

Г.С. Прокудін, канд. техн. наук, НТУ, м. Київ
М.Т. Дехтярук, канд. фіз.- мат. наук, НТУ, м. Київ

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМІНАЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

It is shown, that the computer design is the effective method of research of organization of transport process. By means the system of the object-oriented programming Delphi the developed simulation model of the custom terminal system within the framework of theory of mass service. The developed system of design of freight transportations on a custom terminal, during conducting of experiments with the mathematical model of object, possibility gives to conduct the analysis and optimization of the modes of operations of custom terminal network.

Вступ

Сучасний розвиток економіки вимагає підвищення ефективності використання автомобільного транспорту. Основні резерви вдосконалення транспортного процесу знаходяться в раціональній організації взаємодії учасників ланцюга доставки, у погодженні їх інтересів та пошуку взаємовигідних та придатних рішень. Доставка вантажів в автомобільному сполученні може виконуватися за двома принциповими технологіями: наскрізна і термінальна. Якщо наскрізна технологія передбачає доставку вантажів одним транспортним засобом і без заміни бригади водіїв, то термінальна допускає, як зміну водіїв, так і заміну рухомого складу впродовж транспортного процесу.

Термінальні системи перевезень пов'язані з використанням вантажних модулів (напівпричепів, контейнерів, змінних кузовів), тому технологічна схема таких перевезень може бути представлена у вигляді двох тягових ділянок, об'єднаних одним перевантажувальним терміналом. Типовим прикладом подібних терміналів є прикордонний перевантажувальний термінал [1]. При такій організації міжнародних перевезень можливі ситуації накопичення на терміналі або автомобілів однієї з тягових ділянок, що очікують надходження вантажних модулів, або вантажних модулів, які очікують автомобілі одного з напрямків. Для вирішення задач визначення можливих черг, оптимальної кількості вантажних модулів, планування перевезень, площі терміналу та ін., необхідним є вивчення процесу його функціонування як системи масового обслуговування (СМО) [1, 2].

Ефективним способом дослідження організації транспортного процесу є комп'ютерне моделювання. Комп'ютерне моделювання знайшло практичне застосування у всіх сферах діяльності людини, починаючи від моделей технічних, технологічних і організаційних систем і закінчуючи проблемами

розвитку людства й всесвіту. Із всіх видів моделювання, а це в першу чергу математичне, графічне та інше, особливої уваги заслуговує імітаційне моделювання [3, 4]. Огляд систем моделювання в роботі [4] показує, що імітаційне моделювання є одним із самих популярних засобів моделювання, використовуваних на практиці.

Імітаційне моделювання можна застосовувати для вивчення мереж транспорту і зв'язку, складних технічних комплексів, економічних і виробничих систем, біологічних систем і процесів. Імітаційне моделювання дає можливість дослідження і імітації особливостей функціонування системи в будь-яких умовах. При цьому параметри системи і навколишнього середовища можна варіювати з метою визначення оптимального варіанта структури і одержання залежностей вихідних характеристик від зміни вхідних умов. Застосування методу імітаційного моделювання корисно у випадку, коли досліджувана система не піддається вивченню аналітичними методами, а пряме експериментування із системою важке або недоцільне.

Для створення імітаційних моделей використовують як універсальні мови програмування - C++, Pascal, Basic, так і спеціалізовані мови, розроблені спеціально для побудови алгоритмів моделювання: GPSS, COЛ, СИМУЛА, СИМСКРИПТ, СТАМ/КЛАС та ін. [4, 5]. У цих мовах передбачаються засоби автоматичного керування послідовністю змін (подій) у моделі, динамічного розподілу даних у пам'яті, необхідного для побудови складних моделей, стандартні програми статистичної обробки результатів моделювання (накопичення і виводу гістограм, середніх значень випадкових величин, їхніх дисперсій і т.п.).

Постановка задачі

Пропонується використання сучасних комп'ютерних інформаційних технологій для аналізу й оптимізації режимів роботи транспортних систем, як систем масового обслуговування. За допомогою системи об'єктно-орієнтованого програмування Delphi розроблена імітаційна модель митної термінальної системи в рамках теорії масового обслуговування (ТМО).

Розробка математичної моделі системи

Структурна схема митної термінальної мережі масового обслуговування зображена на рис.1. Деталізація роботи митного прикордонного пункту дозволяє виділити декілька фаз роботи, кожна з яких представляє окрему систему масового обслуговування, що має власну структуру та параметри. Отже, для аналізу даної системи можна застосувати підхід вивчення функціонування прикордонного митного пункту як мережі масового обслуговування (ММО) [6].

Аналітичне дослідження таких ММО розповсюдженим методом аналізу графів "загибелі та розмноження" досить складне, але їх дослідження так званім інтегральним підходом [7] значно спрощує їх вирішення.

З точки зору ММО система перевезень з перевантаженням на кордоні може розглядатися як сукупність 6-ти СМО, що зображені на рис. 1, де умовно показані:

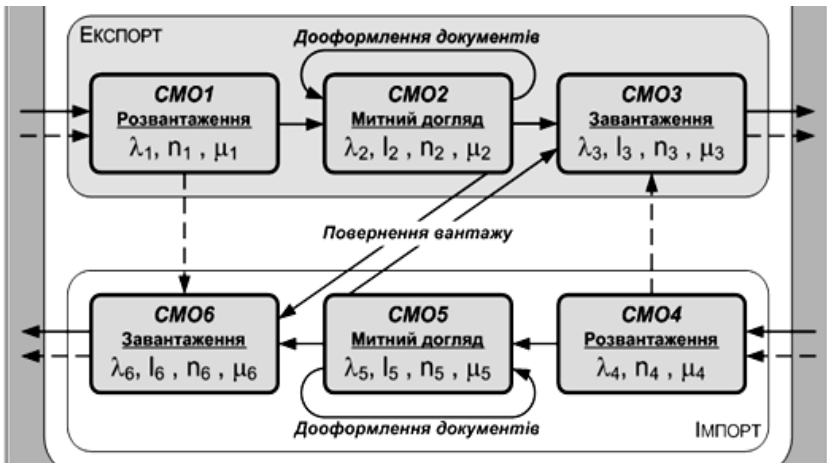


Рис. 1. Структурна схема митної термінальної мережі

- СМО1, СМО4 – розвантаження вантажівок, що доставили вантаж для перетину кордону. Характеризуються відсутністю обмежень на довжину черги, мають певну кількість каналів обслуговування;
- СМО2, СМО5 – митний контроль вантажів. Мають обмеження на кількість місць у черзі як для прямого потоку вантажів, так і для потоку після дооформлення документів (з виходу цих же СМО), мають певну кількість каналів обслуговування, є системами з відносним пріоритетом.
- СМО3, СМО6 – завантаження вантажних автомобілів. Мають обмежену кількість місць у черзі, певну кількість каналів обслуговування, є системами з відносним пріоритетом. Вхідний потік для цих СМО складається з вихідних потоків попередніх СМО і потоку вантажів, які не пройшли митний контроль.

Кожна СМО характеризується певним часом обслуговування заявок. Всі заявки мають деякий рівень пріоритету при обслуговуванні, який враховується при наявності черг на входах відповідних СМО. Кількість рівнів пріоритету обмежена десятьма значеннями – від нульового (без пріоритету) до дев'ятого (найвищий). Застосування пріоритетного обслуговування дозволяє поставити проходження митного прикордонного пункту України на європейський рівень.

В процесі функціонування даної системи можемо спостерігати наявність вимог, що відрізняються одна від одної за навантажувальними параметрами, рівню пріоритетів, механізмом обслуговування (це чітко

спостерігається на етапі розділення вантажного модуля з транспортним засобом). Отже необхідно брати до уваги при описі моделі її багатопотоковість.

Під час проходження митного контролю (СМО II, СМО V) можуть виникати відмови, пов'язані з невірним оформленням документації, не декларованими перевезеннями і таке інше. Якщо недоліки несуттєві, які можна виправити на місці, то вантажний модуль йде на повторне обслуговування, а якщо вантаж не можливо пропустити через кордон, то він повертається до місця відправлення.

Підсумовуючи вищесказане, можемо стверджувати, що маємо мережу систем масового обслуговування з наступними параметрами:

1. Багатоканальність;
2. Багатофазність (кожна фаза – окрема СМО);
3. Багатопотоковість;
4. Без обмеження на чергу на вхідних фазах;
5. З відмовами на обслуговування;
6. З наявністю пріоритетного обслуговування.

Загальна структура мережі масового обслуговування на прикладі митного прикордонного пункту представляє собою паралельно з'єднанні однофазні СМО. Причому, СМО з одного боку кордону та СМО з іншого мають послідовну з'єднаність. Для них вхідна інтенсивність дорівнює абсолютній пропускній спроможності СМО_{*i*-1}, тобто $\lambda_i = A_{i-1}$.

Побудуємо матрицю передач для наведеного прикладу, з метою визначення інтенсивностей внутрішніх потоків [7].

$$T = \begin{pmatrix} 0 & \theta_{01} & 0 & 0 & \theta_{04} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \theta_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \theta_{22} & \theta_{23} & 0 & 0 & \theta_{26} \\ \theta_{30} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \theta_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \theta_{53} & 0 & \theta_{55} & \theta_{56} \\ \theta_{60} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Очевидно, має місце:

$$\sum_{j=0}^M \theta_{ij} = 1 \quad / i = 0, 1, 2, \dots, M / \quad (2)$$

де: θ_{ij} – ймовірність виходу вимоги з *i*-ої та надходження її до *j*-тої системи;
M – кількість СМО.

Інтенсивність вхідного потоку становить:

$$\lambda_0 = \lambda_1 + \lambda_4 \quad (3)$$

причому $\theta_{01} \approx \theta_{04}$, що забезпечить наявність сталого режиму. Межі коливань ймовірностей вхідних потоків становлять 10-15%.

На підставі (1) та (2) маємо:

Таблиця 1

Інтенсивності вхідних потоків

θ_{01}	θ_{04}	θ_{12}	θ_{30}	θ_{45}	θ_{60}
0,5	0,5	1	1	1	1

Звідки одержуємо:

$$\begin{cases} \lambda_1 = \lambda_0 \theta_{01} \\ \lambda_2 = \lambda_1 \theta_{12} + \lambda_2 \theta_{22} \\ \lambda_3 = \lambda_2 \theta_{23} + \lambda_5 \theta_{53} \\ \lambda_4 = \lambda_0 \theta_{04} \\ \lambda_5 = \lambda_5 \theta_{45} + \lambda_5 \theta_{55} \\ \lambda_6 = \lambda_2 \theta_{26} + \lambda_5 \theta_{56} \end{cases} \quad (4)$$

В програмі прийнято такі значення елементів матриці передач (1):

Таблиця 2

Елементи матриці передач

θ_{01}	θ_{04}	θ_{12}	θ_{22}	θ_{23}	θ_{26}	θ_{30}	θ_{45}	θ_{53}	θ_{55}	θ_{56}	θ_{60}
0,5	0,5	1,0	0,1	0,8	0,1	1,0	1,0	0,1	0,1	0,8	1,0

Оскільки λ_1 та λ_4 відомі, то, з урахуванням (5) і таблиці 2, можна знайти інтенсивності потоків на вході СМО2, СМО3, СМО5, СМО6:

$$\begin{cases} \lambda_2 = \frac{\theta_{12}}{1 - \theta_{22}} \lambda_1 \\ \lambda_5 = \frac{\theta_{45}}{1 - \theta_{55}} \lambda_4 \\ \lambda_3 = \lambda_2 (1 - (\theta_{22} + \theta_{26})) + \lambda_5 \theta_{53} \\ \lambda_6 = \lambda_5 (1 - (\theta_{55} + \theta_{53})) + \lambda_2 \theta_{26} \end{cases} \quad (5)$$

Розрахувавши відповідні значення $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_6$ (через початкове значення λ_0), можна, при відповідних інтенсивностях $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_6$ одержати такі основні характеристики мережі масового обслуговування, як:

- загальний час перебування заявки в системі;
- час чекання заявки в і-тій системі;

– середню кількість заявок, що знаходяться в мережі та інше.

При одержанні даних характеристик, можливе збільшення чи зменшення n - кількості каналів, з метою поліпшення функціонування мережі.

Автоматичний розрахунок кількості каналів обслуговування кожної СМО ґрунтується на використанні вищенаведених тотожностей наступним чином:

$$n_i > \lambda_i \tau_i \quad (6)$$

де: n_i – кількість каналів обслуговування СМО; λ_i – інтенсивність потоку на вході СМО; τ_i – середній час обслуговування заявки в СМО.

$$\tau_i = \frac{\tau_{i\min} + \tau_{i\max}}{2} \quad (7)$$

де: $\tau_{i\min}$ – мінімальний час обслуговування заявки; $\tau_{i\max}$ – максимальний час обслуговування заявки.

Кількість місць в чергах для СМО2, СМО3, СМО5, СМО6 при автоматичному розрахунку параметрів мережі задана рівною нулю, при ручному вводі задається користувачем. В процесі моделювання програма, в разі необхідності, може збільшувати кількість місць в чергах для забезпечення працездатності системи.

Мінімально-необхідними вхідними даними для системи моделювання є такі параметри:

- інтенсивності потоків на входах СМО1 і СМО4;
- час обслуговування заявок у кожній СМО і час дооформлення для СМО2 і СМО5 (або межі коливань цих параметрів, наприклад, від мінімального до максимального).

Також необхідно вказати період моделювання і кількість повторів (ітерацій).

Розробка програмного комплексу системи

На рис. 2 зображено загальну структуру програмного комплексу системи моделювання вантажних перевезень на митному терміналі. Програмний комплекс розроблений на основі математичної моделі прикордонного митного терміналу.

Програмний комплекс побудований по модульному принципу, тобто однотипні операції і функції згруповані в окремі програмні модулі. Наведемо характеристики програмних модулів, що входять до складу системи моделювання вантажних перевезень:

- головний модуль програми призначений для введення вхідних параметрів системи, забезпечення необхідних первинних розрахунків. В ньому програмно реалізована математична модель митного терміналу, згідно якої виконується моделювання руху вантажних потоків. Головним модулем

виконується формування і розрахунок всіх статистичних даних, отриманих в результаті процесу моделювання. Безпосередньо у процесі моделювання приймає участь 19 з 36 процедур і функцій;

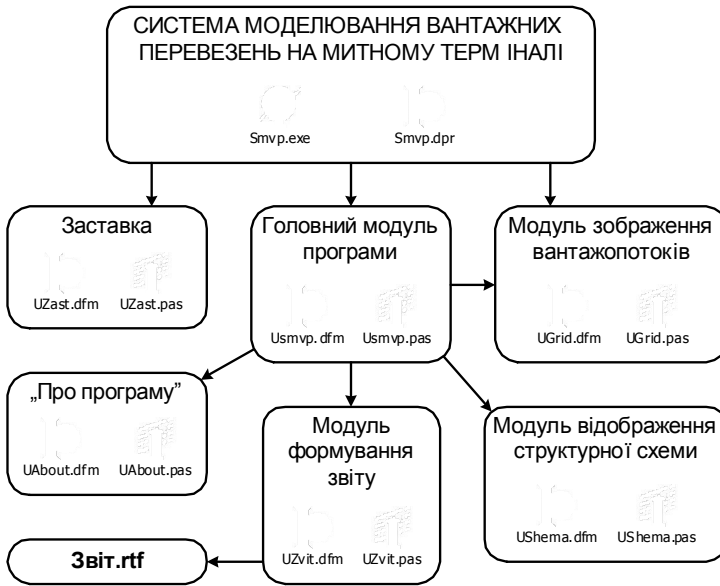


Рис. 2. Структура програмного комплексу

– модуль зображення (візуалізації) вантажопотоків призначений для відображення змодельованого руху потоків вантажу у математичній моделі митного терміналу. Дані для відображення формуються у головному модулі програми;

– модуль формування звіту призначений для формування, відображення, збереження та друку звіту результатів процесу моделювання роботи митного терміналу. Дані для формування звіту генеруються головним модулем програми. Модуль формування звіту динамічно створюється за допомогою головного модуля;

– модуль відображення структурної схеми призначений для графічного відображення на екрані монітора ПК структурної схеми митного терміналу вантажних перевезень, динамічно створюється за допомогою головного модуля;

– заставка динамічно створюється перед запуском програми, відображає назву програмного комплексу;

– вікно „Про програму” відображає коротку інформацію про програмний комплекс, динамічно створюється за допомогою головного модуля.

Для успішного проведення імітаційних експериментів зі стохастичними математичними моделями, окрім розробки правильного алгоритму, необхідно адекватно змоделювати вхідні дані, що є вибірками з ряду випадкових чисел з заданим розподілом.

Вхідними потоками для СМО1 і СМО4 митної термінальної мережі є пуасонівські потоки, апроксимація функції розподілу інтервалів часу між моментами надходженням заявок в систему обслуговування для яких описується експоненціальною функцією.

Процес моделювання роботи митного терміналу у програмному комплексі реалізований як послідовність процедур, що імітують елементарні події реальної системи: надходження заявки в систему, заняття каналу СМО на час обслуговування, відправлення заявки в чергу та ін. Згідно алгоритму роботи реальної системи кожному заявці необхідно, так би мовити, „провести” через відповідні елементи декількох СМО мережі (вхід мережі систем масового обслуговування, черга СМО, канал обслуговування СМО, вихід мережі). Шлях кожної заявки у математичній моделі митної термінальної мережі визначається структурою системи, а також декількома параметрами з випадковим розподілом: ймовірність повернення заявки на дооформлення документів (10%, СМО2, СМО5) та ймовірність повернення заявки на сторону надходження (10%, зі СМО2 до СМО6 та зі СМО5 до СМО3). Ця випадковість реалізована за допомогою стандартної функції середовища програмування `Random(x)` з попереднім використанням процедури `Randomize()`.

На рис 3 зображено алгоритм запуску процедури моделювання при натисканні кнопки „МОДЕЛЮВАТИ” головного вікна програми (**procedure** TForm1.Button1Click (Sender:TObject)).

Ця процедура викликає на виконання процедуру моделювання вантажних перевезень (рис. 4). Кількість викликів визначається користувачем як кількість повторів процесу моделювання для заданих часу моделювання і вхідних параметрів. Власне, в процедурі моделювання вантажних перевезень (**procedure** Model()) і реалізовано логіку роботи митного терміналу. Дана процедура імітує рух вантажопотоків у математичній моделі митного терміналу, формує всі статистичні дані роботи системи.

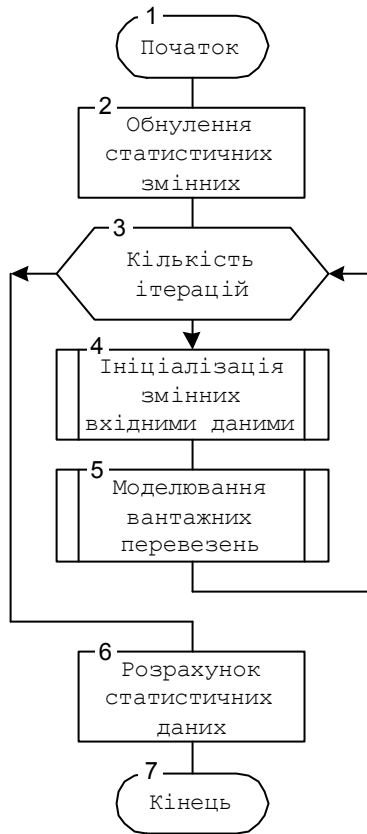


Рис. 3. Алгоритм запуску процедури моделювання

Вхідні заявки формуються в межах часу моделювання, що заданий користувачем, але модель системи працює до того моменту, поки всі заявки не надійдуть на виходи СМОЗ чи СМОБ. Процес імітації базується на покроковому перегляді (з дискретністю 1 хв.) в межах часу моделювання стану всіх елементів систем масового обслуговування (входи мережі, місця черги, канали обслуговування) мережі та, при необхідності, проведенні перерозподілу заявок та потоків. В процесі імітації процедура моделювання може збільшувати кількості місць в чергах для забезпечення сталого режиму роботи моделі митного терміналу. Кількість каналів обслуговування СМО і структура моделі змінюватись не можуть.

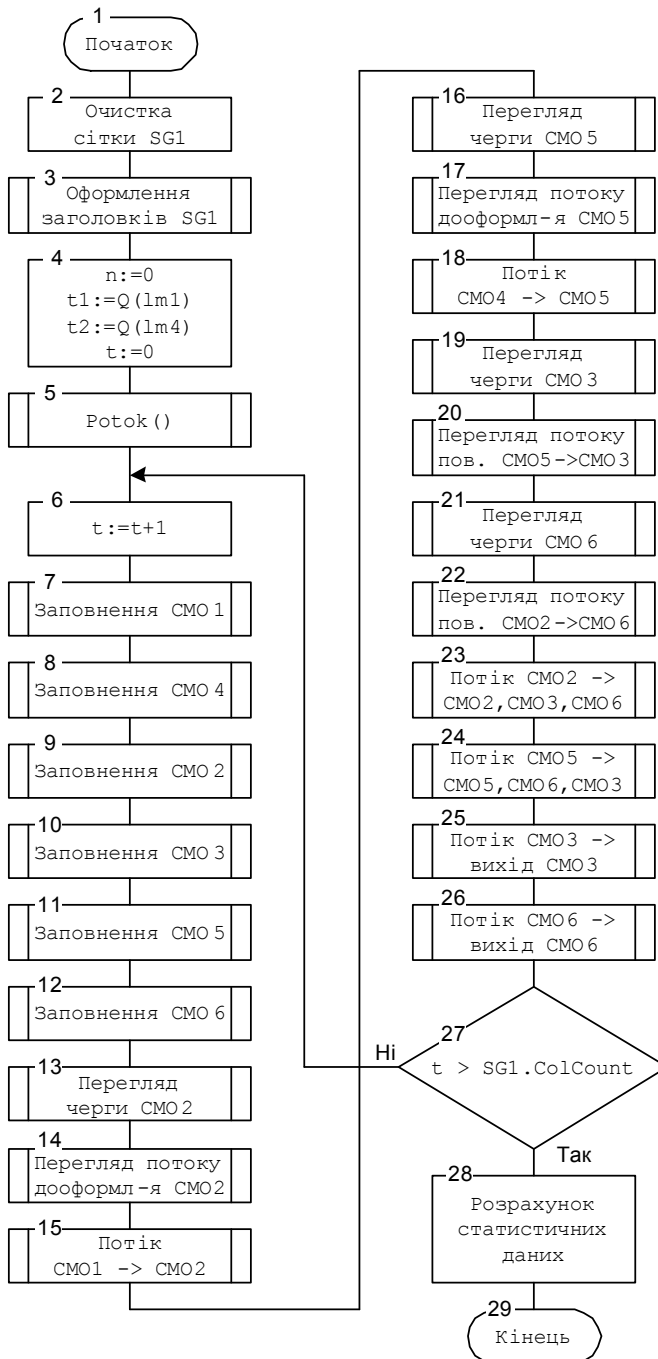


Рис. 4. Алгоритм моделювання вантажних перевезень

В системі моделювання вантажних перевезень весь процес імітаційного дослідження ґрунтується на виконанні послідовності деяких елементарних дій, одночасно з їх виконанням відбувається і накопичення статистичних даних стосовно роботи певного елемента системи. Після завершення кожного циклу формуються дані про результати моделювання за час роботи цього циклу. В разі проведення імітаційних експериментів з запуском циклу моделювання декілька раз, результатами моделювання будуть середні значення параметрів.

Робота програми ґрунтується на розробленій математичній моделі функціонування митного терміналу. В режимі автоматичного розрахунку параметрів системи (за замовчуванням) відбувається автоматичне обчислення кількості каналів всіх СМО мережі, на відміну від режиму ручного вводу. Незалежно від режиму вводу параметрів СМО (автоматичний розрахунок чи ручне введення) користувач має змогу змінювати інші параметри обчислень і роботи програми: час обслуговування у системах, кількість рівнів пріоритету, час моделювання, кількість повторів.

На рис. 5 наведено інтерфейс програми після запуску процесу моделювання. У правій частині вікна програми виводиться додаткова інформація про її роботу: час запуску програми; час запуску процесу моделювання; дані, стосовно зміни кількості місць у чергах СМО.

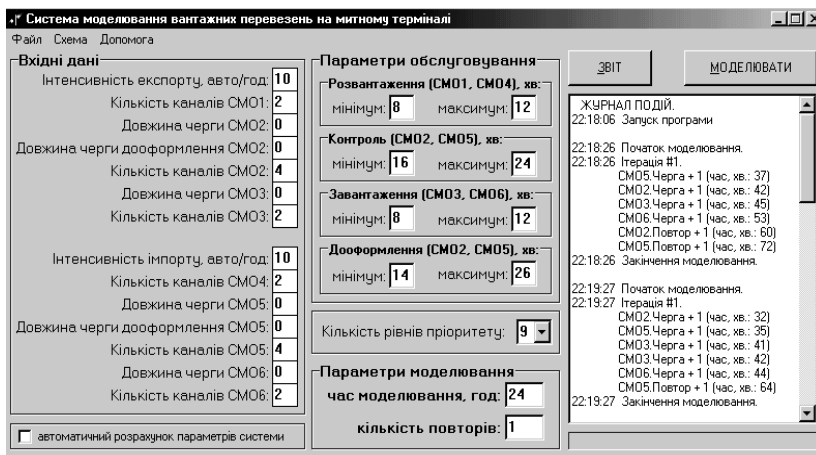


Рис. 5. Головне вікно програми

На рис. 6 зображено вікно програми, що відображає структуру мережі СМО і рух вантажів у математичній моделі митного терміналу.

Інформація представлена у табличному вигляді, де стовпчики таблиці відображають моменти системного часу, тобто часу з початку процесу моделювання, а рядки – елементи СМО (від СМО1 до СМО6) мережі:

- **ЕКСПОРТ** – вхід системи, на який потрапляють заявки, яким відповідають товари, призначені на експорт;
- **ІМПОРТ** – вхід системи, на який потрапляють заявки, яким відповідають товари, що імпортуються.
- **СМО1.Канал 1**– перший канал обслуговування СМО1 (для інших каналів і СМО аналогічно);
- **СМО2.Черга 2** – друге місце у черзі СМО2;
- **СМО2.Повтор 1** – перше місце у черзі дооформлення документів СМО2;
- **СМО5 -> СМО3 (СМО2 -> СМО6)** – потік вантажів зі СМО5 до СМО3 (зі СМО2 до СМО6), що не пройшли митний контроль;
- **СМО3.Вихід (СМО6.Вихід)** – вихідний потік обслугованих заявок зі СМО3 (СМО6), заявки покидають митний термінал.

Система моделювання вантажних перевезень на митному терміналі (результати моделювання)																							
Час. зв.	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746		
ЕКСПОРТ								230/1			231/1/736						233/3						
СМО1.Канал 1	224/3	224/3	224/3	224/3	224/3	224/3	224/3	226/6	226/6	226/6	226/6/716	226/6	226/6	226/6	226/6	226/6	226/6	226/6	226/6	226/6	228/2	228/2	
СМО1.Канал 2	223/6	225/6	225/6	225/6	225/6	225/6	225/6	225/6	225/6	227/0	227/0/720	227/0	227/0	227/0	227/0	227/0	227/0	227/0	227/0	227/0	230/1	230/1	
СМО2.Черга 1											225/0	225/0/713									226/6	227/2	
СМО2.Черга 2																						227/0	
СМО2.Черга 3																							
СМО2.Черга 4																							
СМО2.Повтор 1		215/6	215/6	215/6	215/6	215/6	215/6	215/6	215/6	215/6	215/6/682	215/6	215/6	215/6	215/6	215/6	215/6	215/6	215/6	215/6	215/6	215/6	
СМО2.Повтор 2				217/6	217/6	217/6	217/6	217/6	217/6	217/6	217/6/698	217/6	217/6	217/6	217/6	217/6	217/6	217/6	217/6	217/6	217/6	217/6	
СМО2.Повтор 3																						223/2	
СМО2.Канал 1	217/6	217/6	217/6					224/5	224/5	224/5	224/3/709	224/5	224/5	224/5	224/5	224/5	224/5	224/5	224/5	224/5	224/5	224/5	
СМО2.Канал 2	219/5	219/5	219/5	219/5	219/5	219/5	219/5	219/5	219/5	219/5	219/5/704	225/0	225/0	225/0	225/0	225/0	225/0	225/0	225/0	225/0	225/0	225/0	
СМО2.Канал 3	215/6	223/6	223/6	223/6	223/6	223/6	223/6	223/6	223/6	223/6	223/8/707	223/6	223/6	223/6	223/6	223/6	223/6	223/6	223/6	223/6	223/6	226/6	
СМО2.Канал 4	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5/706	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	221/5	
СМО3.Черга 1																							
СМО3.Черга 2																							
СМО3.Черга 3																							
СМО3.Черга 4																							
СМО5 -> СМО3																							
СМО3.Канал 1													219/5	219/5	219/5	219/5	219/5	219/5	219/5	219/5	219/5	219/5	
СМО3.Канал 2																							
СМО3.Вихід																							
ІМПОРТ														232/6						234/3			
СМО4.Канал 1	209/7	209/7	212/6	212/6	212/6	212/6	212/6	212/6	212/6	212/6	212/6/676	216/4	216/4	216/4	216/4	216/4	216/4	216/4	216/4	216/4	220/7	220/7	
СМО4.Канал 2	210/3	210/3	210/3	210/3	210/3	210/3	214/1	214/1	214/1	214/1	214/1/681	214/1	214/1	214/1	214/1	214/1	218/4	218/4	218/4	218/4	218/4	218/4	
СМО5.Черга 1	178/2	188/1	209/7	209/7	209/7	209/7	209/7	209/7	209/7	209/7	210/3/665	212/6	212/6	210/3	210/3	210/3	210/3	210/3	204/1	188/1	216/4	216/4	
СМО5.Черга 2	188/1	204/1	204/1	204/1	204/1	204/1	210/3	210/3	210/3	210/3	188/1/646	210/3	210/3	204/1	204/1	204/1	204/1	188/1	214/1	214/1	214/1	214/1	
СМО5.Черга 3	204/1	171/0	188/1	188/1	188/1	188/1	188/1	188/1	188/1	188/1	204/1/646	204/1	204/1	188/1	188/1	188/1	188/1	188/1	214/1	171/0	188/1	188/1	
СМО5.Черга 4	171/0		171/0	171/0	171/0	171/0	204/1	204/1	204/1	204/1	171/0/562	188/1	188/1	171/0	171/0	171/0	214/1	171/0			171/0	171/0	
СМО5.Черга 5							171/0	171/0	171/0	171/0		171/0	171/0				171/0						

Рис. 6. Структура мережі СМО і рух вантажів

Заявки потоку викликів надходять на входи системи ЕКСПОРТ чи ІМПОРТ і по чергово проходять відповідні СМО, згідно алгоритму математичної моделі функціонування митного терміналу. Кожна заявка кодується у такому форматі:

X/Y/Z

де: **X** – порядковий номер заявки, нумерація наскрізна; **Y** – пріоритет заявки (формується за допомогою функції **Random(pr)**, **pr** – кількість рівнів

пріоритету + 1); **Z** – час надходження заявки у систему. Пріоритет для кожної заявки визначається як випадкове число з діапазону кількості рівнів пріоритету.

Всі заявки і потоки зберігаються і відображаються в полі сітки рядків (StringGrid) **SG1** форми **Grid** модуля зображення вантажопотоків, де рядки таблиці відображають елементи СМО (від СМО1 до СМО6) мережі, а стовпчики – моменти системного часу, тобто часу з початку процесу моделювання. Квантом часу у програмі є 1 хвилина.

Звіт з результатами моделювання формується на основі даних, що отримані при проведенні імітаційних досліджень математичної моделі. Звіт формується і відображається на екрані EOM за допомогою інструменту **RichEdit** середовища Delphi з використанням функцій **Lines.Add()**. Відображення даного вікна відбувається після натискання кнопки „ЗВІТ” головного вікна програми. Ця кнопка стає активною тільки після запуску процесу моделювання (кнопка „МОДЕЛЮВАТИ”).

Висновки

Таким чином, в роботі показано, що ефективним способом дослідження організації транспортного процесу є імітаційне моделювання. На основі інтегрального підходу, що застосовується в ММО, встановлено, що модель транспортного процесу повинна включати моделі транспортних потоків, окремих операцій і систем доставки вантажів.

Розроблена система моделювання вантажних перевезень на митному терміналі, що ґрунтується на використанні методів імітаційного моделювання при проведенні експериментів з математичною моделлю об'єкта, надає можливість отримати різноманітну інформацію про роботу митної термінальної мережі. Причому, незважаючи на конкретність прикладу, що розглядається, отримані результати носять достатньо узагальнюючий характер і можуть бути застосовані при аналізі функціонування будь-якої системи термінальних перевезень.

1. *Воркут А.І., Коцюк О.Я., Лебідь І.Г.* Вантажний термінал як система масового обслуговування. // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. Збірник наукових праць.-Київ, УТУ, ТАУ, 1997. С.11–14
2. *Четверухін Б.М., Бакуліч О.О., Радкевич С.Д.* Дослідження операцій в транспортних системах. Частина 2. Системи масового обслуговування: Навчальний посібник. – Київ: НТУ, 2001. – 141 с.
3. *Дехтярук М.Т., Прокудін Г.С.* Імітаційне моделювання у транспортних системах. Вісник НТУ, 2004. – № 9. – С. 181-189.
4. *Рыжиков Ю.И.* Имитационное моделирование. Теория и технологии. – М.: Альтекс-А. 2004. – 384 с.
5. *Томашевский В.Н., Жданова Е.Г.* Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.

6. Прокудін Г.С., Куницька О.М. Аналіз митної термінальної мережі масового обслуговування // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник. – 2004. – №71. – С. 127–133.

7. Кофман А., Крюон Р. Массовое обслуживание, теория и приложения. – М.: МИР, 1965. – 302 с.