

Василенко Т.Є., к. е. н., Фесенко Д.В., Дульнявка О.Й.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗУПИНОЧНОГО ПУНКТУ СУМІСНИХ ДІЛЯНОК РУХУ АВТОБУСІВ РІЗНИХ МАРШРУТІВ

*Розроблено програмне забезпечення імітаційної моделі функціонування зупиночного пункту сумісних ділянок руху автобусів різних маршрутів, яке дозволяє встановити залежність часу очікування пасажирами автобусів різних маршрутів на сумісних ділянках руху від сумарної кількості автобусів на цих маршрутах, а також розподіл автобусів за кожним маршрутом.*

### *Постановка наукової проблеми, задачі*

У попередній роботі авторами було запропоновано схему процесу імітації функціонування зупиночного пункту сумісних ділянок руху автобусів різних маршрутів (на прикладі зупинки «пл. Леніна» м. Горлівки) [1]. Одним з етапів процесу імітації є трансляція моделі, яка передбачає її запис на одній з мов програмування. У зв'язку з цим у вказаній роботі було розроблено новий алгоритм імітаційної моделі функціонування відповідного зупиночного пункту, що являє собою рішення наукової задачі. Зазначене рішення має суттєву специфіку, яку потрібно розкрити у розробці програмного забезпечення імітаційної моделі функціонування зупиночного пункту. Це є актуальною науковою задачею, яку потрібно вирішити у даній роботі.

### *Аналіз публікацій*

На сьогодні у спеціальній та науковій літературі не висвітлено питання розробки програмного забезпечення (ПЗ) імітаційної моделі (ІМ) функціонування зупинок маршрутного пасажирського транспорту. Але існує достатня кількість математичних програм для імітаційного моделювання: Mathematica, Maple, Mathcad, MatLab, Derive, Scientific WorkPlace [2]. Майже всі перераховані пакети містять у собі статистичні розділи, що надають засоби генерації випадкових чисел з відомими типами розподілів і заданими їхніми параметрами; засоби вирівнювання розподілів, розрахунків моментів, визначення квантилей (тобто необхідної для генерації випадкових чисел зворотної функції розподілу), перевірки гіпотез про властивості вибірки і т.п., що й необхідно для розробки програмного забезпечення моделі. Арсенал подібних засобів ще ширший в спеціально статистичних пакетах типу Statistica, Statgraphics, SPSS, Stadia [3].

У зв'язку з цим розробка програмного забезпечення імітаційної моделі функціонування зупиночного пункту сумісних ділянок руху автобусів різних маршрутів (на прикладі зупинки «пл. Леніна» м. Горлівки) в математичному середовищі пакету Mathcad є *метою статті*.

### *Основні результати дослідження*

Основним елементом у моделі всіх маршрутів є модель автобусної зупинки. Задача розробки програмного забезпечення моделі функціонування автобусної зупинки полягає в складанні послідовних блоків і команд дій [4]. Вирішення її запропоновано робити в наступній послідовності:

1. Уведення вихідних даних для моделювання послідовно для кожного маршруту — параметрів моделі, що задаються та генеруються (табл. 1).

## Послідовність побудови програмного забезпечення імітаційної моделі

№ з/п	Імітаційне моделювання в середовищі Mathcad
1	2
1	<p>Кількість маршрутів <math>a := 6</math></p> <p><b>Наступні вихідні дані вводяться для кожного маршруту</b></p> <p>Максимальна кількість автобусів на відповідному маршруті <math>E := 32</math></p> <p>Поточна кількість автобусів для відповідного маршруту <math>e := 1, 2.. E</math></p> <p>Кількість зроблених рейсів автобусами відповідного маршруту за час моделювання <math>n := 20</math></p> <p>Загальна кількість пасажирів, що підійшли до зупинки за час моделювання <math>m := 300</math></p> <p>Номер рейсу <math>i := 1, 2.. n</math></p> <p>Номер пасажира <math>j := 1, 2.. m</math></p> <p>Місткість автобуса <math>Q := 74</math></p> <p>Середній час виходу одного пасажира з автобуса <math>t_{out} := 1.35</math></p> <p>Середній час заходу одного пасажира в автобус <math>t_{in} := 0.94</math></p> <p>Довжина відповідного маршруту в обох напрямках <math>L := 35.2</math></p> <p>Експлуатаційна швидкість на відповідному маршруті <math>V := 21.4</math></p> <p>Інтервали руху між автобусами відповідного маршруту <math>t_{1,i,e} := \text{norm} \left( n, \frac{L \cdot 3600}{V \cdot e}, 103.68 \right)_i</math> (де 103.68 – середньоквадратичне відхилення інтервалу руху, с)</p> <p>Інтервали між пасажирами при їхньому підході до зупиночного пункту <math>t_{2,j} := \text{norm} (m, 100, 47.46)_j</math></p> <p>Кількість пасажирів, що виходять з автобуса <math>N_{out} := \text{round} ( \text{norm} (n, 6, 1), 0)</math></p> <p>Кількість порожніх місць в автобусі до виходу пасажирів з нього <math>Emp_i := \text{round} ( \text{norm} (n, 37, 15)_i, 0)</math></p>
2	$t1 := \begin{cases} \text{for } e \in 1, 2.. E \\ \quad \text{for } i \in 1, 2.. n \\ \quad \quad \begin{cases} t1_{i,e} \leftarrow t1_{i,e} & \text{if } t1_{i,e} \geq 0 \\ t1_{i,e} \leftarrow 0 & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases}$ $t2 := \begin{cases} \text{for } j \in 1, 2.. m \\ \quad \begin{cases} t2_j \leftarrow t2_j & \text{if } t2_j \geq 0 \\ t2_j \leftarrow 0 & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases}$ $Emp := \begin{cases} \text{for } i \in 1, 2.. n \\ \quad \begin{cases} Emp_i \leftarrow Emp_i & \text{if } (Emp_i \geq 0) \cdot (Emp_i \leq Q) \\ Emp_i \leftarrow 0 & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases}$ $N_{out} := \begin{cases} \text{for } i \in 1, 2.. n \\ \quad \begin{cases} N_{out}_i \leftarrow N_{out}_i & \text{if } (N_{out}_i \geq 0) \cdot (N_{out}_i \leq Q) \\ N_{out}_i \leftarrow 0 & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases}$
3	$r := \begin{cases} \text{for } i \in 1, 2.. n \\ \quad \begin{cases} r_i \leftarrow Emp_i + N_{out}_i & \text{if } Emp_i + N_{out}_i \leq Q \\ r_i \leftarrow Q & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases}$

1	2
4	<pre> randomvec (i, n) :=   return 0 if (i = 0) + (n = 0)   a ← unif(n, 0, n)   for k ∈ 1, 2.. i     (maximum<sub>k</sub> ← 0)   for j ∈ 1, 2.. n     (maximum<sub>1</sub> ← a<sub>j</sub>) · (x<sub>1</sub> ← j) if maximum<sub>1</sub> &lt; a<sub>j</sub>   return x<sub>1</sub> if i = 1   for k ∈ 2, 3.. i     for j ∈ 1, 2.. n       (maximum<sub>k</sub> ← a<sub>j</sub>) · (x<sub>k</sub> ← j) if (maximum<sub>k</sub> &lt; a<sub>j</sub>) · (a<sub>j</sub> &lt; maximum<sub>k-1</sub>) x </pre>
5	<pre> A(e) :=   for j ∈ 1, 2.. m     for i ∈ 1, 2.. n         A<sub>j,i</sub> ← 2 if <math>\sum_{k=1}^j t_{2k} &gt; \sum_{l=1}^i t_{1l,e}</math>         A<sub>j,i</sub> ← 0 otherwise   for i ∈ 1, 2.. n - 1       k ← 0       for j ∈ 1, 2.. m         k ← k + 1 if A<sub>j,i</sub> = 0       rndvec ← randomvec(r<sub>i</sub>, k)       (k ← 1) · (rndvec<sub>1</sub> ← rndvec) if (k = 0) + (r<sub>i</sub> = 0)       l ← 0       for j ∈ 1, 2.. m           l ← l + 1 if A<sub>j,i</sub> = 0           (A<sub>j,i</sub> ← 1) if <math>\left[ (A_{j,i} = 0) \cdot \sum_{t=1}^{\min(k, r_i)} (1 = \text{rndvec } t) \right]</math>           for t ∈ i + 1, i + 2.. n if A<sub>j,i</sub> = 1             A<sub>j,t</sub> ← 2 A </pre>

Продовження табл. 1

1	2
6	$\text{Kin}_e := \begin{array}{l} \text{for } i \in 1, 2..n \\ \quad \left  \begin{array}{l} k_i \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 1, 2..m \\ \quad k_i \leftarrow k_i + 1 \text{ if } (A_e)_{j,i} = 1 \end{array} \right. \\ k \end{array}$
7	$\underline{\underline{T}}(e) := \begin{array}{l} \text{for } j \in 1, 2..m \\ \quad \text{for } i \in 1, 2..n \\ \quad \quad T_j \leftarrow \sum_{k=1}^i t1_{k,e} - \sum_{t=1}^j t2_t \text{ if } (A_e)_{j,i} = 1 \end{array}$ <p style="text-align: right;">T</p>
8	$T(e) := \begin{array}{l} \text{for } j \in 1, 2..m_e \\ \quad \text{for } i \in 1, 2..n \\ \quad \quad x_j \leftarrow (T_e)_j + (\text{Kin}_e)_i \cdot \text{tin} + \text{Nout}_i \cdot \text{tout} \text{ if } [(A_e)_{j,i} = 1] \cdot [(T_e)_j \neq 0] \end{array}$ <p style="text-align: right;">x</p>
9	$T(e) := \begin{array}{l} l \leftarrow 1 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } j \leq m_e \\ \quad \left  \begin{array}{l} \text{if } (T_e)_j \neq 0 \\ \quad \left  \begin{array}{l} x_l \leftarrow (T_e)_j \\ l \leftarrow l + 1 \end{array} \right. \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \end{array}$ <p style="text-align: right;">x</p>
10	$s_e := \text{round}(\log(m_e, 2) + 1, 0); \delta_e := \frac{\max(T_e) - \min(T_e)}{s_e}; k(e) := 1, 2..s_e$ $f(e) := \begin{array}{l} \text{for } k \in 1, 2..s_e \\ \quad \left  \begin{array}{l} f_k \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 1, 2..m_e \\ \quad f_k \leftarrow f_k + 1 \text{ if } [(T_e)_j > \min(T_e) + \delta_e \cdot (k-1)] \cdot [(T_e)_j < \min(T_e) + \delta_e \cdot k] \end{array} \right. \\ f_1 \leftarrow f_1 + 1 \\ \text{for } k \in 1, 2..s_e \\ \quad f_k \leftarrow \frac{f_k}{m_e} \end{array}$ <p style="text-align: right;">f</p>

1	2
	$t_e := \begin{cases} \text{for } k \in 1, 2.. s_e \\ x_k \leftarrow \min(T_e) + (k-1) \cdot \delta_e + \frac{\delta_e}{2} \end{cases} \quad T_{sr_e} := \sum_{j=1}^{s_e} [(t_e)_j; (f_e)_j]$
11	$p := \begin{cases} \text{for } a \in 1, 2.. 7 \\ \text{for } j \in 1, 2.. E1 + E2 + E3 + E4 + E5 + E6 \\ X_{a,j} \leftarrow \infty \\ \text{for } a1 \in 1, 2.. E1 \\ \text{for } a2 \in 1, 2.. E2 \\ \text{for } a3 \in 1, 2.. E3 \\ \text{for } a4 \in 1, 2.. E4 \\ \text{for } a5 \in 1, 2.. E5 \\ \text{for } a6 \in 1, 2.. E6 \\ \begin{cases} a \leftarrow a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6 \\ [(X^{(a)})_1 \leftarrow (T1)_{a1} + (T2)_{a2} + (T3)_{a3} + (T4)_{a4} + (T5)_{a5} + (T6)_{a6}] \cdot [(X^{(a)})_2 \leftarrow a1] \cdot [(X^{(a)})_3 \leftarrow a2] \cdot [(X^{(a)})_4 \leftarrow a3] \cdot [(X^{(a)})_5 \leftarrow a4] \cdot [(X^{(a)})_6 \leftarrow a5] \cdot [(X^{(a)})_7 \leftarrow a6] \text{ if } [(T1)_{a1} + (T2)_{a2} + (T3)_{a3} + (T4)_{a4} + (T5)_{a5} + (T6)_{a6} < (X^{(a)})_1] \end{cases} \end{cases}$

2. Округлення значень згенерованих часових інтервалів (інтервалів руху між автобусами  $t_{i,e}$  й інтервалів між пасажирями, що підходять до зупиночного пункту  $t_2$ ) до не негативних значень, а кількості пасажирів, які виходять з автобусу  $N_{out}$  і порожніх місць в автобусі до виходу пасажирів  $Emp_i$  — до значень, що знаходяться в інтервалі від 0 до місткості автобуса  $Q$  (табл. 1).

Це необхідно виконати для того, щоб можливі значення згенерованих часових інтервалів не були негативними значеннями, що практично нескладно здійснити для нормального закону розподілу, обмеживши діапазон їх зміни в загальному випадку від  $-\infty$  до  $+\infty$  до не негативних значень. Також варто провести округлення згенерованих значень кількості пасажирів, що виходять, і порожніх місць в автобусі до виходу пасажирів, оскільки ці величини, що мають нормальний розподіл, не можуть бути негативними і більше місткості автобуса.

3. Визначення порожніх місць в автобусі  $r$  після виходу пасажирів з нього (табл. 1).

Це необхідно для того, щоб переконатися, чи всі пасажирі, що підійшли й очікують на зупиночному пункті автобуса, зможуть уїхати на ньому.

4. Відбір випадковим чином  $i$  елементів з  $n$ -мірного вектора (табл. 1).

У такий спосіб відбувається випадковий відбір тих людей на зупиночному пункті з загальної кількості, які сядуть в автобус.

5. Заповнення нулями, одиницями, двійками елементів матриці  $A(e)$ , тобто згенерованої функції (табл. 1).

Це необхідно для того, щоб визначити, в які моменти часу уїде кожний з пасажирів, що очікує на зупиночному пункті. При цьому елемент матриці нуль визначає можливість пасажиря уїхати на автобусі; одиниця визначає момент часу, у який від'їжджає кожен пасажир на автобусі; двійка відповідає неможливості пасажиря уїхати, оскільки автобус вже від'їхав від зупиночного пункту.

6. Обчислення кількості пасажирів  $Kin_e$ , що заходять в  $i$ -й автобус на  $e$ -му етапі моделювання (табл. 1).

7. Обчислення часу очікування автобуса кожним пасажиром  $T_j$  (табл. 1).

8. Підсумовування всіх елементів часу очікування пасажирями  $T(e)$ : часу очікування автобуса, часу очікування посадки в автобус і часу посадки (табл. 1).

9. Видалення з вектора часу очікування  $T(e)$  спостережень, що відповідають пасажирям з невідомим часом очікування (табл. 1).

10. Визначення середнього часу очікування автобуса на маршруті  $Tsr_e$  при кількості автобусів  $e$  через щільність його розподілу. Для цього розраховується кількість  $s_e$  та ширина  $\delta_e$  інтервалів групування, задається номер інтервалу  $k(e)$  та обчислюються їх середини  $t(e)$  (табл. 1).

11. Визначення загальної кількості автобусів на шістьох маршрутах та їх розподілу за кожним маршрутом (вектор  $p$ ) при відповідному середньому часі очікування автобуса  $Tsr$  на зупиночному пункті сумісних ділянок їх руху (табл. 1).

В результаті імітаційного моделювання автобусної зупинки отримано залежність часу очікування пасажирів автобусів шести маршрутів на сумісних ділянках руху від добової кількості автобусів на цих маршрутах (рис. 1), а також розподіл цієї кількості автобусів за маршрутами (табл. 2).

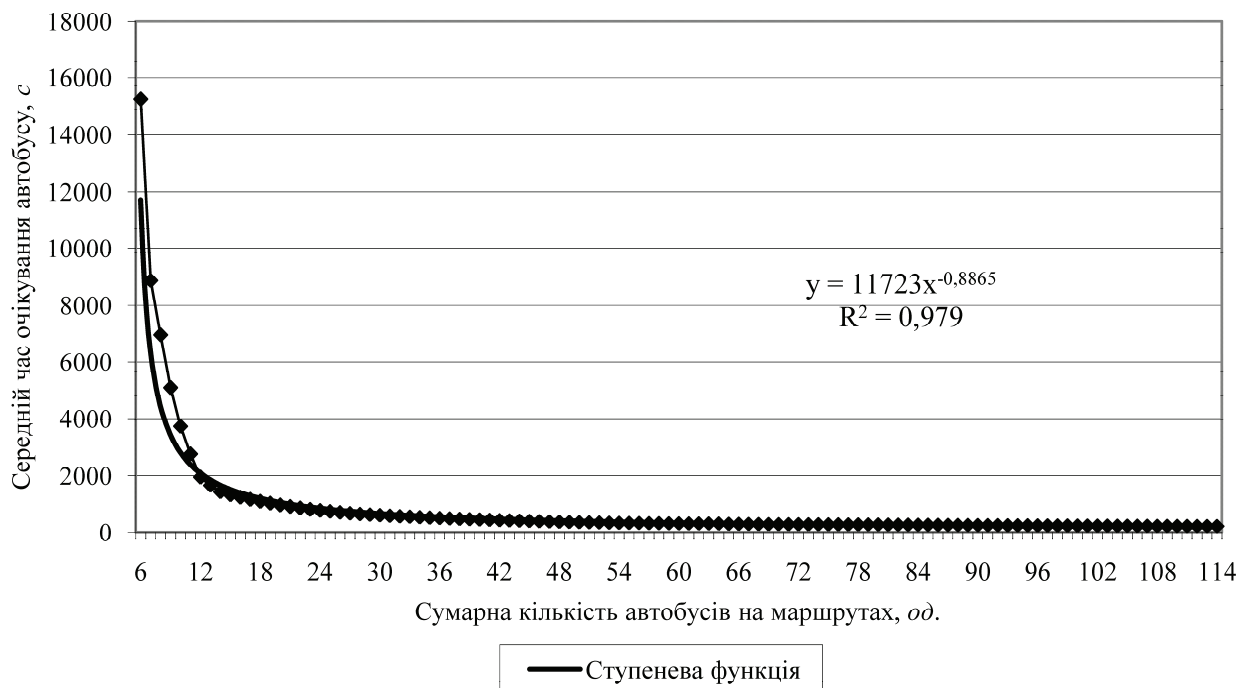


Рис. 1. Залежність часу очікування пасажирів автобусів різних маршрутів на сумісних ділянках руху від сумарної кількості автобусів на цих маршрутах

Отримана залежність дозволяє оцінити реальну загальну кількість автобусів на шести маршрутах, що проходять повз зупиночний пункт «пл. Леніна» протягом доби за критерієм часу очікування пасажирів автобусів.

Згідно рис. 1 кількість автобусів в 114 одиниць, яка є в наявності у перевізників, відповідає фактичному середньому значенню часу очікування пасажирів автобусів ( $t_{оч}^{ф.ср} = 3,53$  хв). Розрахункове значення кількості автобусів підтверджує адекватність отриманої залежності фактичним умовам. При цьому фактичне середнє значення часу очікування розраховувалось, виходячи з того припущення, що пасажирів, які очікують автобус на зупиночному пункті можна умовно розділити на 2 групи: 1) пасажирів, які роблять посадку в перший автобус, що підійшов; 2) пасажирів, які очікують автобус певного маршруту. Згідно оброблених даних натурних досліджень для першої групи пасажирів фактичний середній час очікування автобусу  $t_{оч1}^{ф.ср} = 1,92$  хв, для другої групи —  $t_{оч2}^{ф.ср} = 5,36$  хв.

Для того щоб забезпечити нормативний час очікування ( $t_{оч}^{норм} = 2,05$  хв), необхідно орієнтовно 180 автобусів, але така їх кількість призведе до перевантаження вулично-дорожньої мережі міста. Тому пропонується експлуатувати протягом доби по пр. Перемоги м. Горлівки (через зупиночний пункт «пл. Леніна») 95 автобусів при  $t_{оч}^{ср} = 240$  с = 4 хв. При

цьому час очікування буде перевищувати фактичний середній на 0,4 хв, але загальна кількість автобусів на маршрутах зменшиться зі 114 одиниць до 95 (на 19 менше).

Таблиця 2

Загальна кількість автобусів та їх розподіл за маршрутами при відповідному середньому часі очікування

Загальна кількість автобусів А, од.	Середній час очікування $t_{оч}^{cp}$ , с (хв.)	Номер маршруту					
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 6	№ 17	№ 24
		Розподіл автобусів за маршрутами, од.					
1	2	3	4	5	6	7	8
...	...	...	...	...	...	...	...
80	269 (4,48)	21	16	6	7	14	16
81	267 (4,45)	20	18	6	7	14	16
82	264 (4,40)	18	21	6	7	14	16
83	263 (4,38)	18	21	6	7	14	17
84	261 (4,35)	20	21	6	7	14	16
85	258 (4,30)	21	21	6	7	14	16
86	256 (4,27)	21	21	6	7	14	17
87	254 (4,23)	23	21	6	7	14	16
88	252 (4,20)	20	25	6	7	14	16
89	250 (4,17)	20	26	6	7	14	16
90	248 (4,13)	21	26	6	7	14	16
91	246 (4,10)	20	28	6	7	14	16
92	245 (4,08)	21	28	6	7	14	16
93	243 (4,05)	21	28	6	7	14	17
94	241 (4,02)	23	28	6	7	14	16
95	240 (4,0)	23	28	6	7	14	17
96	237 (3,95)	28	25	6	7	14	16
97	235 (3,92)	28	26	6	7	14	16
98	233 (3,88)	28	26	6	7	14	17
99	232 (3,87)	28	28	6	7	14	16
100	230 (3,83)	28	28	6	7	14	17
101	229 (3,82)	30	28	6	7	14	16
102	227 (3,78)	30	28	6	7	14	17
103	226 (3,77)	28	28	6	7	14	20
104	224 (3,73)	32	28	6	7	14	17
105	223 (3,72)	30	28	6	7	14	20
106	222 (3,70)	31	28	6	7	14	20
107	220 (3,67)	32	28	6	7	14	20
108	219 (3,65)	30	28	6	7	14	23

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
109	218 (3,63)	32	28	6	7	14	22
110	217 (3,62)	32	28	6	7	14	23
111	215 (3,58)	32	28	6	7	14	24
112	214 (3,57)	32	29	6	7	14	24
113	213 (3,55)	32	30	6	7	14	24
114	212 (3,53)	32	30	6	7	15	24

### **Висновки**

Розроблено нове програмне забезпечення імітаційної моделі функціонування зупиночного пункту сумісних ділянок руху автобусів різних маршрутів (на прикладі зупинки «пл. Леніна» м. Горлівки) в математичному середовищі пакету Mathcad, яке дозволяє встановити залежність часу очікування пасажирів автобусів різних маршрутів на сумісних ділянках руху від сумарної кількості автобусів на цих маршрутах, а також розподіл автобусів за кожним маршрутом. З'ясовано, що залежність є монотонною та має ступеневий характер. Критерієм оптимальності є час очікування пасажирів автобусів різних маршрутів. Задаючись часом очікування пасажирів автобусів, можна з графіка отримати потрібну кількість автобусів — сумарну та за кожним маршрутом.

### **Список літератури**

1. Василенко Т.Є. Процес імітації функціонування зупиночного пункту сумісної ділянки руху автобусів різних маршрутів / Т.Є. Василенко, Д.В. Фесенко, О.Й. Дульнявка // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник / АДІ ДонНТУ. — Горлівка, 2009. — № 2 (9). — С. 164-171.
2. Акишин Б.А. Прикладные математические пакеты: учебное пособие / Б.А. Акишин, Н.Х. Эркенев. — М.: РадиоСофт, 2009. — 132 с.
3. Киндлер Е. Языки моделирования / пер. с чешского / Е. Киндлер. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 288 с.
4. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю.И. Рыжиков. — СПб.: КОРОНА принт. — М.: Альтекс-А, 2004. — 384 с.

Стаття надійшла до редакції 02.11.09

© Василенко Т.Є., Фесенко Д.В., Дульнявка О.Й., 2010