

УДК: 351.746.1:001

**Олег Васильович БОРОВИК,**  
*доктор технічних наук, професор, начальник кафедри  
загальнонаукових та інженерних дисциплін Національної академії  
Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький*

**Людмила Володимирівна БОРОВИК,**  
*кандидат психологічних наук, доцент, доцент кафедри  
загальнонаукових та інженерних дисциплін Національної академії  
Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький*

**Лілія Михайлівна ТРАСКОВЕЦЬКА,**  
*кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри  
загальнонаукових та інженерних дисциплін Національної академії  
Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького,  
м. Хмельницький*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО- ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ “ГАРТ-1” НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

У роботі наведено особливості дослідження функціонування інформаційно-телекомунікаційної системи (ІТС) Державної прикордонної служби України “Гарт-1”, а також описано науково-методичний

© Боровик О. В., Боровик Л. В., Трасковецька Л. М.

*характер задачі моделювання функціонування ІТС на основі застосування методів імітаційного моделювання.*

**Ключові слова:** *інформаційно-телекомунікаційна система, імітаційне моделювання, автоматизоване робоче місце, ефективність, метод.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Активізація проти-правної діяльності на державному кордоні, значна віддаленість органів і підрозділів Державної прикордонної служби України (ДПСУ), їх маневреність, комплексне застосування різнорідних сил і засобів, широке залучення до охорони кордону місцевого населення, різка зміна обстановки висувають високі вимоги до оперативності управління та зумовлюють необхідність удосконалення системи забезпечення безпеки на державному кордоні України. З цією метою в Адміністрації Державної прикордонної служби України створено центральне сховище даних, в органах та підрозділах кордону розгортаються інформаційно-телекомунікаційні системи (ІТС) та комплекси різного призначення; забезпечується обмін інформацією між ними та центральним сховищем даних, віддалений доступ до нього посадових осіб органів, підрозділів охорони кордону та персоналу прикордонних нарядів; запроваджуються сучасні засоби перевірки (у тому числі і біометричної) осіб, паспортних документів, визначення “ризиків”, аналіз міграційних потоків, дієва взаємодія між різнорідними силами та засобами охорони кордону, іншими правоохоронними органами. Отже, розвиток телекомунікаційних мереж та інформаційних систем у ДПСУ на сьогодні є об’єктивною потребою, яка реалізується з урахуванням світової тенденції побудови та інтеграції мереж, засобів і послуг зв’язку.

Інформаційно-телекомунікаційна система прикордонного контролю “Гарт-1” функціонує в складі автоматизованої системи підтримки прийняття рішень ДПСУ та призначена для скорочення часу на перевірку осіб і їх паспортних документів у пункті пропуску, а також для підвищення якості прикордонного контролю. Досвід діяльності ДПСУ визначає необхідність дослідження характеристик (значень показників) ефективності функціонування цієї ІТС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори.** Окремим питанням, що стосуються складу, ТТХ і характеристик ефективності програмно-технічних комплексів підрозділів охорони кордону, загалом, приділена увага в роботі [1]. Однак у цій роботі поза увагою залишилися питання оцінки значень показників ефективності функціонування ІТС “Гарт-1”. Оскільки ж аналіз цих питань має безпосереднє відношення до питань забезпечення достатньої ефективності прикордонного контролю, то актуальності набуває завдання дослідження характеристик ефективності ІТС “Гарт-1”.

**Мета статті** – розв’язання сформульованого вище завдання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Особливості функціонування ІТС “Гарт-1”, що пов’язані з випадковим характером процесів, які протікають у пункті пропуску, де здійснюється прикордонний контроль, як у системі масового обслуговування [2–3], дозволяють зробити висновок про доцільність застосування методів імітаційного моделювання для розв’язання сформульованого вище завдання [4–7].

Метод імітаційного моделювання є одним із методів дослідження складних систем, який дозволяє імітувати роботу реальної системи, тобто відтворювати процес функціонування реальної системи в часі. Будь-яка система є сукупністю взаємозв’язаних елементів, а отже, побудова адекватної імітаційної моделі передбачає імітацію процесу функціонування кожного окремого елемента системи з обов’язковим збереженням логіки і правил взаємодії та розвитку складових як у часі, так і в просторі. При дослідженні систем із стохастичним характером функціонування (ІТС є системами такого типу) результати, отримані при одиничному “прогоні” імітаційної моделі, носять частковий характер. Тому для того щоб знайти одну оцінку (одне значення) якої-небудь характеристики функціонування системи, необхідно багато разів “прогнати” імітаційну модель і отримати достатньо велику кількість результатів, які потребують подальшої статистичної обробки. Вказане обумовлює необхідність використання засобів обчислювальної техніки. При цьому декілька годин, діб, років роботи реальної системи моделюється за декілька секунд, хвилин, годин роботи комп’ютера.

У загальному випадку як показники ефективності використання ІТС та якості обслуговування ІТС замовлень приймаються: абсолютна та відносна пропускна спроможність ІТС; середня тривалість зайнятості ІТС; коефіцієнт використання ІТС; середнє число працюючих автоматизованих робочих місць (АРМ) в ІТС; імовірність простою ІТС; імовірність відмови в обслуговуванні; середній час перебування заявки в черзі; середній час перебування заявки в ІТС; імовірність відмови запиту в обслуговуванні без очікування; імовірність того, що запит, який заново поступив у систему, негайно буде прийнятий на обслуговування; середнє число запитів, які знаходяться в черзі.

Розглянемо модель функціонування ІТС, яка складається з двох паралельно працюючих АРМ. Особливістю функціонування системи є те, що АРМ можуть виходити з ладу, а отже, запити, що надходять в систему, отримуватимуть відмову в обслуговуванні. У системі під час роботи може виникати черга, обмежень на довжину черги немає. Усі стохастичні параметри системи підпорядковуються рівномірному закону розподілу.

Для дослідження функціонування ІТС визначається пропускна спроможність ІТС, середнє число працюючих АРМ, імовірність простою ІТС та ймовірність відмови в обслуговуванні.

Розроблення цієї моделі передбачає аналіз алгоритму роботи ІТС, відповідної програми, опрацьованої на мові С#, приведених операційних характеристик ІТС, загалом, і кожного АРМ, зокрема.

Структурна модель досліджуваної ІТС наведена на рис. 1.

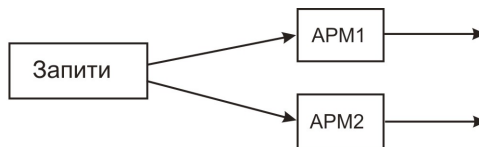
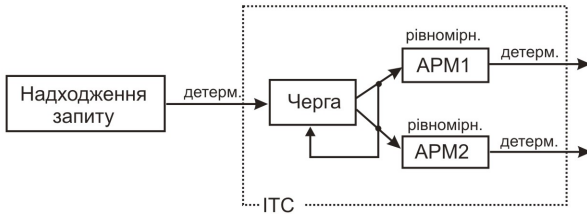


Рис. 1. Структурна модель досліджуваної ІТС

Структурна модель показує, з яких компонентів складається система і які зв'язки існують між ними.

Функціональна модель досліджуваної ІТС може бути оцінена з рис. 2.



**Рис. 2.** Функціональна модель досліджуваної ІТС

Функціональна модель є формальним описом системи і відображає тільки основні закономірності системи, які цікавлять дослідника.

Вважатимемо, що проміжки часу, через які надходять запити, та проміжки часу їх обслуговування є детермінованими величинами. Стохастичними є лише терміни функціонування та ремонту АРМ.

Запити, яким відмовлено в обслуговуванні у зв'язку з втратою функціональності обслуговуючих АРМ, поміщаються у загальну чергу з абсолютним пріоритетом. Після відновлення функціональності АРМ вони обслуговуватимуться першими.

Неперервний час роботи ІТС в імітаційній моделі замінимо послідовністю дискретних моментів з частотою дискретизації 1 хв.

Моделювання роботи ІТС передбачає врахування зміни подій. У дискретні моменти часу відбуваються такі події:

надходження запиту в ІТС;

постановка запиту в загальну чергу;

передача запиту на обслуговування в канал обслуговування (АРМ);

завершення обслуговування запиту каналом обслуговування (АРМ);

відмова каналу обслуговування;

відновлення каналу обслуговування.

Принципова схема роботи імітаційної моделі зображена на рис. 3.

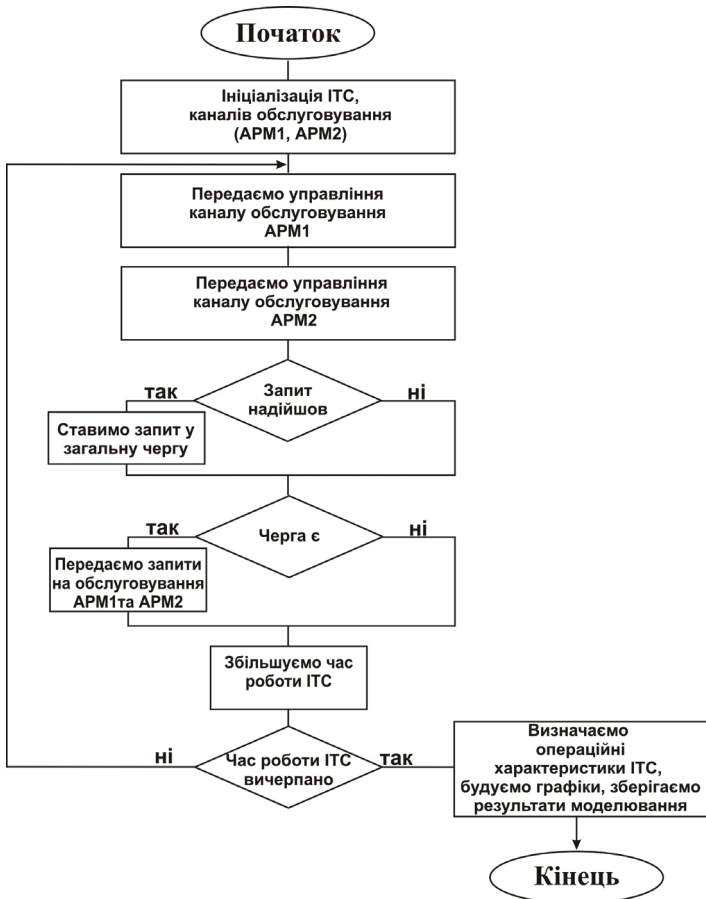


Рис 3. Блок-схема роботи імітаційної моделі ІТС

Блок-схема управління окремим каналом обслуговування зображена на рис. 4.

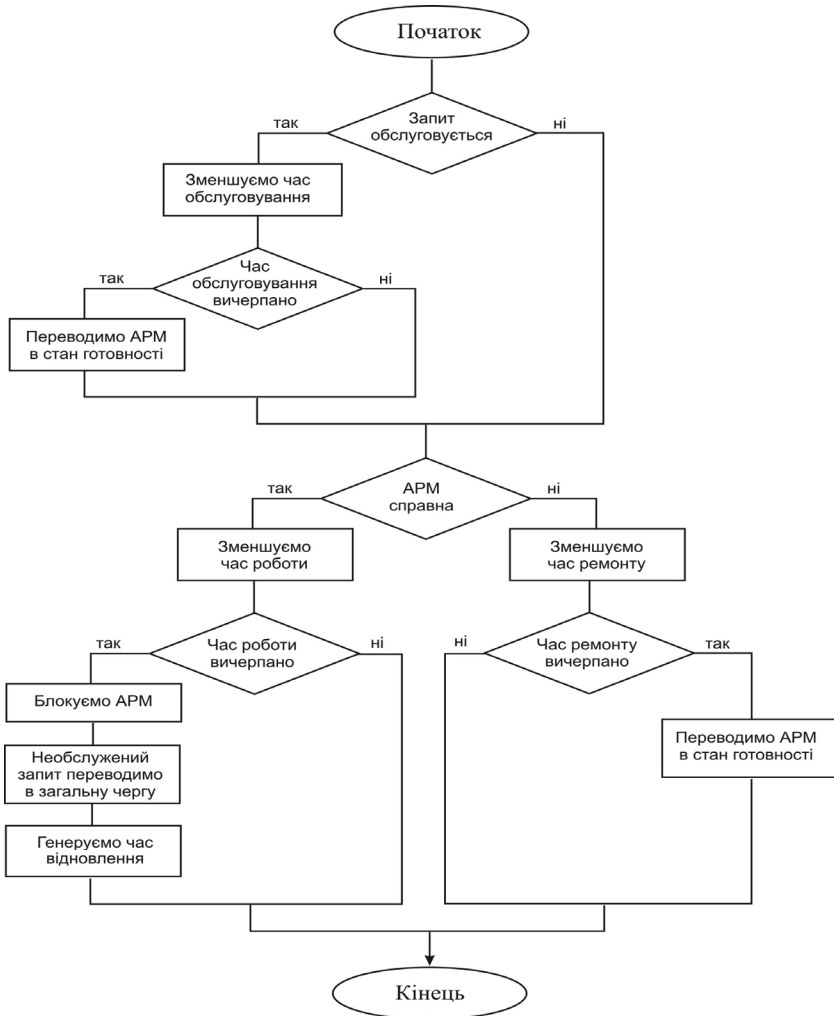


Рис 4. Блок-схема управління каналом обслуговування ІТС

Фрагмент програмного коду управління каналом обслуговування наведений нижче.

```

// Процедура управління каналом обслуговування (АРМ)
procedure Manage АРМ (var АРМ:ТЕОМ);
begin
  // Якщо АРМ обслуговувала запит
  if АРМ.TimeService>0 then
    begin
      Dec(АРМ.TimeService);
      if АРМ.TimeService=0 then
        begin
          Inc(SMO.ServiceQuery);
          АРМ.State := True; // АРМ готова обслуговувати наступий
запит
          Form1.Memo1.Lines.Add('Час: '+IntToStr(CurTime)+'; Подія: '
            + АРМ.Name+' завершила обслуговування запиту');
        end;
      end;
    // Перевіряємо стан готовності АРМ
    if АРМ.TimeWorking >0 then // якщо АРМ працює
      begin
        Dec(АРМ.TimeWorking);
        if АРМ.TimeWorking =0 then
          begin
            АРМ.State:=False; // блокуємо надходження нових запитів
            Form1.Memo1.Lines.Add('Час: '+IntToStr(CurTime)+'; Подія: '
              + АРМ.Name+' вийшла з ладу');
            // якщо в цей момент обл. запит, то переміщуємо його в
заг. чергу
            if АРМ.TimeService >0 then
              begin
                АРМ.TimeService:=0;
                Inc(SMO.LengthTurn);
                Form1.Memo1.Lines.Add('Час: '+IntToStr(CurTime)
                  +'; Подія: ІТС поставила необслужений
'+ АРМ.Name

```



```

+ ' запит в чергу, запитів у черзі - '
+ IntToStr(SMO.LengthTurn));
end;
// генеруємо час відновлення АРМ
АРМ.TimeRestoring := GenerateTime(АРМ.AvgTimeRestoring,
АРМ.DifTimeRestoring);
Form1.Memo1.Lines.Add('Час: '+IntToStr(CurTime)+'; Подія: '+
АРМ.Name+' поставлена на ремонт, тривалість ремонту '+
+IntToStr(АРМ.TimeRestoring)+' хв');
end;

```

Проходження запитів по ІТС відслідковується за допомогою монітора подій. Для кожної події реєструється час та джерело виникнення, результати протокуються із можливістю збереження у файлі. Після завершення моделювання на моніторі відображаються обчислені характеристики ІТС.

Головні вікна програми, які демонструють роботу імітаційної моделі та результати цієї роботи, зображені на рис. 5, 6.

Застосування описаної імітаційної моделі можна оцінити з результатів проведення окремих експериментів, що наведені нижче.

#### **Дослід 1.**

##### **Параметри моделювання роботи ІТС:**

середній час безвідмовної роботи АРМ –  $600 \pm 180$  хв;

середній час відновлення –  $120 \pm 60$  хв.

Результати моделювання:

час роботи АРМ1: 75,08 %;

час ремонту АРМ1: 17,42 %;

час простою АРМ1: 7,50 %;

час роботи АРМ2: 80,33 %;

час ремонту АРМ2: 11,67 %;

час простою АРМ2: 8,00 %.

Кількість запитів, що надійшла в ІТС: 480.

Кількість запитів, обслужених ІТС: 463.

Середня довжина черги: 6,11.

Середня тривалість перебування запиту в ІТС: 10,37 хв.

Середня тривалість перебування запиту в черзі: 2,37 хв.

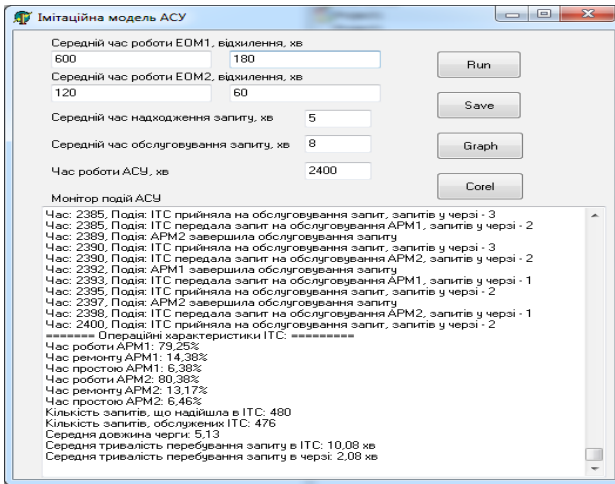


Рис. 5. Головне вікно програми у режимі розрахунку

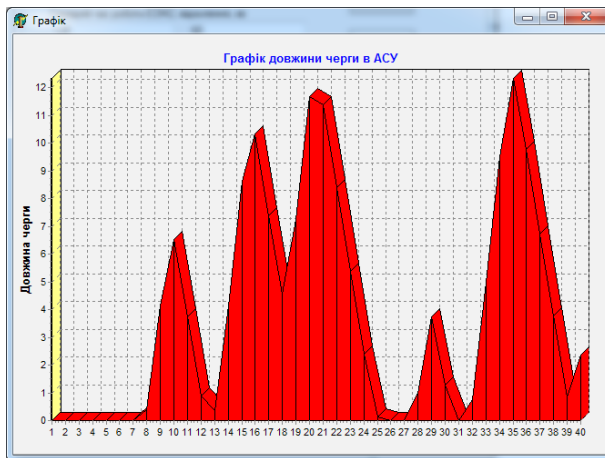


Рис. 6. Вікно програми у режимі побудови графіка

Результати моделювання для досліджу 1 подано на рис. 7.

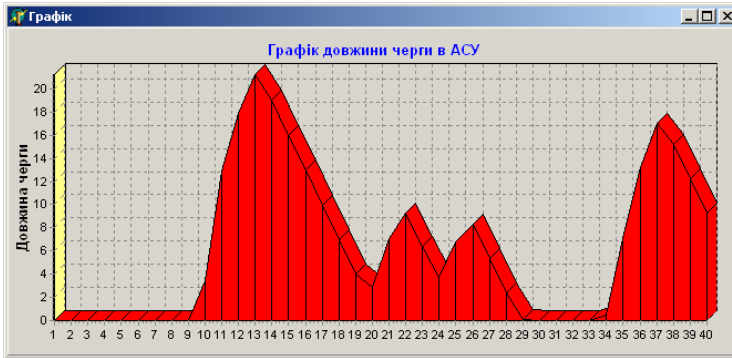


Рис. 7. Результати моделювання для досліду 1

Перший і найвищий пік на графіку припадає на одночасну відмову двох АРМ, черга на 13-ту годину моделювання зростає до 20 запитів. Другий і третій піки припадають на 22-гу та 26-ту години роботи ІТС на моменти відмов одного з АРМ. Четвертий пік припадає на період відмови двох АРМ.

Висновки з моделювання.

Одночасна відмова двох АРМ є критичною. Тому необхідно збільшити час безвідмовної роботи та скоротити термін ремонту.

#### Дослід 2.

#### Параметри моделювання роботи ІТС:

середній час безвідмовної роботи АРМ збільшений на 10 % і складає  $660 \pm 180$  хв;

середній час відновлення –  $120 \pm 60$  хв.

Результати моделювання:

час роботи арм1: 79,50 %;

час ремонту арм1: 14,67 %;

час простою арм1: 5,83 %;

час роботи арм2: 74,92 %;

час ремонту арм2: 19,13 %;

час простою арм2: 5,96 %.

Кількість запитів, що надійшла в ІТС: 480.

Кількість запитів, обслужених ІТС: 460.

Середня довжина черги: 9,94.

Середня тривалість перебування запиту в ІТС: 10,43 хв.

Середня тривалість перебування запиту в черзі: 2,43 хв.

Результати моделювання для дослідю 2 подано на рис. 8.

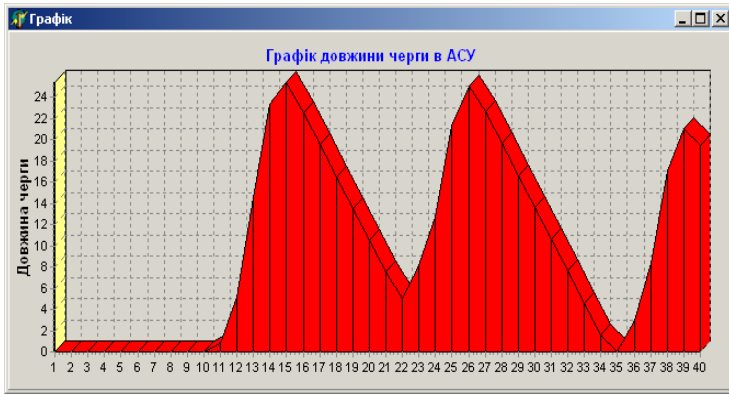


Рис. 8. Результати моделювання для дослідю 2

Висновки з моделювання.

Графік довжини черги має три піки, які припадають на момент відмови двох ЕОМ одночасно.

### Дослід 3.

#### Параметри моделювання роботи ІТС:

середній час безвідмовної роботи –  $600 \pm 180$  хв;

середній час відновлення зменшений на 10 % і складає  $108 \pm 50$  хв.

Результати моделювання:

час роботи АРМ1: 75,50 %;

час ремонту АРМ1: 14,25 %;

час простою АРМ1: 10,25 %;

час роботи АРМ2: 79,00 %;

час ремонту АРМ2: 10,29 %;

час простою АРМ2: 10,71 %.

Кількість запитів, що надійшла в ІТС: 480.

Кількість запитів, обслужених ІТС: 460.

Середня довжина черги: 4,11.

Середня тривалість перебування запиту в ІТС: 10,43 хв.

Середня тривалість перебування запиту в черзі: 2,43 хв.

Результати моделювання для досліді 3 подано на рис. 9.

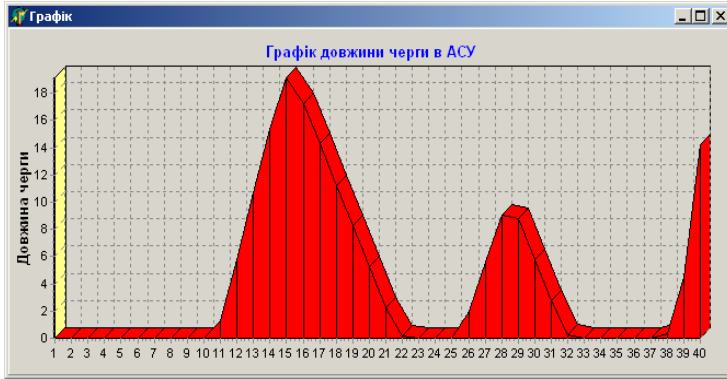


Рис. 9. Результати моделювання для досліді 3

Висновки з моделювання.

Графік довжини черги має три піки: на перший припадає відмова обох АРМ, на другий і третій – відмова одного АРМ.

#### Дослід 4.

##### Параметри моделювання роботи ІТС:

середній час безвідмовної роботи збільшений на 10 % і складає  $660 \pm 180$  хв;

середній час відновлення зменшений на 10 % і складає  $108 \pm 50$  хв.

Результати моделювання:

час роботи АРМ1: 78,96 %;

час ремонту АРМ1: 14,96 %;

час простою АРМ1: 6,08 %;

час роботи АРМ2: 79,83 %;

час ремонту АРМ2: 13,83 %;

час простою АРМ2: 6,33 %.

Кількість запитів, що надійшла в ІТС: 480.

Кількість запитів, обслужених ІТС: 472.

Середня довжина черги: 6,86.

Середня тривалість перебування запиту в ІТС: 10,17 хв.

Середня тривалість перебування запиту в черзі: 2,17 хв.

Результати моделювання для дослідю 4 подано на рис. 10.

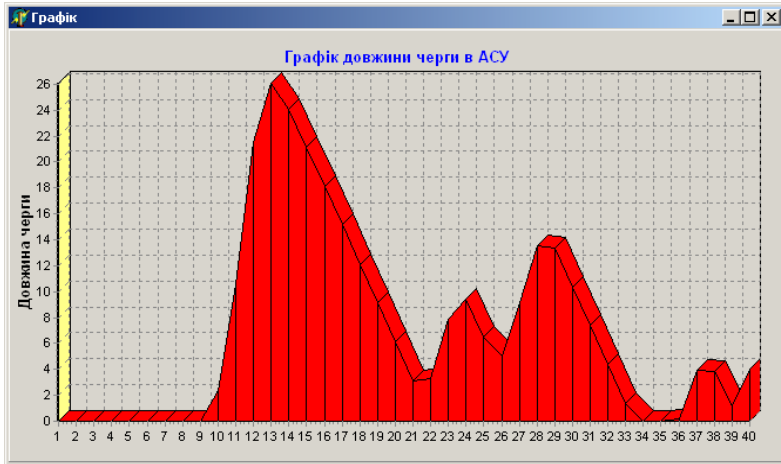


Рис. 10. Результати моделювання для дослідю 4

Висновки з моделювання.

Критичний пік 12–18 години припадає на одночасну відмову обох АРМ. Незначне покращення характеристик ІТС не дає значного ефекту, необхідна реконструкція ІТС, зокрема збільшення каналів обслуговування (АРМ).

**Висновки.** Наведена імітаційна модель дозволяє моделювати роботу ІТС прикордонного контролю “Гарт-1” з двома АРМ, а також проводити аналіз характеристик функціонування ІТС. Опрацьована модель може бути використана під час аналізу характеристик ефективності функціонування ІТС “Гарт-1” у Національній академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького під час викладання дисципліни “Моделювання оперативно-службової діяльності” слухачам факультету підготовки керівних кадрів.

**Перспективи подальших розвідок у даному напрямку** вбачаються в розробці алгоритму функціонування ІТС, яка складається з довільної кількості паралельно працюючих АРМ, та його програмній реалізації.

### Список використаної літератури

1. Програмно-технічні комплекси підрозділів охорони кордону : навчальний посібник // І. С. Катеринчук, Д. А. Мул, Р. В. Рачок та ін. – Хмельницький : Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького, 2009 – 270 с.
2. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М., 1987.
3. Кениг Д. Методы теории массового обслуживания / Д. Кениг, Д. Штойян; пер. с нем. ; под. ред. Г. П. Климова. – М., 1981.
4. Томашевський В. М. Моделювання систем / В. М. Томашевський. – К.: Видавнича група ВНУ, 2005. – 352 с.
5. Кравець І. О. Імітаційне моделювання : навч. посіб. / І. О. Кравець. – Миколаїв : Видавництво ім. Петра Могили, 2010. – 108 с.
6. Емельянов А. А. Имитационное моделирование в экономических информационных системах / А. А. Емельянов, Е. А. Власова. – М. : МЭСИ, 1996. – 108 с.
7. Максимей И. В. Имитационное моделирование на ЭВМ / И. В. Максимей. – М. : Радио и связь, 1988. – 232 с.

*Стаття надійшла до редакції 18.02.2015.*

**Боровик О. В., Боровик Л. В., Трасковецкая Л. М. Исследование характеристик эффективности функционирования информационно-телекоммуникационной системы “Гарт-1” на основании использования методов имитационного моделирования**

В работе приведены особенности исследования функционирования информационно-телекоммуникационной системы (ИТС) Государственной пограничной службы Украины “Гарт-1”, а также описан научно-методический характер задачи моделирования функциониро-

вання ІТС на основаниі применения методов имитационного моделирования.

**Ключевые слова:** *информационно-телекоммуникационная система имитационное моделирование, автоматизированное рабочее место, эффективность, метод.*

*Borovik O.V., Borovik L.V., Traskovetska L. M.* **Research performance efficiency of information and telecommunication systems “Hart-1” on the basis of simulation modeling methods**

Activation of illegal activities at the state border, much of remoteness and units of the State Border Guard Service of Ukraine (SBGS), their flexibility, comprehensive application of heterogeneous capabilities, extensive involvement of the local population of the border, a sharp change of scenery make high demands on speed control and induced improving the security system at the state border of Ukraine. To this end, the State Border Guard Service of Ukraine created a central data storage in organs and units deployed border information and telecommunication systems (ITS) and systems for various applications; provided the exchange of information between them and the central data warehouse, etc. The development of telecommunications networks and information systems in SBS today is an objective necessity, which is implemented based on global trends in the construction and integration of networks, facilities and services.

Information and telecommunications system of border control “Hart-1” functions as part of an automated decision support system that border and is designed to reduce the time to check people and their passport documents at crossings and to improve the quality of border control. The experience of SBS determines the need to study characteristics (values of) the effectiveness of the operation of ITS.

In this paper the features of ITS research functioning of the State Border Guard Service of Ukraine “Hart-1” and describes the scientific and methodical nature of the problem of modeling the operation of ITS by applying methods of simulation.

**Keywords:** *information and telecommunication systems, simulation, workstation, efficiency, method.*