструкції спочатку перетягують у вікно моделі, а потім з'єднують, щоб позначити рух об'єктів у системі. Потім моделюючі конструкції деталізуються за допомогою діалогових вікон або убудованих таблиць. Arena забезпечує виведення на екран двомірної, тривимірної анімації та динамічної графіки.

Пакет AnyLogic – програмне забезпечення для імітаційного моделювання складних систем і процесів. AnyLogic підтримує ієрархічне моделювання, створення моделюючих конструкцій і об'єднання їх у бібліотеки. AnyLogic заснований на Java і базується на

платформі Eclipse – сучасному стандарті для бізнес-додатків. Завдяки Eclipse AnyLogic працює на всіх поширених операційних системах (Windows, Mac, Linux тощо)

Пакет MatLab SimuLink for Windows – служить для імітаційного моделювання моделей, що складаються із графічних блоків із заданими властивостями (параметрами). До складу моделей можуть включатися джерела сигналів різного виду, віртуальні прилади, що реєструють математичне моделювання побудованої моделі з наочним візуальним поданням результатів.

GPSS World – світова загальноцільова система моделювання, розроблена для ОС Windows. Середовище включає розвинені оболонки для створення моделей та інтерпретацій вихідних результатів моделювання, засоби мультимедіа та відео, об'єктно-орієнтоване програмування та ін. В основу системи покладена мова імітаційного моделювання GPSS (General Purpose Simulating System). [1]

Імітаційна модель на мові GPSS являє собою список об'єктів (операторів або блоків), які характеризують процеси обробки замовлень – шляхи їх просування в системі, яка моделюється, а також події, які супроводжують це просування. За допомогою об'єктів мови описуються виникнення транзактів (замовлень), їхнє просування, затримки в чергах, знищення тощо. Послідовність запису об'єктів та спеціальні оператори управління задають маршрути переміщення транзактів між елементами моделі.

Під час моделювання на GPSS обчислювальна система надається як система масового обслуговування. [4]

Ефективне використання системи передбачає виконання ряду етапів: 1) Постановка задачі; 2) Виявлення основних особливостей; 3) Створення імітаційної моделі процесу; 4) Подання імітаційної моделі в системі GPSS World; 5) Моделювання системи. [1]

Система GPSS World надає можливості проведення дисперсійного аналізу та оптимізуючого багатofакторного експерименту на основі даних моделі.

Дисперсійний аналіз (відсіюючий експеримент) вказує на силу впливу кожного фактору на спостережувану змінну (відгук). Система GPSS World надає можливості проведення як повного, так і дробового факторного експериментів.

Оптимізація є однією з головних задач моделювання. В GPSS World вирішення таких задач можливе за рахунок проведення регресійного аналізу (оптимізуючого експерименту). Оптимізація процесу, який моделюється полягає у визначенні таких значень рівнів факторів, за яких показник ефективності процесу досягає максимального (або мінімального) значення.

Найбільш ефективним за комп'ютерного моделювання є так званий метод поверхонь – рівняння регресії трактується як рівняння поверхні у багатофакторному просторі. Оптимальне рішення в даному випадку складають координати зі значень факторів - вершини (або впадини) цієї поверхні. Пошук оптимуму здійснюється послідовними змінами значень рівнів факторів у напрямку, на якому винаходиться покращення показника ефективності. Такий метод реалізований в GPSS World. Користувач задає вихідні умови, а GPSS World автоматично створює план і виконує з поверхнею відгуку експеримент, який відшукує оптимальне значення. В ході експерименту GPSS World намагається підібрати або лінійну модель, або модель другого порядку (включаючи двофакторні взаємодії). [5]

Наведемо приклади рішення задач планування, проведення та обробки багатофакторного експерименту в системі GPSS World. Система GPSS World дозволяє вирішувати цілий клас задач – це задачі з теорії масового обслуговування.

В системах масового обслуговування присутні заявки, черги, обслуговуючі пристрої. Дані процеси потребують оптимізації певного параметру, наприклад, пошук умов (значень вхідних факторів) для мінімізації довжини черг або збільшення кількості обслужених заявок за одиницю модельного часу.

**Умова задачі 1:** на деякій фабриці на складі працює один комірник. Він видає запасні частини механікам, які обслуговують станки. Час виконання запиту користувача залежить від типу запасної частини. Запити бувають двох категорій (дані надані в таблиці). Більш високий пріоритет мають запити з меншим часом обслуговування, тобто, комірник у першу чергу обслужить запити другої категорії. [6]

Потрібно створити GPSS - програму, яка моделює роботу складу протягом 8 годин (при цьому слід забезпечити збір статистичних даних про чергу); проаналізувати отримані результати; виконати відсіюючий та оптимізуючий експерименти. Вихідним параметром (який потрібно оптимізувати) може виступати середній час перебування запчастини 1 або 2 категорії у черзі на обслуговування, а вхідними факторами слугуватимуть: **фактор 1** інтенсивність надходження заявок до системи моделювання та **фактор 2** інтенсивність обслуговування однієї заявки обслуговуючим пристроєм.

Категорія запиту	Інтервали часу прибуття механіків	Час обслуговування, сек
1	420±360	300±90
2	360±240	100±30

Після проведення моделювання маємо наступний звіт:

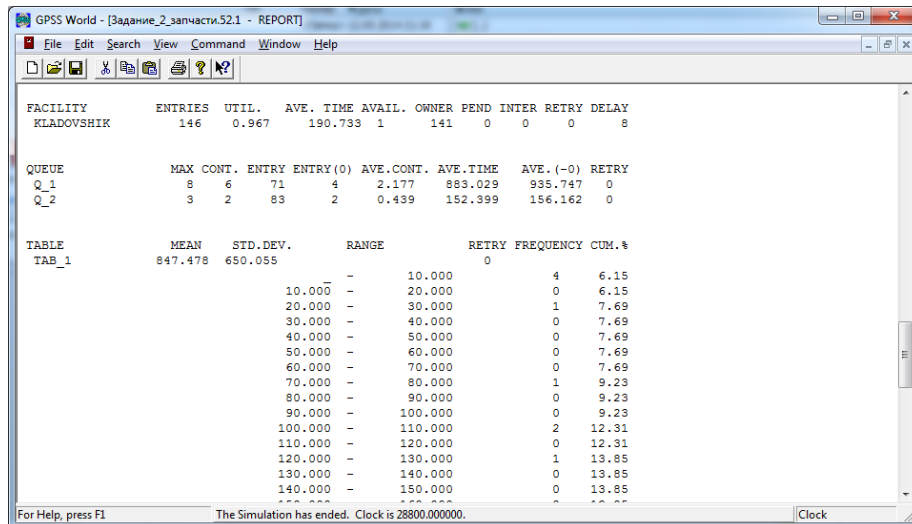


Рис. 1.

У блоці FACILITY описуються характеристики одноканального пристрою, у блоці QUEUE – характеристики черги, у блоках TABLE – характеристики частотних інтервалів по наповнюваності черг на обслуговування запчастин першої та другої категорій. Дані таблиці можна надати у вигляді гістограми, рис. 2 – дані по очікуванню у черзі на обслуговування запчастин категорії 2:

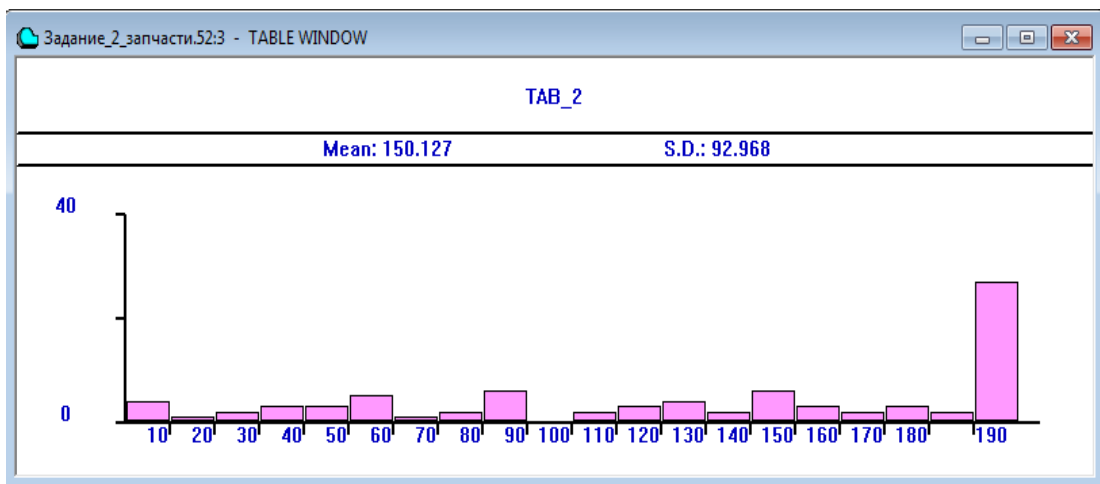


Рис. 2.

У блоці SAVEVALUE вказані параметри системи, які потрібно оптимізувати (ці параметри взято для планування та проведення багатofакторних експериментів).

Для виконання відсіюючого експерименту потрібно вказати вхідні фактори та вираз, за яким обчислюється значення вихідного параметру:

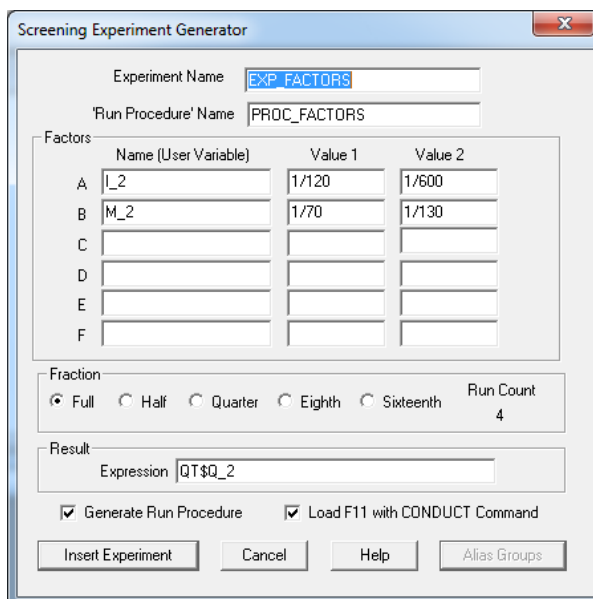


Рис. 3.

Результати відсіюючого експерименту надані на рисунку 4; фактори А та В – відповідно фактори перший та другий, Value1 та Value2 – значення нижнього та верхнього рівнів факторів; у полі Fraction вказано кількість незалежних дослідів, в даному випадку виконується повний факторний експеримент: Вихідним параметром виступає середній час перебування запчастини 2 категорії в черзі на обслуговування.

05/19/14 15:47:56	Alias Group	Effect	Sum of Squares	Degrees of Freedom	F - for Only Main Effects	Critical Value of F (p=.05)
05/19/14 15:47:56	A	0.006	0.000	1	0.906	161.40
05/19/14 15:47:56	B	-0.002	0.000	1	0.145	161.40
05/19/14 15:47:56	AB	-0.006				
05/19/14 15:47:56	Error		0.000	1		
05/19/14 15:47:56	Total		0.000	3		
05/19/14 15:47:56	Grand Mean	2.996				
05/19/14 15:47:56	Experiment ended.					

Рис. 4.

З даних звіту маємо, що ефект фактору А є більшим за ефект фактору В, тобто, для запчастин категорії 2 середній час перебування запчастини в черзі на обслуговування більше залежить від інтенсивності надходження запитів – чим більше інтенсивність надходження запчастин, тим більшим стає час очікування у черзі на обслуговування.



Що стосується фактору В, тут ситуація протилежна – чим меншою є інтенсивність обслуговування, тим більшим виявляється час очікування у черзі.

Результати експерименту підтверджують висновки, які можна зробити аналізуючи вхідні, вихідні дані та умови роботи системи масового обслуговування.

За результатами оптимізуючого експерименту за наявних вхідних даних та умов моделювання, оптимум відшукати неможливо. Подальшою задачею експериментатора буде встановлення інших значень рівнів вхідних факторів та відшукування іншої області визначення вихідного параметру.

**Умова задачі 2:** автозаправна станція має 2 бензоколонки. Інтервали часу між надходженням автомобілів мають експоненціальний розподіл із середнім значенням 1.75 хв. Час заправки автомобілів мають рівномірний розподіл на інтервалі [2,4]. [7]

Результати відсіюючого експерименту надані на рисунку 5:

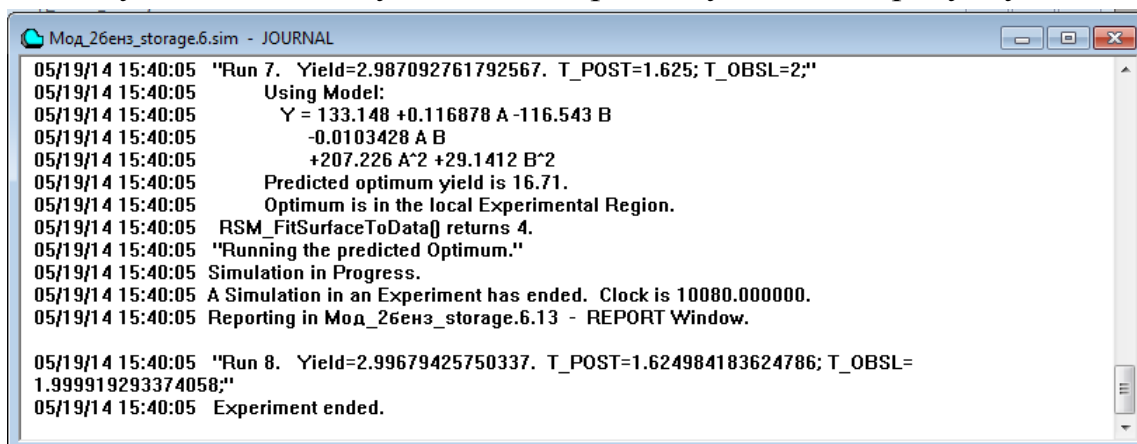
05/19/14 15:47:56	Alias Group	Effect	Sum of Squares	Degrees of Freedom	F - for Only Main Effects	Critical Value of F (p=.05)
05/19/14 15:47:56	A	0.006	0.000	1	0.906	161.40
05/19/14 15:47:56	B	-0.002	0.000	1	0.145	161.40
05/19/14 15:47:56	AB	-0.006				
05/19/14 15:47:56	Error		0.000	1		
05/19/14 15:47:56	Total		0.000	3		
05/19/14 15:47:56	Grand Mean		2.996			
05/19/14 15:47:56	Experiment ended.					

Рис. 5.

За умовами процесу моделювання, середній час обслуговування бензоколонками належить інтервалу [2,4]; але за результатами оптимізуючого експерименту, за таких значень рівнів фактору В неможливо відшукати оптимум.

Найближчий варіант – змінити область визначення вхідних факторів. В результаті змінення значень середнього часу обслуговування на [1,3] було знайдено оптимум та відшукано рівняння математичної моделі даного процесу.

Результати оптимізуючого експерименту надані на рисунку 6.



```

Мод_2бенз_storage.6.sim - JOURNAL
05/19/14 15:40:05 "Run 7. Yield=2.987092761792567. T_POST=1.625; T_OBSL=2;"
05/19/14 15:40:05 Using Model:
05/19/14 15:40:05 Y = 133.148 +0.116878 A -116.543 B
05/19/14 15:40:05 -0.0103428 A B
05/19/14 15:40:05 +207.226 A^2 +29.1412 B^2
05/19/14 15:40:05 Predicted optimum yield is 16.71.
05/19/14 15:40:05 Optimum is in the local Experimental Region.
05/19/14 15:40:05 RSM_FitSurfaceToData[] returns 4.
05/19/14 15:40:05 "Running the predicted Optimum!"
05/19/14 15:40:05 Simulation in Progress.
05/19/14 15:40:05 A Simulation in an Experiment has ended. Clock is 10080.000000.
05/19/14 15:40:05 Reporting in Мод_2бенз_storage.6.13 - REPORT Window.

05/19/14 15:40:05 "Run 8. Yield=2.99679425750337. T_POST=1.624984183624786; T_OBSL=
1.999919293374058;"
05/19/14 15:40:05 Experiment ended.
  
```

Рис. 6.

*Висновки.* На сьогодні існує чимало інструментальних засобів комп'ютерного моделювання, які підходять для вирішення багатьох типів задач. Найбільшої уваги серед існуючих видів моделювання займає імітаційне, як таке, що дозволяє виконувати моделювання складних систем.

Для вирішення задач планування, проведення та обробки багатофакторного експерименту доцільно застосовувати систему GPSS World тому, що: 1) GPSS World надає можливості моделювання експерименту; 2) має вбудовані алгоритми виконання відсіювання та оптимізації багатофакторних експериментів на основі даних моделювання; 3) дозволяє вирішувати цілий клас задач з теорії масового обслуговування.

В основній частині даної статті наводяться два приклади вирішення задач планування, проведення та обробки двофакторних експериментів в середовищі GPSS World. В результаті успішного виконання моделювання та експериментів надаються дані про ефекти впливу вхідних факторів, а також математична модель (нелінійна) досліджуваного процесу.

#### Література

1. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень / [Р.Н. Кветний, І.В. Богач, О.Р. Бойко та ін.]. – Вінниц. нац. техн. ун-т. Ч.1, 2013. – 234 с.
2. Майер Р.В. Основы компьютерного моделирования: Учебное пособие / Майер Р.В. – Глазов: ГГПИ, 2005.- 25 с.
3. Реалізація імітаційної моделі: стаття, Вікі КДПУ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://wiki.kspu.kr.ua/index.php/>

4. Имитационное моделирование на языке GPSS: метод. указ. / [сост. О.Н. Евсеева, В.В. Шишкин]. – Ульяновск: УлГТУ, 1995. – 40 с.
5. Ракович Г.М. Психолого-педагогічні аспекти застосування комп'ютерного моделювання у навчальному процесі з планування і аналізу експерименту / Г.М. Ракович // Інформаційні технології в освіті. – Херсон, 2013. - № 15. – С. 289-297.
6. Савина О.А. Методические указания по выполнению практических занятий по дисциплине «Моделирование систем»: каф. «Информационные системы» / О.А. Савина. – Орел, 2011. – 45 с.
7. Шевченко Д.Н. Имитационное моделирование на GPSS: учеб.-метод. пособие [для студ. техн. спец.] / Д.Н. Шевченко, И.Н. Кравченя. – Гомель: Белорус. гос. ун-т трансп., 2007. – 97 с.

### **ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ GPSS WORLD В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ, ПРОВЕДЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТА**

А.Н. Ракович

*Аннотация* – в статье рассматривается планирование, проведение и обработка многофакторного эксперимента на примере задач теории массового обслуживания (ТМО) с использованием системы имитационного моделирования GPSS WORLD.

### **USE SIMULATION IN GPSS WORLD SYSTEM IN THE TASKS OF PLANNING, CONDUCTING AND EXPERIMENTAL TREATMENT**

A. Rackovych

#### *Summary*

The article is devoted to the questions of planning, conducting and treatment the multivariate experiment on the tasks of the queuing theory. Simulation of queuing systems is done by the tools of GPSS World system.