

**В.М. Томашевський**, д-р техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

**В.В. Нехай**, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### **ЗАСОБИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ НАВЧАННЯ, ЯКІ ГРУНТУЮТЬСЯ НА МОВІ GPSS**

**В.Н. Томашевский**, д-р техн. наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

**В.В. Нехай**, аспирант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### **СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ, БАЗИРУЮЩИЕСЯ НА ЯЗЫКЕ GPSS**

**Valentyn Tomashevskiy**, Doctor in Technical Sciences

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

**Valentyn Nekhai**, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

### **MEANS OF IMITATING MODELLING FOR EDUCATING, BASED ON GPSS LANGUAGE**

*Проведено аналіз засобів імітаційного моделювання, які ґрунтуються на мові GPSS. Показано переваги та недоліки мови GPSS і доцільність використання її для навчання та швидкої побудови імітаційних моделей.*

**Ключові слова:** імітаційне моделювання, мова GPSS, мережі обслуговування.

*Проведен анализ средств имитационного моделирования, базирующихся на языке GPSS. Показаны достоинства и недостатки языка GPSS и целесообразность его использования для обучения и быстрого построения имитационных моделей.*

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, язык GPSS, сети обслуживания.

*The analysis of means of the imitating modeling which is based in language GPSS is carried out. Merits and demerits of language GPSS and expediency of its use for educating and construction of simulation models are shown.*

**Key words:** simulation system, language of GPSS, networks of service.

**Постановка проблеми.** Сучасний розвиток суспільства визначається стрімким збільшенням кількості інформації, що обумовлює нові пріоритетні напрямки розвитку сучасної освіти у сфері сучасних інформаційних технологій, спрямованих на модернізацію навчального процесу з метою його більш ефективного функціонування. Використання в навчальному процесі інформаційних технологій моделювання сприяє розвитку у студентів логічного мислення, дослідницьких навичок та самостійної пізнавальної діяльності студентів. Одним із розповсюджених методів моделювання складних систем є імітаційне моделювання.

Розвиток спеціалізованих засобів імітаційного моделювання бере початок з 60-х років ХХ сторіччя, коли була розроблена концепція світогляду (world view) дискретних мов моделювання, згідно з якою ці мови визначались як орієнтовані на події, дії та процеси. Поява мови GPSS, створеної у компанії ІВМ Джеффри Гордоном, відіграло особливу роль у подальшому розвитку засобів імітаційного моделювання. Свого часу ця мова була реалізована практично на всіх типах комп'ютерів і належала до першого десятка кращих мов програмування, випереджаючи навіть мову АЛГОЛ. На сьогодні існує кілька її версій для персональних комп'ютерів: для ОС DOS – GPSS/PC, для OS2 і DOS – GPSS/H, для Windows – GPSS World [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання розподіленого імітаційного моделювання розглядаються в роботах вітчизняних та закордонних учених: М.П. Бусленка, В.В. Гусева, В.В. Казимира, В.В. Литвинова, Т.П. Мар'яновича, Р.Е. Браянта, Р.В. Майера, Д. Місри, М.М. Моїсеєва, Р.М. Фуджімото, К.М. Ченді та

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

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Незважаючи на значні здобутки науковців та практиків у сфері інформаційних технологій імітаційного моделювання і на сьогодні лишаються невирішеними питання щодо застосування комп'ютерного моделювання для унаочнення етапу експериментування в задачах з теорії планування експерименту, збільшення швидкості отримання результатів моделювання, використання мови моделювання для побудови подійних дискретних імітаційних моделей і проведення експериментів з ними.

**Мета статті.** Метою цієї статті є обґрунтування подальшого розвитку та застосування сучасних комп'ютерних інформаційних технологій – комп'ютерної системи імітаційного моделювання GPSS – у навчальному процесі під час підготовки фахівців у сфері комп'ютерного моделювання.

**Виклад основного матеріалу.** Мова моделювання GPSS (General Purpose Simulating System) – система моделювання загальноцільового призначення використовується для побудови подійних дискретних імітаційних моделей і проведення експериментів з ними. У цій мові були уніфіковані об'єкти, необхідні для побудови імітаційних моделей: засоби генерації динамічних об'єктів – транзактів; об'єкти, що відтворюють певні ресурси для обслуговування – пристрої, накопичувачі або пристрої пам'яті та обслуговування; спискові структури, що відтворюють черги до ресурсів, а також засоби збирання статистики за результатами моделювання. Прихований від користувача внутрішній механізм просування модельного часу від події до події застосовував списки поточних і майбутніх подій.

Мова GPSS – це мова моделювання дискретних систем декларативного типу, орієнтована на процеси і побудована за принципами мови об'єктів. Основними елементами цієї мови є транзакти і блоки, які відображають відповідно динамічні і статичні об'єкти системи. Блоки мають уніфіковану структуру з певною кількістю операндів, значення яких задаються або можуть бути задані за замовченням. Таким чином, GPSS-модель складається з послідовності блоків, по яких рухаються транзакти. Наприклад, щоб промодельовати систему обслуговування з одним пристроєм достатньо у найпростішому випадку п'яти блоків. Такі властивості мови GPSS дозволяють швидко навчити користувача будувати моделі, що робить її унікальною як засіб для навчання імітаційному моделюванню.

Основна вада мови GPSS – відсутність можливості будувати об'єктно-орієнтовані імітаційні моделі для складних систем моделювання. Водночас засоби мови GPSS мають унікальні можливості будувати складні моделі, в яких використовується непряма адресація блоків з використанням параметрів транзактів. Це дозволяє створювати складні сітьові мережі обслуговування з застосуванням віртуальних пристроїв обслуговування, задаючи одну послідовність параметричних блоків для різних вузлів мережі обслуговування.

Незважаючи на значний вік, мова GPSS є однією з найбільш застосованих у навчальному процесі. Про це свідчить багато посібників [2; 3; 4], які використовуються в різних ВНЗ. За допомогою цієї мови студенти дуже швидко вчаться будувати імітаційні моделі. Наприклад, на кафедрі автоматизованих систем оброблення інформації та управління (АСОІУ) НТУУ «КПІ» вже на першому практичному занятті з дисципліни «Моделювання систем» студенти моделюють системи масового обслуговування. Якщо порівняти швидкість написання коду GPSS-програми та аналогічної програми звичайними засобами програмування, то різниця в часі буде значною. Про це свідчить опис такої програми мовами Fortran і C у книзі [5], який займає понад 50 сторінок.

Важливим для навчання імітаційному моделюванню є розуміння принципів побудови моделюючих алгоритмів і механізмів просування модельного часу. Ці знання дають змогу розуміти як побудовані будь-які транслятори для мов дискретного імітаційного моделювання. Досвід викладання цих питань показує, що студенти можуть самотужки створювати свої засоби моделювання. Наприклад, так студентом кафедри АСОІУ в 1995 році самостійно був розроблений мовою Pascal транслятор A95 для мови GPSS під Windows для персональних комп'ютерів, який досі є доступним на сайті [www.simulatin.org.ua](http://www.simulatin.org.ua). На той час фірма Minuteman Software мала тільки транслятор GPSS/PC для DOS. Для розроблення інтерфейсу для транслятора A95 був потрібний час і Minuteman Software встигла в цьому ж році випустити GPSS World під Windows.

Іншим прикладом є створення відкритої розподіленої системи OpenGPSS [6] аспірантом Д.Г. Диденко, яка працює з кластерами та має онлайн-портал для роботи через Інтернет і була доступна за адресою <http://www.simulation.kiev.ua>. Автором отримано свідоцтво № 22543 (від 05.11.2007 р.) на реєстрацію авторського права на твір «Комп'ютерна програма “Мультиагентна система дискретно-подійного імітаційного моделювання OpenGPSS”».

Транслятор для системи OpenGPSS складається з таких частин:

1. Лексичний аналізатор, який трансліює вхідну мову у внутрішній формат.
  2. Таблиця ідентифікаторів, яка створюється лексичним аналізатором, в якій міститься інформація про використані у програмі назви сутностей.
  3. Синтаксичний аналізатор, який перевіряє синтаксис коду, що трансліюється. Він використовує встановлену граматику мови і створює *синтаксичне дерево*.
  4. Синтаксичне дерево, в якому зберігається внутрішня структура вхідної GPSS-програми.
  5. Семантичний аналізатор, який перевіряє семантичну коректність програм на основі інформації, отриманої з синтаксичного дерева та таблиці ідентифікаторів.
  6. Генератор коду, який проходить по синтаксичному дереву та генерує внутрішній код.
- Етапами трансляції вхідної GPSS-програми є:
- 1) лексичний аналіз (розбиття вхідного потоку на *токени*);
  - 2) синтаксичний аналіз (побудова абстрактного синтаксичного дерева);
  - 3) семантичний аналіз (побудова внутрішнього представлення моделі);
  - 4) генерація коду (створення коду імітаційної моделі на внутрішній мові).

Система моделювання OpenGPSS, реалізована мовою PL/SQL, використовує технологію взаємодіючих агентів, ґрунтується на кластері та підтримує динамічну реконфігурацію кластера у випадку відмови або у разі підключення нового сервера. Інформація про мережеву топологію кластера використовується лише на системному рівні, що забезпечує прозорість імітації для користувачів. У GPSS-програмі немає директив для розпаралелювання, вона працює у гетерогенній мережі, на різних архітектурах комп'ютерів, з різними операційними системами.

Про те, що мова GPSS продовжує свій розвиток, свідчить створення системи Object GPSS [7], яка дозволяє просто і природно писати тексти моделей на Object Pascal і використовувати її можливості для моделювання. А.Г. Королев стверджує, що можливості Object GPSS помітно перевершують ті, що є, наприклад, у GPSS World, у першу чергу, за рахунок можливостей самого Object Pascal, а в другу – за рахунок розширення номенклатури блоків, процедур і функцій.

Окремо є сенс зупинитись на імітаційній системі інтерактивного моделювання (ICIM), яка була створена на кафедрі АСОІУ, і має вбудований генератор імітаційних GPSS-програм. Перша версія системи ICIM працювала під керівництвом DOS для персональних комп'ютерів. У 1998 році було створено другу версію – ICIM'95, з графіч-

ними засобами побудови імітаційних моделей для Windows. Основне призначення ICIM – моделювання дискретних систем, які можна зобразити за допомогою мереж обслуговування загального вигляду. Для цієї системи розроблено лінгвістичний процесор, за допомогою якого користувач у діалоговому режимі автоматично створював GPSS-програму й запускав її на виконання. Остання версія системи ISS 2000 [8] (авторське свідоцтво на твір № 30622 від 2009 р.) дозволяє автоматично створювати імітаційні моделі замкнених і розімкнених мереж масового обслуговування, транспортних мереж, логістичних і виробничих систем, а також є засобом для навчання імітаційному моделюванню дискретних подійних сітьових моделей.

Автоматична генерація коду GPSS-програм для сітьових моделей спрощує створення імітаційних моделей, дозволяючи пропустити етап програмної реалізації, який звичайно виконує програміст або аналітик з моделювання. Суттєвий вииграш у часі створення моделей, особливо великих мереж, відбувається за рахунок переходу від концептуального рівня у вигляді графа з параметричним настроюванням об'єктів (вузлів) моделі до автоматичного створення GPSS-програм. Наприклад, для створення системи обслуговування з одним пристроєм максимально може бути задіяно до 15 блоків мови GPSS. Уявіть складність GPSS-програми, якщо потрібно створити модель для 50 вузлів мережі обслуговування. Лінгвістичний процесор системи ISS 2000 гарантує побудову правильного коду мовою GPSS. Більш того, доступ програміста до побудованої GPSS-програми дозволяє змінювати й доповнювати отриманий код, що значно розширює можливості системи ISS 2000, але в цьому випадку програміст бере на себе відповідальність за правильність створеної GPSS-моделі.

У системі ISS 2000 [2] є можливості визначення потенційно вузьких місць мережі обслуговування з використанням операційного аналізу ще до початку проведення експериментів з моделлю. Як відомо, вузькі місця в мережі визначають її пропускну здатність, тобто такі розрахунки дозволяють попередньо до початку моделювання збалансувати систему, змінюючи пропускну здатність окремих вузлів мережі обслуговування ще на концептуальному рівні. Простота створення концептуальних моделей транспортних мереж показана на рисунку.

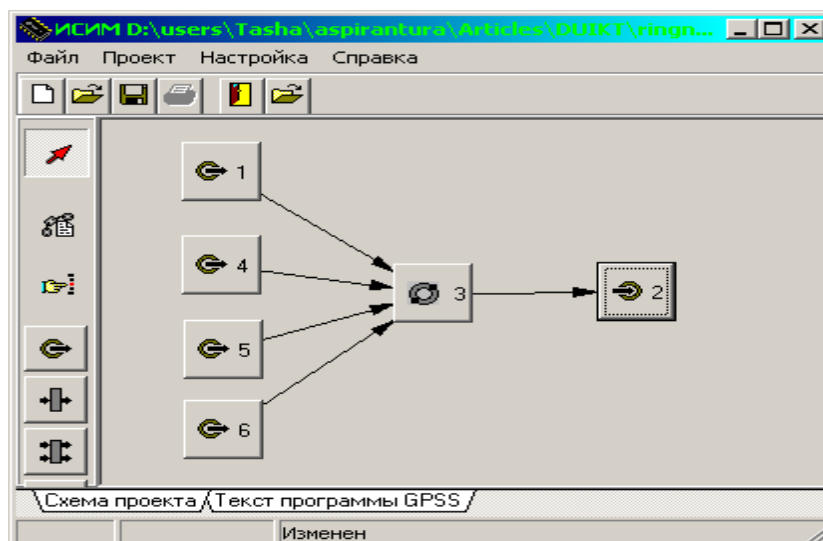


Рис. Концептуальна структура кільцевої транспортної мережі

У моделі використовуються 4 генератори (блоки 1, 4, 5 і 6) для створення потоків пасажирів різної категорії, кільцева мережа (блок 3) і термінатор (блок 2). Лінгвістичний процесор системи ISS 2000 будує GPSS-програму, яка не залежить від характеристик об'єктів перевезення або кількості вершин мережі (зупинок), куди можуть прибува-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ти пасажирів. Задавання характеристик об'єктів робиться за допомогою параметричного настроювання функціональних залежностей та вузлів обслуговування, тобто з використанням непрямой адресації елементів GPSS-моделі [9]. Такий підхід дозволяє спростити створення програмного коду, а також полегшити внесення змін у програму.

Систему ISS 2000 зручно використовувати для навчання студентів [10] створенню GPSS-моделей. У цьому випадку після ознайомлення з мовою GPSS і принципами створення моделей з блоків студенти можуть використовувати систему ISS 2000 для отримання прикладів створення GPSS-програм різної складності, починаючи з простих систем обслуговування. Досвід застосування такого підходу показує значне прискорення процесу навчання створенню імітаційних моделей мовою GPSS.

**Висновки.** Мова GPSS, незважаючи на значний вік, є зручним засобом для навчання імітаційному моделюванню за рахунок простоти та швидкості створення моделей. Закладені в ній конструкції елементів мови є базовими для будь-якої мови дискретного подійного моделювання. Розуміння внутрішнього механізму керування процесом моделювання у модельному часі дозволяє самостійно створювати моделюючі системи та розуміти принципи побудови засобів імітаційного моделювання.

### Список використаних джерел

1. *Томашевський В. М.* Моделювання систем / В. М. Томашевський. – К. : Видавнича група BHV, 2005. – 352 с.
2. *Томашевський В. Н.* Имитационное моделирование в среде GPSS / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова. – М. : Бестселлер, 2003. – 416 с.
3. *Боев В. Д.* Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World / В. Д. Боев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.
4. *Моделювання систем у GPSS World : навч. посіб. / Я. І. Соколовський, Ю. В. Шабатура, Я. І. Виклюк, І. М. Крошній, М. В. Дендюк ; за ред. В. В. Пасічника.* – Львів : Новий Світ – 2000, 2014. – 288 с.
5. *Кельтон В.* Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. – 3-е изд. – СПб. : Питер ; Издат. группа BHV, 2004. – 847 с.
6. *Томашевський В. Н.* Агентная архитектура распределенной дискретно-событийной системы имитационного моделирования OpenGPSS / В. Н. Томашевский, Д. Г. Диденко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2006. – № 4. – С. 123–132.
7. *Королев А. Г.* Моделирование систем средствами Object GPSS. Практический подход в примерах и задачах: учебное пособие / А. Г. Королев. – Северодонецк, 2008. – 219 с.
8. *Томашевський В. Н.* Система дискретного имитационного моделирования ISS 2000 / В. Н. Томашевский, Н. В. Богушевская // Праці міжнародної наукової конференції «Досягнення та перспективи розвитку інформаційного суспільства в Україні» (Ганновер, Німеччина, 2006 р.). – К. : Зв'язок, 2006. – С. 93–105.
9. *Богушевська Н. В.* Формальна модель кільцевої транспортної мережі. Реалізація перетворення діалогової нотації до програмного коду / Н. В. Богушевська, В. М. Томашевський // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2008. – № 48. – С. 19–24.
10. *Богушевская Н. В.* Использование системы ИСИМ при изучении дисциплины «Моделирование систем» / Н. В. Богушевская // Матеріали Міжнародної наук. конф. «Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій», Євпаторія, 15–18 травня 2006 р. : зб. наук. праць. – Херсон : Видавництво Херсонського морського інституту, 2006. – Т. 4. – С. 14–18.