

## ФОРМАЛЬНА МОДЕЛЬ КІЛЬЦЕВОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ. РЕАЛІЗАЦІЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДІАЛОГОВОЇ НОТАЦІЇ ДО ПРОГРАМНОГО КОДУ

Предложены формальные модели, позволяющие задать характеристики транспортного средства и объекта перевозки для кольцевой транспортной сети. Созданы диалоговые нотации для задания параметров кольцевой сети. Определены функциональные зависимости, позволяющие использовать для моделирования транспортной сети программный код, в котором конфигурация транспортной сети зависит только от параметрической настройки зависимостей. Рассмотрен пример задания транспортной сети при помощи формальных моделей и функциональных зависимостей.

Formal models for defining description of transport facilities and transportation objects in circular traffic net are proposed. Dialog notations for defining ring net attributes are made. Functional dependencies that allow use for modeling the program segment, in which the configuration of ring net depends only on parametric tuning of those dependencies, are described. An example of defining circular traffic net by means of proposed formal models and functional dependencies is viewed.

### Постановка задачі у загальному вигляді

Транспортна інфраструктура є однією з найважливіших структур, яка забезпечує життя міст та регіонів. В останній час в багатьох великих містах вичерпані (або близькі до цього) можливості екстенсивного розвитку транспортних мереж. Тому особливо важливим стає питання оптимального планування розвитку мереж, поліпшення організації руху, оптимізація маршрутів перевезення вантажів і громадського транспорту. Вирішення цих питань неможливе без застосування математичного моделювання транспортних мереж.

При моделюванні транспортних мереж особу зацікавленість являють собою задачі, пов'язані із завданням кільцевого маршруту (кільцевої мережі). Така мережа має ряд вузлів (зупинки для входу чи виходу пасажирів, пункти завантаження чи вивантаження товарів) та динамічні транспортні об'єкти (автобуси, троллейбуси, вантажівки), що рухаються за кільцевим маршрутом.

До вузлів кільцевої мережі надходять інші динамічні об'єкти (пасажирів чи вантажі) – об'єкти перевезень, які мають бути перевезені об'єктами руху з вузла завантаження до вузла вивантаження. У вузлах мережі можуть утворюватися черги із об'єктів перевезень (рисунк 1).

Прикладом кільцевої мережі може служити кільцевий маршрут громадського або вантажного транспорту. Моделювання пасажирських перевезень є важливим не лише для стратегічного розвитку громадського транспорту, але й

для розв'язку задачі оперативного контролю пасажирообігу. Саме для перевезення пасажирів найбільш важливим стає наявність у системі моделювання можливості побудови транспортної мережі із кільцевим маршрутом.

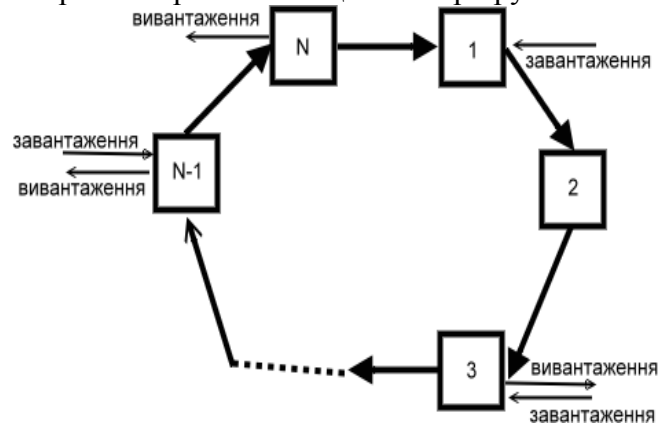


Рис. 1. Приклад кільцевої мережі

Також за допомогою кільцевої мережі можна моделювати дискретне складальне виробництво, документообіг, системи логістики, різного вигляду обслуговуючі системи та ін.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій по темі

У роботі [1] була запропонована формальна модель для визначення кільцевої транспортної мережі у вигляді:

$$M_i = \langle H, C, K, F \rangle, \quad (1)$$

де

$H$  – граф, що описує структуру кільцевої мережі;

$C$  – множина об'єктів перевезень (пасажирів, вантажі);

$K$  – множина типів транспортних засобів,

$F$  – множина функцій, що описують взаємодію елементів із  $C$  і  $K$ .

У роботі [2] визначені основні дії, які можуть виконувати транспортні засоби та об'єкти перевезення. Робота [3] описує програмний сегмент мовою GPSS, який моделює кільцеву транспортну мережу із використанням технології непрямой адресації.

Реалізація механізму перетворення діалогової нотації кільцевої мережі до програмного коду базується на використанні *лінгвістичного процесора*, означення якого, а також приклади застосування наведені у роботах [4] та [5].

### Виділення невирішених частин загальної проблеми

Після визначення формальної моделі кільцевої мережі постає питання створення формальної нотації для повного опису структури транспортного засобу та об'єкту перевезення, а також створення функціональних залежностей для реалізації механізму перетворення діалогової нотації до програмного коду.

### Постановка задачі

Таким чином, необхідно вирішити наступні задачі

Створення діалогових нотацій для визначення структури кільцевої мережі (згідно із (1)).

Розробка формальних моделей для опису транспортного засобу та об'єкту перевезення, створення відповідних діалогових нотацій.

Визначення формальних залежностей, для перетворення діалогових нотацій до програмного коду.

#### Дослідження

Для повного визначення елементу із множини  $K$  (1) використовуватимемо структуру наступного вигляду:

$$k_i = \langle k^{name}, k^c, k^m, k^{ch}, k^h \rangle, \forall k_i \in K, i = \overline{1, K_N}, \quad (2)$$

де

$k^{name}$  – символічне найменування типу транспортного засобу;

$k^c$  – кількість транспортних засобів даного типу у кільцевій мережі;

$k^m$  – максимальна пасажиромісткість транспортного засобу (тобто максимальна допустима кількість об'єктів перевезення у транспортному засобі);

$k^{ch}$  – кількість каналів для одночасного завантаження чи вивантаження об'єктів перевезення до транспортного засобу (наприклад, кількість дверцят у тролейбусі чи автобусі);

$k^h$  – початковий вузол транспортного засобу у кільцевій мережі;

$$K_N - \text{потужність множини } K, K_N = |K|.$$

Елементи множини об'єктів перевезень  $C$  (1) будемо задавати структурою

$$c_j = \langle c^{name}, c^{in}, c^{tin}, c^{out}, c^{tout} \rangle, \forall c_j \in C, j = \overline{1, C_N}, \quad (3)$$

де

$c^{name}$  – символічне найменування об'єкту перевезення;

$c^{in}$  – вузол мережі, у якому відбувається завантаження об'єкту перевезення;

$c^{tin}$  – час, необхідний об'єкту перевезення для завантаження до транспортного засобу;

$c^{out}$  – вузол мережі, у якому відбувається вивантаження об'єкту перевезення;

$c^{tout}$  – час, необхідний об'єкту перевезення для вивантаження із транспортного засобу.

$$C_N - \text{потужність множини } C, C_N = |C|.$$

Після визначення формальної структури множин  $K$  та  $C$  можна перейти до питання створення діалогових нотацій (відповідно формули (1), (2) та (3)):

*Крок 1.* Визначення структури кільцевої мережі (формула (1))

Нехай графічна нотація мережі, у якій присутня кільцева мережа, в системі ISS 2000 має наступний вигляд (рисунок 2):

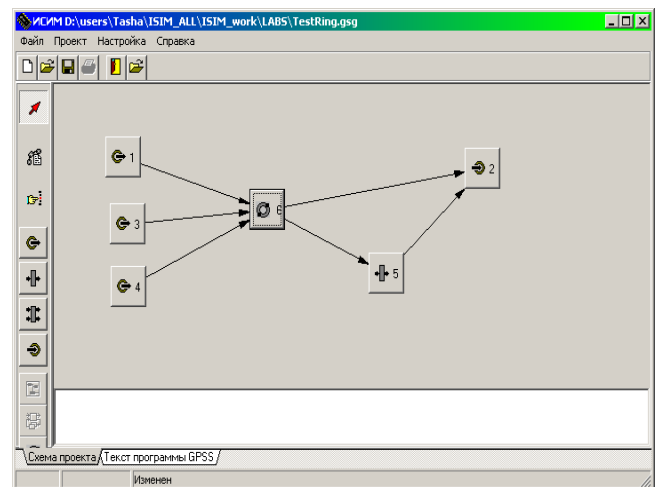


Рис. 2. Графічна нотація кільцевої мережі

Діалогову нотацію для визначення структури кільцевої мережі подамо наступним чином (рис. 3):

Узлы кольцевой сети   Транспортные средства   Входные потоки			
Узлы и время движения			
Наименование	Время переезда	Узел загрузки	Узел выгрузки
pa	2	NODE1	
pb	3	NODE3	NODE5
pc	4	NODE4	NODE2
pd	5		NODE2

Рис. 3. Діалогова нотація для визначення структури кільцевої мережі

Задану структуру можна представити у вигляді орієнтованого графу, як показано на рисунку 4:

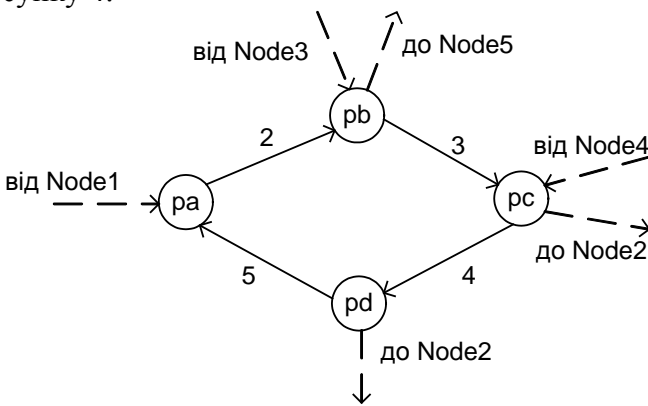


Рис. 4. Представлення структури кільцевої мережі у вигляді орієнтованого графу

У роботі [1] наведена структура графу  $H$  у наступному вигляді:

$$H = \langle R, P, W \rangle, \tag{4}$$

де

$R$  – кінцева множина вершин (у кільцевій транспортній мережі можуть бути присутні вершини чотирьох типів: вершини завантаження, вершини вивантаження, вершини завантаження та вивантаження, вершини, в яких завантаження та вивантаження не здійснюються).

$P$  – кінцева множина дуг – зв'язків між вершинами (для кожної дуги визначається її вага – час пересування конкретного транспортного засобу по даній дузі, причому час може бути випадковою величиною).

$W$  – функція, що ставить у відповідність кожній дузі з  $P$  впорядковану пару вершин з  $R$ . Дана функція визначає маршрут транспортного засобу; для кільцевого маршруту з кожної вершини мережі може виходити лише одна дуга, та виходити лише одна дуга.

Така модель повністю описує структуру кільцевої мережі, проте не містить жодної інформації про зв'язок мережі із іншими об'єктами

моделі, а саме із джерелами об'єктів перевезення. Тому більш доцільно використовувати структуру вигляду

$$H = \langle R, P, W, G_M \rangle, \tag{5}$$

де  $G_M$  – матриця, яка визначає зв'язок кільцевої мережі із оточенням, а саме куди мають прямувати об'єкти перевезень із вершин вивантаження, та звідки вони потрапляють до вершин завантаження. Кожен рядок матриці має таку структуру:

$$g_M^i = \langle v_i, g_{in}^i, g_{out}^i \rangle, \tag{6}$$

де  $g_{in}^i, g_{out}^i$  – вузли загальної моделі

Тоді, із урахуванням (5) та (6), граф, поданий на рисунку 3, формально буде записаний наступним чином:

$$R = \{pa, pb, pc, pd\},$$

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \\ 5 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$G_M = \begin{pmatrix} pa & Node1 & & & \\ pb & Node3 & Node5 & & \\ pc & Node4 & Node2 & & \\ pd & & & Node2 & \end{pmatrix}$$

Крок 2. Визначення елементів множини типів транспортних засобів  $K$  (формула (2))

Діалогову нотацію для визначення елементів із множини  $K$  представимо наступним чином (рисунк 5):

Тоді формальний опис матиме вигляд:

$$K = \{k_1, k_2\},$$

$$k_1 = \langle tra, 5, 40, 4, pa \rangle,$$

$$k_2 = \langle trb, 10, 80, 4, pa \rangle$$

Крок 3. Визначення елементів множини об'єктів перевезень  $S$  (формула (3))

Діалогову нотацію для визначення елементів із множини  $S$  представимо наступним чином (рис. 6).

Название	Количество	Вместимость	Количество входов	Начальный узел
tra	5	40	4	pa
trb	10	80	4	pa

Рис. 5. Диалогова нотація для визначення множини транспортних засобів

Наименование	Узел загрузки	Время загрузки	Узел выгрузки	Время выгрузки
stra	pa	3	pb	4
strb	pb	4	pa	5

Рис. 6. Диалогова нотація для визначення множини об'єктів перевезення

#### Формальний опис нотації

$$C = \{c_1, c_2\},$$

$$c_1 = \langle \text{stra}, \text{pa}, 3, \text{pb}, 4 \rangle,$$

$$c_2 = \langle \text{strb}, \text{pb}, 4, \text{pc}, 5 \rangle$$

Тепер можна перейти до питання визначення функціональних залежностей, які дозволять виконати параметричне налаштування моделі. Введемо наступне означення: нехай  $\omega$  – характеристика функції користувача:

$$\omega = \langle \iota, \nu, \sigma, \theta \rangle, \quad (7)$$

де  $\iota$  – назва (ідентифікатор) функції користувача;

$\nu$  – аргумент функції,  $\{\nu\} | \nu \in \Phi \cup \{\emptyset\}$ , де  $\Phi$  – множина змінних, а  $\{\emptyset\}$  – множина аргументів, що не є змінними (наприклад, стандартні числові атрибути);

$\sigma$  – вид функції,  $\{\sigma\} | \sigma \in \{\sigma\}: l \Rightarrow \mathfrak{Z}$ , де  $l \in L$ , а  $\mathfrak{Z} = \langle \text{"дискретна"}, \text{"неперервна"} \rangle$ ;

$\theta$  – тіло функції.

Для реалізації моделі (1), а також структур (2), (3) та (5) введемо такі функціональні залежності, використовуючи (7):

1) Визначення еквівалентного найменування об'єкту перевезення.

$$\omega_1 = \langle \text{FunOType}, P\$OTYPE, \text{дискретна}, c_1^{\text{name}}, 1 / c_2^{\text{name}}, 2 / \dots / c_{C_N}^{\text{name}}, C_N \rangle, \quad (8)$$

де  $P\$OTYPE$  – параметр транзакту, який містить найменування об'єкту перевезення.

2) Визначення вузла мережі, у якому відбувається завантаження об'єкту перевезення.

$$\Omega_2 = \langle \text{FunLP}, P\$OP, \text{дискретна}, \quad (9)$$

$$1, c_1^{\text{in}} / 2, c_2^{\text{in}} / \dots / C_N, c_{C_N}^{\text{in}} \rangle,$$

де  $P\$OP$  – параметр транзакту, у якому зберігається результат виконання функціональної залежності  $\omega_1$  (формула (8)).

3) Визначення часу, необхідного об'єкту перевезення для завантаження до транспортного засобу.

$$\Omega_3 = \langle \text{FunLT}, P\$OP, \text{дискретна}, 1, c_1^{\text{tin}} / 2, c_2^{\text{tin}} / \dots / C_N, c_{C_N}^{\text{tin}} \rangle, \quad (10)$$

4) Визначення вузлу мережі, у якому відбувається вивантаження об'єкту перевезення.

$$\omega_4 = \langle \text{FunULP}, P\$OP, \text{дискретна}, 1, c_1^{\text{out}} / 2, c_2^{\text{out}} / \dots / C_N, c_{C_N}^{\text{out}} \rangle, \quad (11)$$

5) Визначення часу, необхідного об'єкту перевезення для вивантаження із транспортного засобу.

$$\omega_5 = \langle \text{FunULT}, P\$OP, \text{дискретна}, 1, c_1^{\text{tout}} / 2, c_2^{\text{tout}} / \dots / C_N, c_{C_N}^{\text{tout}} \rangle, \quad (12)$$

6) Визначення часу переміщення транспортного засобу до наступного вузлу кільцевої мережі.

$$\omega_6 = \langle \text{FunTT}, P\$CP, \text{дискретна}, r_1, p_{l_1} / r_2, p_{l_2} / \dots / r_R, p_{R|R} \rangle, \quad (13)$$

де  $r_j \in R, j = \overline{1, |R|}$ ;  $p_{j_l} \in P$ , причому

$$W(p_{j_l}) = \langle r_j, r_{j_l} \rangle;$$

$P\$CP$  – параметр транзакту, який зберігає інформацію про вузол мережі, в якому знаходиться транспортний засіб у поточний момент часу.

7) Визначення еквівалентного найменування транспортного засобу.

$$\Omega_7 = \langle \text{FunTType}, P\$TTYPE, \text{дискретна}, k_1^{name}, 1/k_2^{name}, 2/\dots/k_{K_N}^{name}, K_N \rangle, \quad (14)$$

де  $P\$TTYPE$  – параметр транзакту, який містить найменування транспортного засобу.

8) Визначення пасажиромісткості транспортного засобу.

$$\omega_8 = \langle \text{FunAP}, P\$TZ, \text{дискретна}, 1, k_1^m / 2, k_2^m / \dots / K_N, k_{K_N}^m \rangle, \quad (15)$$

де  $P\$TZ$  – параметр транзакту, у якому зберігається результат виконання функціональної залежності  $\omega_7$  (формула (14)).

9) Визначення початкового вузлу мережі для транспортного засобу.

$$\omega_9 = \langle \text{FunSP}, P\$TZ, \text{дискретна}, 1, k_1^h / 2, k_2^h / \dots / K_N, k_{K_N}^h \rangle, \quad (16)$$

10) Визначення еквівалентного найменування списку об'єктів перевезення поточного вузлу мережі.

$$\omega_{10} = \langle \text{FunPL}, P\$CP, \text{дискретна}, r_1, 10/r_2, (10+1)/\dots/r_{|R|}, (10+|R|-1) \rangle, \quad (17)$$

11) Визначення еквівалентного найменування списку об'єктів перевезення, які розміщуються у транспортному засобі  $P\$TZ$ .

$$\omega_{11} = \langle \text{FunTL}, P\$TZ, \text{дискретна}, 1, (10+|R|)/2, (10+|R|+1)/\dots/K_N, (10+|R|+K_N-1) \rangle, \quad (18)$$

12) Визначення еквівалентного найменування логічного ключу, який відповідає транспортному засобу.

$$\omega_{12} = \langle \text{FunTK}, P\$TZ, \text{дискретна}, 1, (10+|R|+K_N)/2, (10+|R|+K_N+1)/\dots/K_N, (10+|R|+2 \cdot K_N-1) \rangle, \quad (19)$$

13) Визначення еквівалентного найменування багатоканального пристрою, який відповідає транспортному засобу.

$$\omega_{13} = \langle \text{FunTC}, P\$TZ, \text{дискретна}, 1, (10+|R|+2 \cdot K_N)/2, (10+|R|+2 \cdot K_N+1)/\dots/K_N, (10+|R|+3 \cdot K_N-1) \rangle, \quad (20)$$

14) Визначення зв'язку вузлу вивантаження із вузлом зовнішньої мережі.

$$\Omega_{14} = \langle \text{FunPOut}, P\$UnPoint, \text{дискретна}, c_1^{out}, g_{out}^1 / c_2^{out}, g_{out}^2 / \dots / c_{C_N}^{out}, g_{out}^{C_N} \rangle, \quad (21)$$

де  $P\$UnPoint$  – параметр транзакту, у якому зберігається результат виконання функціональної залежності  $\omega_4$  (формула (11)).

Для прикладу кільцевої мережі, наведеної на рисунках 2–6, функціональні залежності (8) – (21) матимуть вигляд:

1)  $\omega_1 = \langle \text{FunOType}, P\$OTYPE, \text{дискретна}, \text{stra}, 1/\text{strb}, 2 \rangle,$

FunOType FUNCTION P\$OTYPE,D2  
stra,1/strb,2

2)  $\omega_2 = \langle \text{FunLP}, P\$OP, \text{дискретна}, 1, \text{pa}/2, \text{pb} \rangle,$

FunOType FUNCTION P\$OP,D2  
1,pa/2,pb

3)  $\omega_3 = \langle \text{FunLT}, P\$OP, \text{дискретна}, 1, 3/2, 4 \rangle,$

FunLT FUNCTION P\$OP,D2  
1,3/2,4

4)  $\omega_4 = \langle \text{FunULP}, P\$OP, \text{дискретна}, 1, \text{pb}/2, \text{pa} \rangle,$

FunULP FUNCTION P\$OP,D2  
1,pb/2,pa

5)  $\omega_5 = \langle \text{FunULT}, P\$OP, \text{дискретна}, 1, 4/2, 5 \rangle,$

FunULP FUNCTION P\$OP,D2  
1,4/2,5

6)  $\omega_6 = \langle \text{FunTT}, P\$CP, \text{дискретна}, \text{pa}, 2/\text{pb}, 3/\text{pc}, 4/\text{pd}, 5 \rangle,$

FunTT FUNCTION P\$CP,D4  
pa,2/pb,3/pc,4/pd,5

7)  $\omega_7 = \langle \text{FunTType}, P\$TTYPE, \text{дискретна}, \text{tra}, 1/\text{trb}, 2 \rangle,$

FunTType FUNCTION P\$TTYPE,D2  
tra,1/trb,2

8)  $\omega_8 = \langle \text{FunAP}, P\$TZ, \text{дискретна}, 1, 40/2, 80 \rangle,$

FunAP FUNCTION P\$TZ,D2  
1,40/2,80

9)  $\omega_9 = \langle \text{FunSP}, P\$TZ, \text{дискретна}, 1, \text{pa}/2, \text{pa} \rangle,$

FunSP FUNCTION P\$TZ,D2  
1,pa/2,pa

10)  $\omega_{10} = \langle \text{FunPL}, P\$CP, \text{дискретна}, \text{pa}, 10/\text{pb}, 11/\text{pc}, 12/\text{pd}, 13 \rangle,$

FunPL FUNCTION P\$CP,D4  
pa,10/pb,11/pc,12/pd,13

11)  $\omega_{11} = \langle \text{FunTL}, P\$TZ, \text{дискретна}, 1, 14/2, 15 \rangle,$

FunTL FUNCTION P\$TZ,D2  
1,14/2,15

12)  $\omega_{12} = \langle \text{FunTK}, P\$TZ, \text{дискретна}, 1, 16/2, 17 \rangle,$

FunTK FUNCTION P\$TZ,D2

1,16/2,17

13)  $\omega_{13} = \langle FunTC, P\$TZ, дискретна, 1,18/2,19 \rangle,$

FunTC FUNCTION P\$TZ,D2

1,18/2,19

14)  $\omega_{14} = \langle FunPOut, P\$UnPoint, дискретна, pb, Node5/pc, Node2 \rangle,$

FunPOut FUNCTION P\$UnPoint,D2

pb,Node5/pc,Node2

Таким чином, функціональні залежності  $\omega_1 - \omega_{14}$  дають змогу провести повне визначення кільцевої мережі відповідно до (5).

### Висновки

Визначення структури кільцевої мережі за допомогою моделей (1) – (3) дозволяє формалізувати створення програмного коду при використанні запропонованої діалогової нотації. Функціональні залежності (8) – (21) дозволяють використовувати для моделювання кільцевої транспортної мережі програмний код, який повністю базується на налаштуванні функціональних залежностей, що дозволяє змінювати конфігурацію модельованої транспортної мережі без зміни коду моделі.

### Перелік посилань

1. Томашевський В.М., Богушевська Н.В. Педагогічний програмний засіб для навчання імітаційному моделюванню. // Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС '2007. Тези доповідей. К. – 2007. С. 143-147.
2. Томашевский В. Н., Богушевская Н. В. Расширение возможностей системы моделирования ISS 2000. / Вторая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. Сб. докладов. – Санкт-Петербург, 2005. С. 103-108.
3. Богушевская Н.В. Особенности реализации кольцевой сети в системе ИСИМ / Міжнародна наукова конференція “Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій”, м. Євпаторія. – 2005. – т.3
4. Томашевский В. Н., Богушевская Н. В. Расширение возможностей системы моделирования ISS 2000. / Вторая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. Сб. докладов. – Санкт-Петербург, 2003 С. 190-194.
5. Tomashevskiy V. Automatic generating of GPSS/PC programs. Proceedings 15th European Simulation Multiconference, Prague, 2001, pp. 805-809.