

Вимірювання параметрів двокомпонентних комплексних опорів методом зміщення системи координат по складових напруги і струму // Вимірювальна техніка та метрологія, 2002, № 59. – С.27–37. 8. Грибок М.І. Вимірювання складових високоомних комплексних опорів методом зміщення системи координат // Відбір і обробка інформації. – 2006. – С.65–71. 9. Hrybok M. Measurement of complex resistance parameters by the method of coordinate system displacement on current // Pomiar. Automatyka. Kontrola. № 12/2006. Warszawa. – Pp.53–57. 10. Грибок М. Вимірювання параметрів високоомних трикомпонентних комплексних опорів методом зміщення системи координат за струмом // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2008, № 69. – С.26–34.

УДК 519.876.5

О.В. Горин, Я.І. Виклюк
Буковинський університет,
кафедра комп'ютерних систем і технологій

ІМІТАЦІЯ, АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ГІРСЬКОЛИЖНОГО КОМПЛЕКСУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКРЕТНИХ ПОДІЙ

© Горин О.В., Виклюк Я.І., 2009

Подано теоретичне і практичне обґрунтування доцільності та ефективності застосування імітаційного моделювання при дослідженні економічних систем, проаналізовано можливі напрями і методи оптимізації роботи гірськолижного комплексу. Доведено необхідність організаційної та структурної перебудови цього комплексу з урахуванням отриманих результатів та запропоновано його нову ефективнішу модель.

In this paper the theoretical and practical substantiation of expedience and efficiency of application of computer simulation for the research of the economic systems is given, possible ways and methods of improvement of work of skiing complex are analyzed. The necessity of organization and structural alteration of this complex taking into account the available results are proved, and its new more effective model is offered.

Вступ. Комп'ютерне моделювання за декілька останніх десятиліть перетворилось на потужний апарат дослідження великої кількості проблем. Методи моделювання з успіхом застосовуються в таких галузях, як економіка, автоматизація проектування, організація роботи обчислювальних комплексів, транспорт, сфера обслуговування, автоматизація управління виробничими та іншими процесами.

Застосування методів моделювання в аналітичному дослідженні господарської діяльності підприємств та їхніх структурних підрозділів є однією з передумов широкого використання економіко-математичних методів. Запровадження останніх сприятиме розширенню вивчення спектра факторів, що впливають на окремі аспекти діяльності суб'єктів господарювання, а отже, і визначення можливих додаткових резервів підвищення ефективності. Ідеться про постановку й

вирішення нових багатовимірних завдань аналізу, виконання яких за допомогою традиційних методів неможливе [2].

Метою роботи є побудова моделі гірськолижного комплексу, максимально наближеної до реальної, що дає змогу з максимальною точністю та мінімумом фінансових затрат підвищити ефективність його роботи, а також розроблення практичних рекомендацій щодо удосконалення системи цього комплексу.

Предметом дослідження роботи є методи комп'ютерного моделювання економічних систем, об'єктом дослідження – гірськолижний комплекс.

Практичне значення дослідження полягає в розробленні рекомендацій із вдосконалення структури гірськолижного комплексу, оснований на дослідженні комп'ютерної моделі.

Імітаційні моделі нині широко використовуються у різних галузях, у економічних та виробничих системах [6] [9], при дослідженні транспортних потоків [7] та фізичних явищ – таких, як фазові переходи у кристалах [8].

Актуальність роботи полягає в розробленні моделі гірськолижного комплексу з метою дослідження та аналізу його роботи у різних умовах, та удосконалення через усунення «вузьких місць».

Імітаційне моделювання — це метод, який дає змогу будувати моделі процесів, так, як вони проходили б насправді. Таку модель можна «програти» в часі як для одного випробування, так і для заданої їхньої множини. Результати визначатимуться випадковим характером процесів. За цими даними можна отримати достатньо стійку статистику. Цей метод дослідження оснований на тому, що система, яка вивчається, замінюється імітатором і з ним виконують експерименти з метою отримання інформації про цю систему [5].

Математична модель. Математична модель цього комплексу подається системою, зв'язаних між собою стохастичних блоків, кожен з яких матиме свій простір стану змінних; простір вхідних сигналів; простір вихідних сигналів; співвідношення, які зв'язують вхідні та вихідні змінні. Ця модель буде стохастичною оскільки кожній реалізації вхідних сигналів відповідатиме деякий розподіл вихідного сигналу.

$$\Gamma = \{A_1, \dots, A_n\} \quad (1)$$

де Γ – система стохастичних блоків A .

$$\bar{a}(t) = \{a_1(t), \dots, a_n(t)\} \quad (t=0,1,2,..) \quad (2)$$

де a – стан блока A в момент часу t .

Сукупність внутрішніх станів всіх блоків системи буде простим однорідним ланцюгом Маркова з умовно незалежними компонентами (2)[1].

Ця система складається із блоків трьох типів:

- 1) вхідних потоків;
- 2) процесу обслуговування;
- 3) формування черг.

Блоки першого типу можна описати так. Нехай клієнти надходять групами випадкової кількості в цілочислові проміжки часу. Позначимо тоді через ξ випадкову величину (в.в.) наявність клієнтів, розподіл якої

$$p_k = P\{\xi = k\} \quad (k=0,1) \quad (3)$$

визначається так:

$$p_0 = 1 - p; \quad p_1 = p \quad (4)$$

Розподіл кількості клієнтів у кожній групі η :

$$r_k = P\{\eta = k\} \quad (k=1,2,\dots; \sum_{k=1}^{\infty} r_k = 1). \quad (5)$$

Звідси, якщо $\xi = 0$, то клієнтів не буде в протилежному випадку їхня кількість дорівнює в.в η . Блоки другого типу формують затримку клієнтів. Існують три типи множин параметрів для цього блока: X – множина вхідних параметрів, A – внутрішніх, Y – вихідних. Сигнал (6)

$$x(t) = k \quad (k=0,1) \quad (6)$$

свідчить про наявність клієнтів на вході в момент часу t .

Якщо жоден клієнт не обслуговується, то внутрішній стан $a(t) = 0$, в протилежному випадку

$$a(t) = \xi, \quad p_k = P\{\xi = k\} \quad (k=1,2,\dots) \quad (7)$$

ξ – в.в., що виражає затримку в часі.

Функцію виходів блока можна подати так (8)

$$y(t) = \begin{cases} 1, & a(t) > 0 \\ 0, & a(t) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Блоки третього типу моделюють формування черги [1]. Нехай прибуття і вихід клієнтів із черги відбувається кількома каналами n та m відповідно.

Внутрішній стан черги $a(t)$ в проміжку часу $t+1$ буде таким (9)

$$a(t+1) = \max \left\{ 0, a(t) + \sum_{i=1}^{n_1} \xi_i + \sum_{j=1}^{n_2} x_j(t) - \sum_{k=1}^{m_1} \eta_k - \sum_{l=1}^{m_2} y_l(t) \right\} \quad (9)$$

де n_1 – частина каналів, по яких надходить випадкова кількість клієнтів ξ_i , де $i = 1, n_1$; n_2 – частина каналів $n_2 = n - n_1$, по яких надходить $x_j(t)$ ($j = 1, n_2$) клієнтів; $x_j(t)$ вхідний сигнал від деякого блока системи; m_1 – частина каналів, через які виходить випадкова кількість клієнтів η_k ($k = 1, m_1$); m_2 – частина каналів $m_2 = m - m_1$ через які виходить $y_l(l = 1, m_2)$ клієнтів; ξ_i і η_k взаємно незалежні.

Усі базові елементи цієї моделі мають імовірнісний характер і розподілені переважно згідно з нормальним законом розподілу Гаусса:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - M[x])^2}{2\sigma_x^2}} \quad (10)$$

Імітаційна модель гірськолижного комплексу. Імітаційна модель цього гірськолижного комплексу складається із таких блоків, як: каса продажу абонементів на підйомник, пункт прокату гірськолижного обладнання, кафе, підйомник, лижний спуск (рис.1).

Як видно із рис.1, клієнти переміщуються між цими пунктами у певній послідовності. Вийшовши із джерела клієнтів, вони йдуть до каси і пункту прокату, причому вони можуть як відвідати ці пункти, так і ігнорувати їх. Далі вони рухаються до кафе або підйомників, відтак на лижний спуск. Відвідувати ці пункти можна довільну кількість разів і в довільній послідовності. Після певної кількості спусків або після закінчення часу роботи комплексу клієнти прямують до виходу, повертаючи гірськолижне обладнання у прокат, якщо брали його звідти при вході.

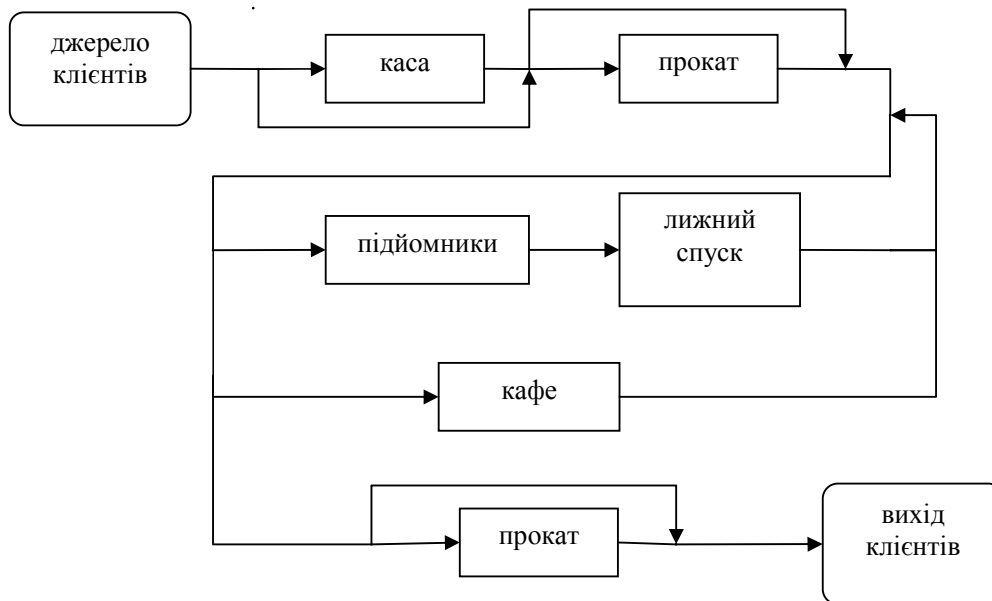


Рис. 1. Структурна схема переміщення клієнтів між пунктами комплексу

Дослідження та оптимізація моделі. Модель, зображена на рис.1, є моделлю одного із гірськолижних комплексів Буковини. Отримані після 20-кратного запуску моделі результати зведено в таблиці довірчих інтервалів статистичних даних діяльності пунктів та черг до них (табл.1–2).

Таблиця 1

**Довірчі інтервали статистичних даних
для блоків “початкової” моделі**

Блок	К-ть прибулих	Завантаженість
Кафе	650,8±15,64	0,1594±0,002
Каса	72,40±13,77	0,0375±0,007
Лижний спуск	2279±49,24	0,0004±7,894
Підйомник	2279±49,24	0,1978±0,004
Оренда обладнання	160,7±11,99	0,3338±0,025
Повернення обладнання	160,7±11,99	0,1669±0,0123

Таблиця 2

Довірчі інтервали статистичних даних для черг “початкової” моделі

Блок	Середня довжина	Макс. довжина	Середній час очікування, хв.	Макс. час очікування, хв.
Підйомник	0,291±0,161	37,1±14,6	0,122±0,064	3,04±1,21
Кафе	1,60±0,667	41,7±12,6	2,35±0,914	28,0±8,24
Каса	0,227±0,23	20,1±9,45	2,71±1,64	9,48±4,96
Лижний спуск	0,00±0,00	1,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Оренда обладнання	2,50±1,33	24,3±9,29	14,6±6,55	46,8±18,6
Повернення обладнання	9,28±4,51	106±32,3	53,8±16,7	105±32,5

Видно, що вузьким місцем є пункт прокату обладнання. З табл.1 і 2 максимальний час очікування в черзі до пункту отримання сягає 46,8±18,6 хв, середня довжина черги 2,50±1,33, а завантаженість цієї ділянки 0,3338±0,025.

Щодо пункту здавання, то тут максимальний час очікування в черзі сягає 105±32,5 хв, середня довжина черги 9,28±4,51, завантаженість цієї ділянки всього 0,1669±0,0123. Різке зростання черги починається на 960 хвилині – це 16 година, час закриття підйомника.

Оскільки затримки на пункті отримання постійні, а на пункті повернення починаються з певного проміжку часу, то для покращання функціонування комплексу було запропоновано внести такі зміни:

- збільшено кількість точок обслуговування на пункті отримання обладнання з 1 до 2;
- збільшено кількість точок обслуговування на пункті здавання з 1 до 3 після в 16:00.

Результат показано в таблицях довірчих інтервалів (табл.3–4).

Таблиця 3

Довірчі інтервали статистичних даних для блоків моделі

Блок	К-ть прибулих	Завантаженість
Кафе	643,6±18,27	0,1584±0,002
Каса	58,40±11,99	0,03045±0,006
Лижний спуск	2246±59,17	0,0003578±9,385
Підйомник	2246±59,17	0,1949±0,005
Оренда обладнання	165,5±12,35	0,1729±0,013
Повернення обладнання	165,5±12,35	0,08625±0,006

Таблиця 4

Довірчі інтервали статистичних даних для черг моделі

Блок	Середня довжина	Макс. довжина	Середній час очікування, хв.	Макс. час очікування, хв.
Підйомник	0,228±0,0456	31,6±5,30	0,0962±0,017	2,583±0,443
Кафе	1,23±0,182	35,6±4,59	1,83±0,254	24,1±2,44
Каса	0,165±0,0665	17,1±4,30	2,33±0,645	8,04±2,12
Лижний спуск	0,00±0,00	1,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Оренда обладнання	0,904±0,189	23,5±2,64	5,08±0,83	23,0±2,85
Повернення обладнання	1,43±0,379	45,8±8,51	7,83±1,67	15,2±2,84

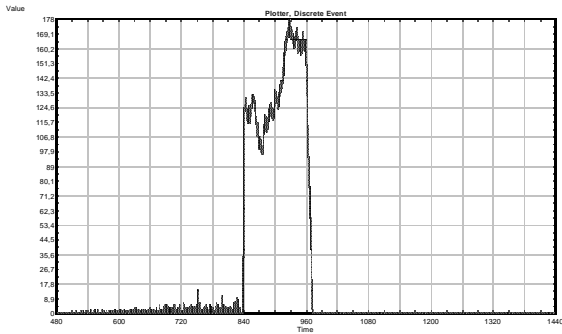


Рис. 2. Коливання черги на пункті “Підйомник” у вихідний день

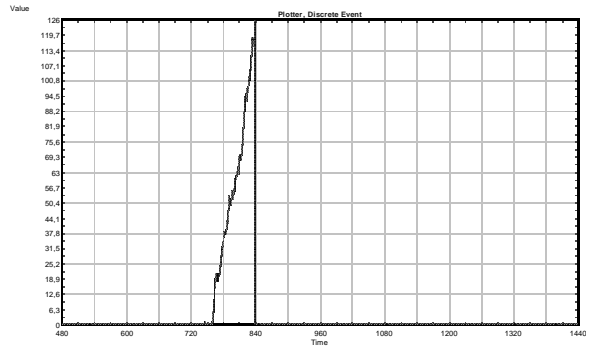


Рис. 3. Коливання черги на пункті “Кафе” у вихідний день

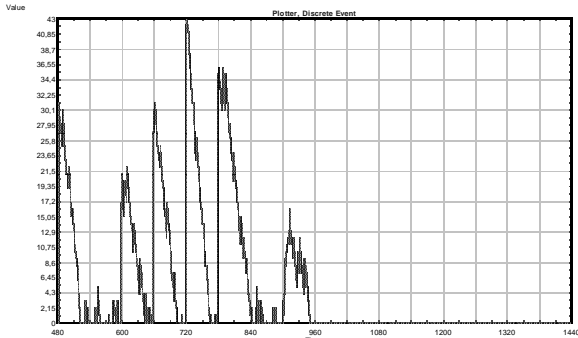


Рис. 4. Коливання черги на пункті “Оренда обладнання” у вихідний день

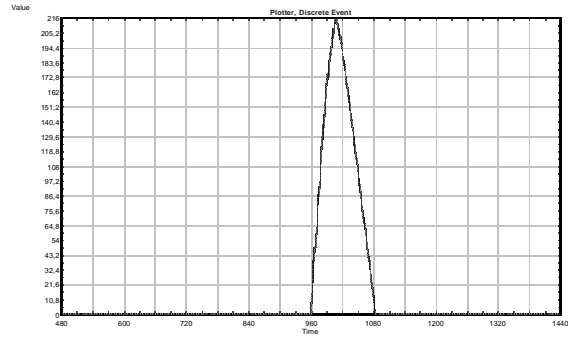


Рис. 5. Коливання черги на пункті “Повернення обладнання” у вихідний день

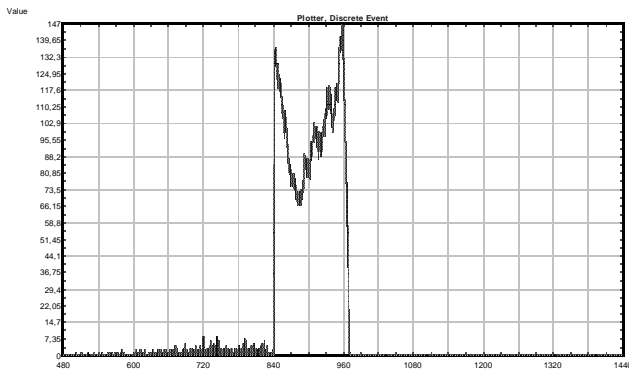


Рис. 6. Коливання черги на пункті “Підйомник” з урахуванням змін

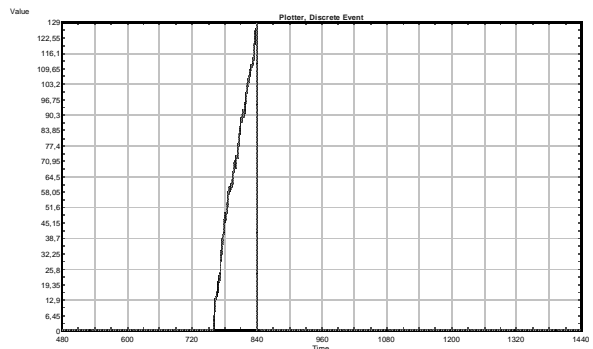


Рис. 7. Коливання черги на пункті “Кафе” з урахуванням змін

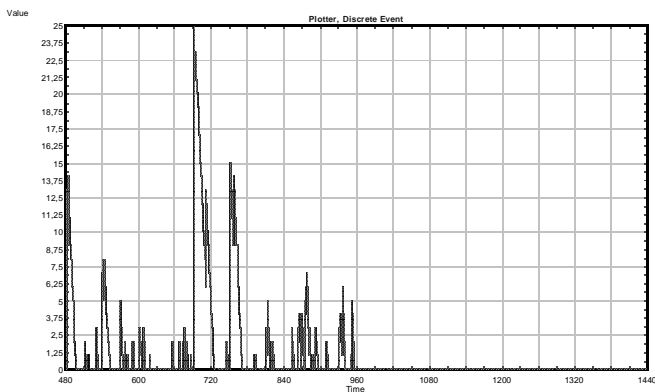


Рис. 8. Коливання черги на пункті “Оренда обладнання” з урахуванням змін

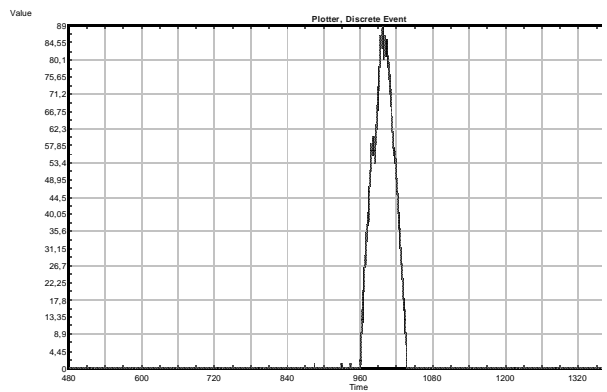


Рис. 9. Коливання черги на пункті “Повернення обладнання” з урахуванням змін

Як видно з табл. 3–4, максимальний час очікування в пункті отримання знизився в середньому в $46,8\text{хв} / 23\text{хв} = 2,01$ раза, середня довжина черги $2,5/0,9=2,8$ раза, а завантаженість цієї ділянки в $0,334/0,173=1,93$ раза.

Щодо пункту здавання, то тут максимальний час очікування знизився в середньому в $105/15,23=6,89$ раза, середня довжина черги $9,28/1,43=6,49$ раза, завантаженість цієї ділянки в $0,167/0,086=1,94$ раза.

У вихідний день кількість відвідувачів, що прибувають автобусами, збільшується приблизно на 50 %, а частота прибуття автомобілів вдвічі.

На рис. 2–5 подано розраховані графіки черг цієї ситуації.

Із рис.2 видно, що при накопиченні клієнтів черга на підйомнику близько 14:00 різко зростає. Це зростання нагадує фазовий перехід [8], проте в цей час починається збільшення відвідування кафе (рис. 3), це дає змогу зменшити чергу біля підйомника, але після обіду черга біля підйомника зростає ще більше, і після закриття стрімко спадає. Черга на пункті оренди обладнання рис.4 має пульсуючий характер – зростає щоразу при приїзді нового автобуса. Черга на пункті повернення обладнання стрімко зростає тільки після закриття (рис. 5).

Як видно з рисунків, при такому потоці клієнтів усі пункти комплексу зазнають серйозних навантажень в деякі моменти часу, тоді як середня їхня завантаженість не є високою. Зменшити ці навантаження можна, змінивши параметри моделі, перейшовши на вдвічі меншого розміру автобуси, але з вдвічі більшою частотою перевезень (рис. 6–9).

Порівнявши дані на рис. 2–9, можна зробити висновок, що збільшення частоти перевезень зменшує величину пікового навантаження.

Проте отримані дані показують, що робота комплексу ще не є оптимальною, тому параметри моделі потрібно вдосконалити так:

- 1) збільшити кількість касирів з 1 до 2;
- 2) збільшити кількість людей що приймають обладнання, після 16:00 з 3 до 5;
- 3) збільшити кількість місць в кафе з 30 до 50;
- 4) збільшити кількість підйомників з 1 до 2.

Щоб зменшити випадковий характер результатів, здійснено 20-кратний запуск моделі. Отримані дані зведено в таблиці довірчих інтервалів статистичних даних табл.10–11 та виведено у вигляді графіків черг (рис. 10–13).

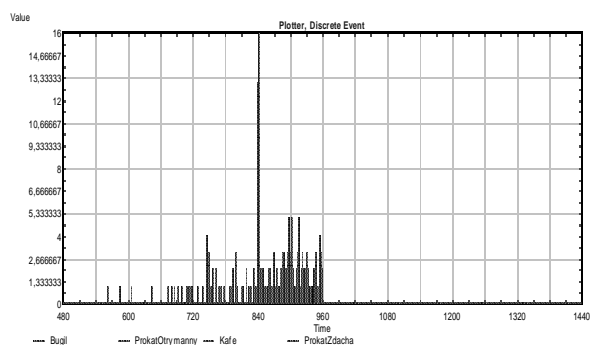


Рис. 10. Коливання черги на пункті "Підйомник" після вдосконалень

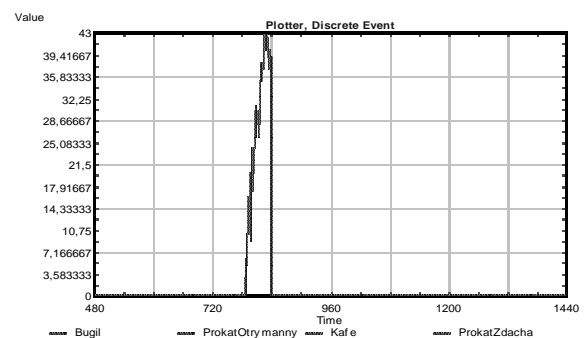


Рис.11. Коливання черги на пункті "Кафе" після вдосконалень

Ці показники є задовільними, оскільки (як видно з табл. 10–11 і рис. 10–13) порівняно з попереднім варіантом моделі вдалося приблизно в 9 разів зменшити максимальну довжину черги до підйомника та позбутися так званого фазового переходу. Також вдалось в 1,5 раза зменшити

максимум черги до пункту повернення обладнання та приблизно у 3 рази до кафе. Отримані налаштування моделі є оптимальними.

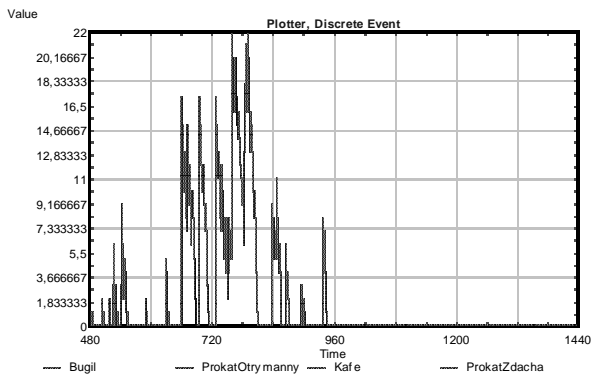


Рис. 12. Коливання черги на пункті “Оренда обладнання” після вдосконалень

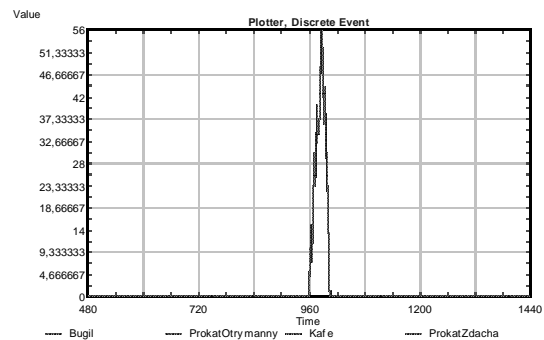


Рис. 13. Коливання черги на пункті “Повернення обладнання” після вдосконалень

Таблиця 10

**Довірчі інтервали статистичних даних
для блоків моделі після вдосконалень**

Блок	К-ть прибулих	Завантаженість
Кафе	1072±26,74	0,1582±0,002995
Каса	108,0±11,05	0,02846±0,00296
Лижний спуск	3741±98,42	0,0005928±1,524
Підйомник № 1	1872±51,59	0,1625±0,004479
Підйомник № 2	1868±49,72	0,1622±0,004316
Оренда обладнання	278,8±14,51	0,2893±0,01523
Повернення обладнання	278,8±14,51	0,09725±0,00524

Таблиця 11

**Довірчі інтервали статистичних даних
для черг моделі після вдосконалень**

Блок	Середня довжина	Макс. довжина	Середній час очікування, хв	Макс. час очікування, хв
Підйомник № 1	0,111±0,0239	22,4±4,23	0,0561±0,0109	1,82±0,352
Підйомник № 2	0,106±0,0179	23,3±3,32	0,054±0,00805	1,90±0,268
Кафе	2,04±0,28	55,5±6,44	1,82±0,218	22,6±2,27
Каса	0,0891±0,0223	15,7±1,78	0,755±0,137	3,75±0,495
Лижний спуск	0,00±0,00	1,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Оренда обладнання	1,49±0,211	20,4±1,17	5,09±0,58	20,0±1,35
Повернення обладнання	2,66±0,558	78,7±11,7	8,86±1,47	15,7±2,42

Висновок. З наведеного вище випливає, що зміни у імітаційних моделях не мають лінійної залежності. Отже, з погляду людської логіки практично неможливо передбачити, як поведе себе в часі імовірна система, проте за допомогою імітаційного моделювання дискретних подій можна доволі легко здійснювати оптимізацію та дослідження стохастичних систем.

Отримана модель максимально наближена до реальної, що дає можливість з великою точністю передбачити її поведінку за будь-яких умов.

У цій роботі вдалося досягти підвищення ефективності гірськолижного комплексу, а також розробити практичні рекомендації щодо оптимізації роботи його складових.

Вдалося підвищити пропускну здатність комплексу, позбувшись вузьких місць, що дало змогу значно збільшити величину потоку клієнтів за оптимального збільшення кількості робочих місць.

За допомогою розробленої моделі можна вносити обґрунтовані пропозиції щодо організаційної і структурної перебудови туристичних та інших економічних комплексів з метою підвищення їх ефективності, що дає змогу дещо спростити проектування цих комплексів.

1. Бакаев А.А., Костнина Н.И., Яровицкий Н.В. *Имитационные модели в экономике*. – К.: Наук. думка, 1978. – 304 с. 2. *Имитационные системы принятия экономических решений* /К.А. Багриновский, Т.И. Конник, М.Р. Левинсон и др. – М.: Наука, 1989. – 165 с. 3. Таха, Хемди А. *Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер. с англ.* — М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. — 912 с. 4. Майзер Х., Эйджин Н., Тролл Р. и др. *Исследование операций: В 2-х томах. Пер. с англ. / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмграби.* — М.: Мир, 1981. Т. 1. 712 с. 5. Бригхем Ю., Гапенски Л., *Финансовый менеджмент Полный курс: В 2х томах. / Под ред. В.В. Ковалева.* – СПб.: Экономическая школа, 1997. – Т. 2. – 669 с. 6. Якимов А.И. *Методы и средства имитационного моделирования производственно-экономических систем // Математичні машини і системи.* – 2007. – № 1. – С.62–66. 7. Гируц П.Л., Максимей И.В. *Имитационное моделирование вероятностных транспортных потоков региона // Математичні машини і системи.* – 2007. – № 1. – С.99–104. 8. Чернышов Ю.К. *Имитационное моделирование фазовых переходов в плоских кристаллах простого вещества // Комп'ютерні системи та інформаційні технології.* – 2007. – № 2(21). – С.62–66. 9. Смородин В.С. *Имитационное моделирование технологии управления процессом производства // Реєстрація, зберігання і обробка даних.* – 2006. – № 3. – С.74–88.