

## ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПОНЕНТ

*У статті обґрунтована структура та проаналізовано функціональні особливості програмно-алгоритмічного забезпечення удосконалення системи оптико-електронного спостереження за рахунок оптимізації функціональних компонент.*

*Опрацьований програмний додаток реалізує алгоритм відшукування оптимальних характеристик системи масового обслуговування, в якій протікає марковський випадковий процес з дискретними станами та неперервним часом. У результаті розробки отримано інформаційну систему автоматизації процедури задання можливих діапазонів зміни для густин ймовірностей переходів, ефективностей станів системи, можливих кроків їх зміни, задання функціональних залежностей значень густин ймовірностей переходів і ефективностей станів від вартості їх реалізації, задання гранично допустимого значення ефективності системи, реалізації функції оптимізації ефективності системи за зміною густин ймовірностей переходів, або за зміною ефективностей станів, або за реалізацією нових переходів між станами системи.*

*Отримані результати дають можливість автоматизувати процес удосконалення системи оптико-електронного спостереження за рахунок оптимізації функціональних компонент.*

*Ключові слова: інформаційна система, система оптико-електронного спостереження, система масового обслуговування, оптимізація, функціональні компоненти.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** На даний момент для ДПСУ достатньо актуальним є завдання підвищення ефективності реалізації державної політики у сфері безпеки державного кордону. Це пояснюється складним і динамічним безпековим середовищем довкола України, а також зовнішніми викликами, що пов'язані з реалізацією зобов'язань в рамках виконання Плану дій щодо лібералізації Європейським Союзом візового режиму для України та імплементацією Порядку денного асоціації між Україною та Європейським Союзом [1]. Вирішення цього завдання, зокрема, пов'язане з проведенням подальших наукових досліджень у сфері безпеки державного кордону, модернізацією системи охорони державного кордону з урахуванням сучасних викликів і загроз, забезпеченням розвитку її інформаційної, оперативної, технічної та фізичної складових, створенням суцільної зони спостереження на морській ділянці державного кордону, впровадженням сучасних засобів здійснення контролю, спостереження та інформаційних технологій [1, 2].

Однією з важливих складових системи інженерно-технічного контролю державного кордону, удосконалення якої визначене пріоритетним документами [1, 2], є система оптико-електронного спостереження (СОЕС). А отже, можливість вирішення сформульованого вище завдання залежить від можливості підвищення ефективності СОЕС. Саме тому цьому питанню була приділена увага в праці [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори.** Визначений у [3] підхід щодо підвищення ефективності СОЕС через удосконалення її системи експлуатації обумовив проведення досліджень стосовно пошуку можливих шляхів такого удосконалення. Останні були окреслені в роботі [4]. А детальне дослідження одного з них, який базується на оптимізації функціональної компоненти, було проведене в роботі [5]. У цій роботі була здійснена постановка задач оптимізації характеристик системи масового обслуговування (СМО), запропоновано алгоритм, який може застосовуватись для їх розв'язування, а також на основі аналізу математичних методів, які реалізують окремі кроки алгоритму, обґрунтовано

висновок про доцільність створення спеціалізованої інформаційної системи, що дозволяла б здійснювати оптимізацію характеристик СМО, загалом, і СОЕС, зокрема..

**Мета статті.** З урахуванням цього, метою даної роботи є дослідження можливості програмно-алгоритмічної реалізації розв'язання задачі удосконалення СОЕС за рахунок оптимізації функціональних компонент.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для досягнення мети вбачається за доцільне:

- здійснити аналіз наявного програмно-технічного забезпечення;
- визначити структуру інформаційної системи;
- встановити структуру модулів системи;
- оцінити можливий варіант реалізації додатку.

Аналіз наявного програмно-технічного забезпечення.

Спеціалізованих програм для аналізу характеристик СМО, не кажучи вже про їх оптимізацію, виявити не вдалося. Замість спеціалізованих програм можливим видається використання спеціальних математичних пакетів програм, які можуть дозволити вирішити поставлені задачі окремо. Після вирішення задач необхідним є об'єднання отриманих результатів і їх аналіз в єдиному комплексі. Найпопулярнішими серед таких програм є: MatLab; MathCad; Maple; Mathematica.

Перевагами вказаних програм є наявність у них потужного математично-алгоритмічного апарату. До суттєвих недоліків цих програм можна віднести те, що їх розповсюдження здійснюється за комерційними ліцензіями, а вартості програм є достатньо значними. Також недоліком програм є їх відносна складність. Однак найголовнішим і найсуттєвішим недоліком є те, що розв'язування досліджуваної задачі неможливе в інтегрованому вигляді. А отже, розв'язування складних задач слід "дробити", після чого синтезувати загальний результат та інтерпретувати його.

Наведене аргументує доцільність створення спеціалізованої інформаційної системи, яка б дозволяла розв'язувати сформульовану задачу.

Розробка структури інформаційної системи.

При цьому слід врахувати, що новий програмний продукт повинен мати наступні можливості:

– задання розміченого графа станів для СМО, в якій протікає марковський випадковий процес з дискретними станами та неперервним часом, а також ймовірностей станів у початковий момент часу та ефективностей кожного стану;

– побудову системи рівнянь Колмогорова та її розв'язування з візуалізацією результатів;

– перевірку існування фінальних ймовірностей станів і їх пошук, а також знаходження ефективності СМО;

– задання можливих діапазонів зміни для густин ймовірностей переходів  $\lambda_{ij}^* \in [\lambda_{ij}^{\min}; \lambda_{ij}^{\max}]$ , а також можливих діапазонів для ефективностей станів СМО  $W_i^* \in [W_i^{\min}; W_i^{\max}]$  і можливих кроків їх зміни;

– задання функціональних залежностей значень густин ймовірностей переходів і ефективностей станів від вартості їх реалізації;

– задання гранично допустимого значення ефективності  $W_{\text{задане}}$  СМО;

– реалізацію функції оптимізації ефективності СМО за зміною густин ймовірностей переходів  $\lambda_{ij}^* \in [\lambda_{ij}^{\min}; \lambda_{ij}^{\max}]$ , або за зміною ефективностей станів СМО  $W_i^* \in [W_i^{\min}; W_i^{\max}]$ , або за реалізацією нових переходів між станами СМО.

Також система повинна мати простий і зрозумілий графічний інтерфейс, можливість введення початкових даних у декількох варіантах, можливість автономного вирішення окремих завдань визначеної задачі.

Для визначення оптимальної структури інформаційної системи слід врахувати постановку задачі. З її урахуванням, а також з урахуванням можливостей програмного продукту, що наведені вище, можна зробити висновок, що найдоцільнішою архітектурою програмного продукту буде архітектура незалежних компонентів, що керовані подіями. Дана архітектура буде найдоцільнішою, оскільки додаток не буде використовувати бази даних, отримуватиме всю інформацію з одного джерела, буде настільним додатком і головним джерелом інформації та виникнення подій буде користувач і його дії.

В якості шаблону проектування доцільно прийняти шаблон «Модель-Контролер-Представлення», як один з найкращих шаблонів, що дозволяють розділити візуальну частину, дані та бізнес-логіку [6].

Для визначення модулів, з яких має складатися програмний продукт, необхідно провести декомпозицію, наприклад, на основі використання концепції «чорної скриньки». Базові вимоги до програми зображені на рис. 1

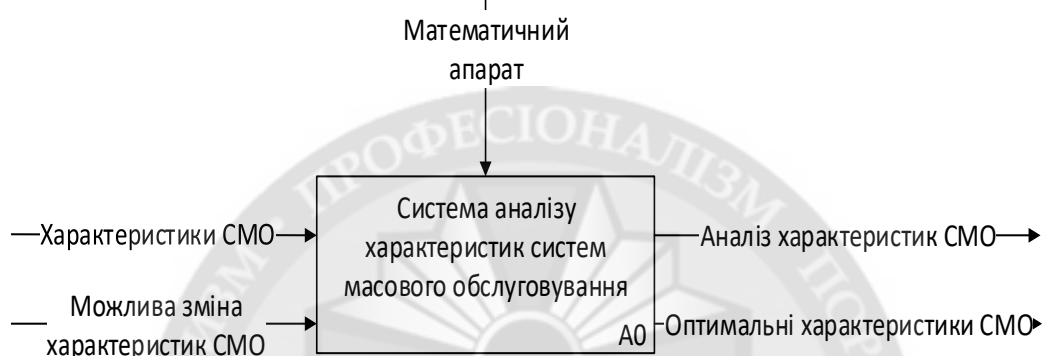


Рис. 1. Перший рівень декомпозиції

З базових вимог можна зробити висновок, що необхідними є наступні модулі: введення початкових даних; загальний аналіз характеристик; аналіз окремих характеристик; визначення оптимальних характеристик; математична бібліотека.

#### Розробка структури модулів системи.

##### Модуль «Введення початкових даних».

Згідно окреслених завдань програмний продукт повинен мати декілька варіантів введення початкових даних. Після проведення аналізу математично-алгоритмічного апарату можна зробити висновок, що доцільним є введення початкових даних у наступних форматах: за допомогою розміченого графа станів; за допомогою матриці ваг, за допомогою системи рівнянь Колмогорова. При цьому, незалежно від обраного методу введення початкові дані будуть приводитись до загального вигляду та обробляться однаково. Логіка роботи даного модуля буде цілком залежати від обраної мови програмування.

##### Модуль «Загальний аналіз характеристик».

Модуль призначений для комплексного аналізу характеристик СМО. Має отримувати інформацію від модуля введення початкових даних і проводити їх аналіз за допомогою математичних алгоритмів, які будуть реалізовані в модулі «Математична бібліотека». Після проведення всіх необхідних обчислень даний модуль має виводити результат.

##### Модуль «Аналіз окремих характеристик».

Модуль призначений для аналізу окремих характеристик системи. Має проводити аналіз обраної характеристики з числа визначених у постановці задачі та виводити результат. Даний модуль виділений в системі окремо для того, щоб існувала можливість аналізу лише одного з аспектів системи. Для визначення окремих характеристик необхідним має бути введення лише тих даних, які необхідні для обчислення даної характеристики. Обчислення ж характеристик має здійснюватися за допомогою алгоритмів, визначених у модулі «Математична бібліотека».

Модуль «Визначення оптимальних характеристик».

Модуль призначений для визначення оптимальних характеристик системи. Для їх встановлення необхідним є введення можливих діапазонів зміни необхідних характеристик і функцій, що визначають їх вартісну залежність. Результатом роботи даного модуля має бути набір оптимальних характеристик системи з заданого діапазону їх зміни, визначених згідно обраного критерію.

Модуль «Математична бібліотека».

Модуль має реалізовувати необхідні математичні алгоритми для вирішення завдань, окреслених у постановці задачі.

Проектування кожного модуля згідно його призначення передбачає встановлення діаграм класів, варіантів використання, послідовності та кооперації для варіанту використання.

Загальна діаграма класів може бути оцінена з рис. 2.

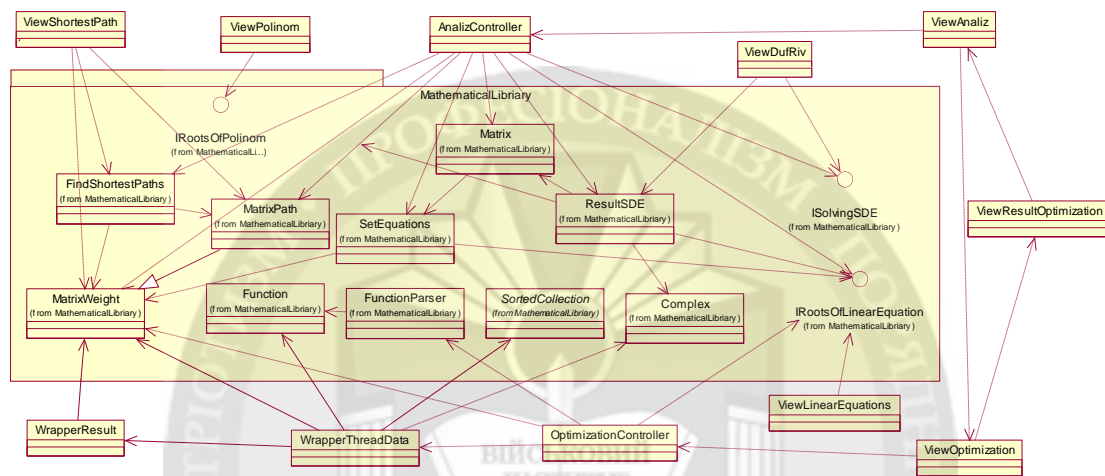


Рис. 2. Загальна діаграма класів

Діаграма варіантів використання згідно сформульованих у роботі задач зображена на рис. 3.

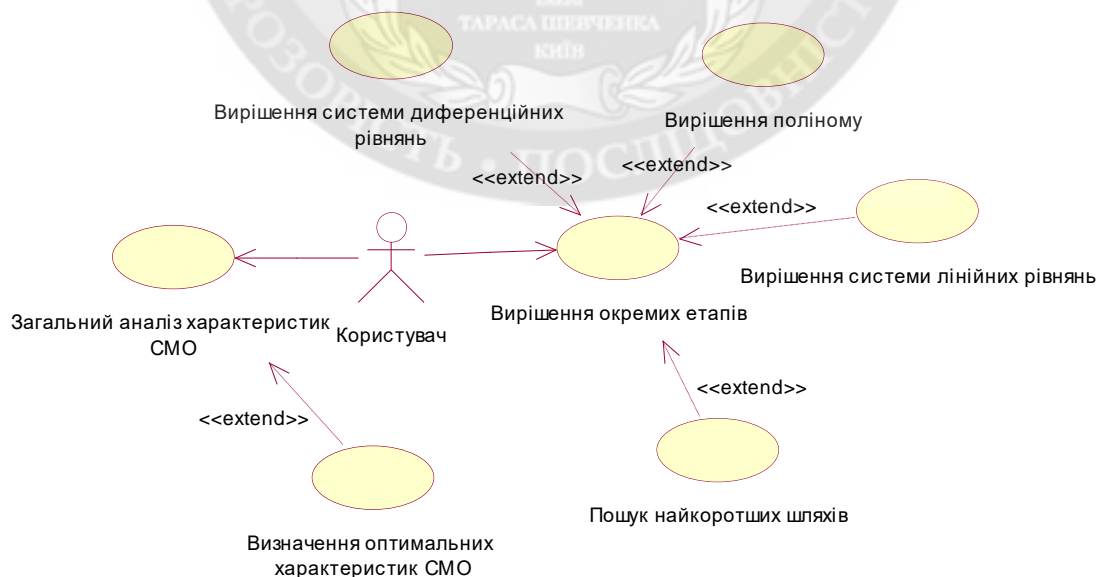


Рис. 3. Діаграма варіантів використання

Призначення кожного з класів, зображених на діаграмах рис. 2, 3, є таким, що реалізується функція відповідного модуля.

Діаграма послідовності та діаграма кооперації для варіанту використання окремих модулів наведені на рис. 4, 5.

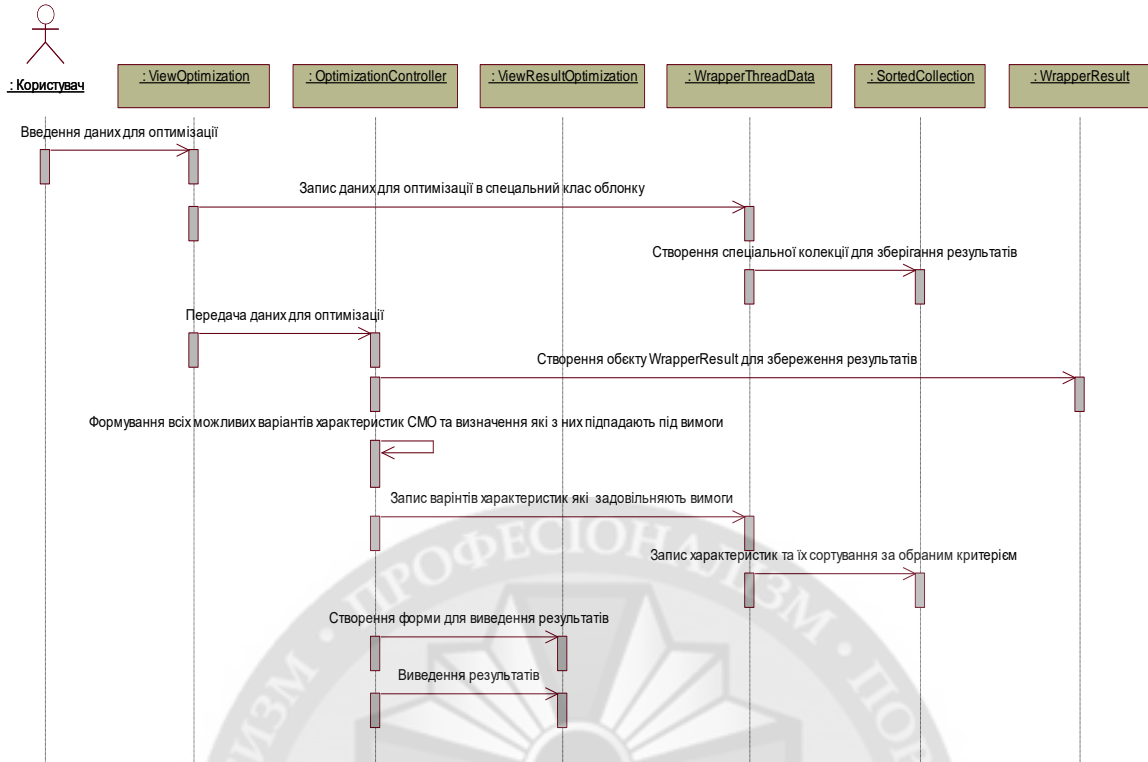


Рис. 4. Діаграма послідовності для варіанту використання «Визначення оптимальних характеристик СМО»



Рис. 5. Діаграма кооперації для варіанту використання «Пошук найкоротших шляхів в орієнтованому графі»

Деталізована діаграма класів модуля «Введення початкових даних» наведена нижче на рис. 6.



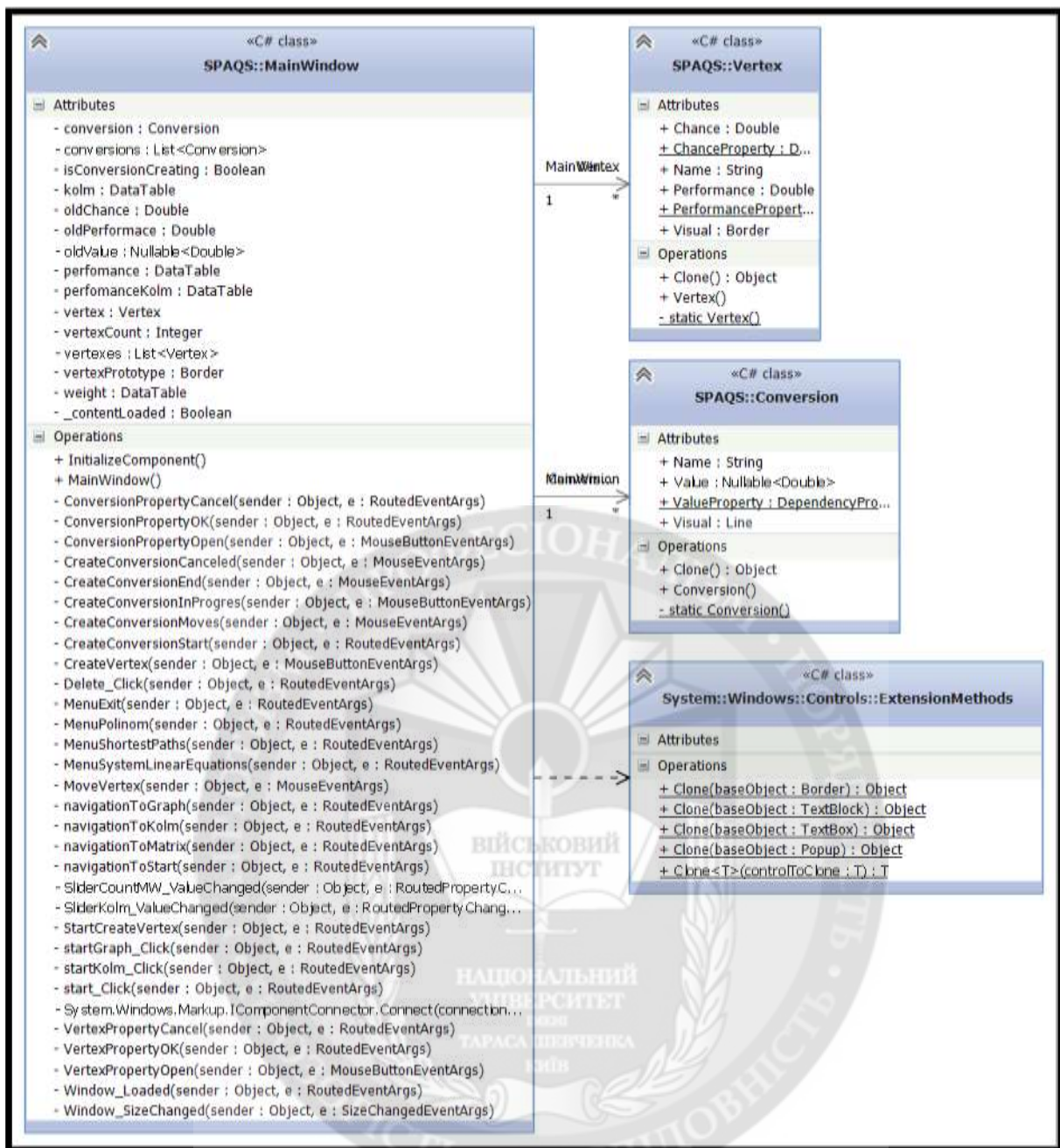


Рис. 6. Деталізована діаграма класів модуля «Введення початкових даних»

Для розробки програмного продукту, структура якого оцінена вище, доцільно застосувати мову програмування C# та технологію WPF (Windows Presentation Foundation). Однією з найбільших переваг WPF є спосіб чіткого відокремлення зовнішнього вигляду від поведінки додатку Windows [7]. Також до переваг даної технології відноситься гнучка система компоновки елементів, що дозволить додатку автоматично підлаштовуватися під різні розширення екрану персональних комп'ютерів без зайвих затрат на кодування. Найголовнішою перевагою технології WPF є використання технології DirectX для відображення будь-яких графічних елементів, що дозволяє більш ефективно використовувати ресурси персонального комп'ютера.

Середовищем розробки інформаційної системи доцільно обрати Microsoft Visual Studio 2013, як одне з найпотужніших середовищ розробки для мови C# та технології WPF [8].

Застосування вибраної мови програмування C# та технології WPF дозволяє реалізувати завдання, що описані вище. Фрагмент такої реалізації, як приклад, відносно класу «SystemLinearEquation» модуля «Математична бібліотека» у вигляді листингу програми

можна оцінити нижче.

```
<Window x:Class="SPAQS.SystemLinearEquation"
  xmlns="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml/presentation"
  xmlns:x="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml"
  Title="Система лінійних рівнянь" Height="300" Width="550"
  MinHeight="300" MinWidth="550">
  <Grid>
    <Grid.RowDefinitions>
      <RowDefinition/>
      <RowDefinition/>
    </Grid.RowDefinitions>
    <Grid.ColumnDefinitions>
      <ColumnDefinition Width="3*"/>
      <ColumnDefinition Width="*/>
    </Grid.ColumnDefinitions>
    <DataGrid Name="DGLeftPart"></DataGrid>
    <DataGrid Name="DGRightPart" Grid.Column="1"></DataGrid>
    <StackPanel Grid.Column="1" Grid.Row="1">
      <TextBlock>Кількість рівнянь</TextBlock>
      <TextBox Name="countEquation"
        TextChanged="count_TextChanged">2</TextBox>
      <TextBlock>Кількість змінних</TextBlock>
      <TextBox Name="countX"
        TextChanged="count_TextChanged">2</TextBox>
      <Button MinHeight="20"
        Click="Button_Click">Розрахувати</Button>
    </StackPanel>
    <RichTextBox Name="RTBresult" Grid.Row="1"></RichTextBox>
  </Grid>
</Window>
```

Оцінка можливого варіанту реалізації додатку.

Результати роботи додатку, що опрацьований авторами та відповідає визначеним вище структурам інформаційної системи і модулів системи, можуть бути оцінені з рис. 8-14. Робота додатку продемонстрована для початкових даних, які наведені нижче на рис. 7 і в табл. 1.

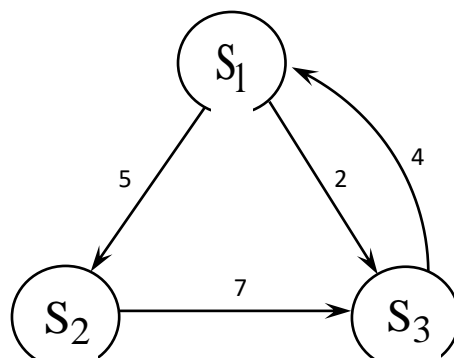


Рис. 7

Таблиця 1

Ймовірності станів у початковий момент часу	$p_{10} = 1, p_{20} = 0, p_{30} = 0$	
Прибуток, який приносить система в одиницю часу, перебуваючи в різних станах (ефективність станів)	$W_1 = 10, W_2 = 20, W_3 = 5$	
Можливі діапазони зміни для густин ймовірностей переходів $\lambda_{ij}^* \in [\lambda_{ij}^{\min}; \lambda_{ij}^{\max}]$ ,	$\lambda_{12}^* \in [3;7], \text{step} \lambda_{12} = 1$ $\lambda_{13}^* \in [1;4], \text{step} \lambda_{13} = 1$ $\lambda_{23}^* \in [5;9], \text{step} \lambda_{23} = 1$ $\lambda_{31}^* \in [2;5], \text{step} \lambda_{31} = 1$	
Можливі діапазони зміни для ефективностей станів СМО $W_i^* \in [W_i^{\min}; W_i^{\max}]$	$W_1^* \in [5;15], \text{step} W_1 = 1$ $W_2^* \in [15;25], \text{step} W_2 = 1$ $W_3^* \in [3;7], \text{step} W_3 = 1$	
Функціональні залежності значень густин ймовірностей переходів $\lambda_{ij}$ від вартості їх реалізації $x$	$\lambda_{12} = x, \lambda_{13} = x, \lambda_{23} = x,$ $\lambda_{31} = x$	
Функціональні залежності значень ефективностей станів $W_i$ від вартості їх реалізації $x$	$W_1 = 2x, W_2 = x, W_3 = 3x$	
Гранично допустиме значення ефективності $W_{\text{задане}}$ СМО	Випадок 1 – $W_{\text{задане}} = 10.$ Випадок 2 – $W_{\text{задане}} = 9.$	

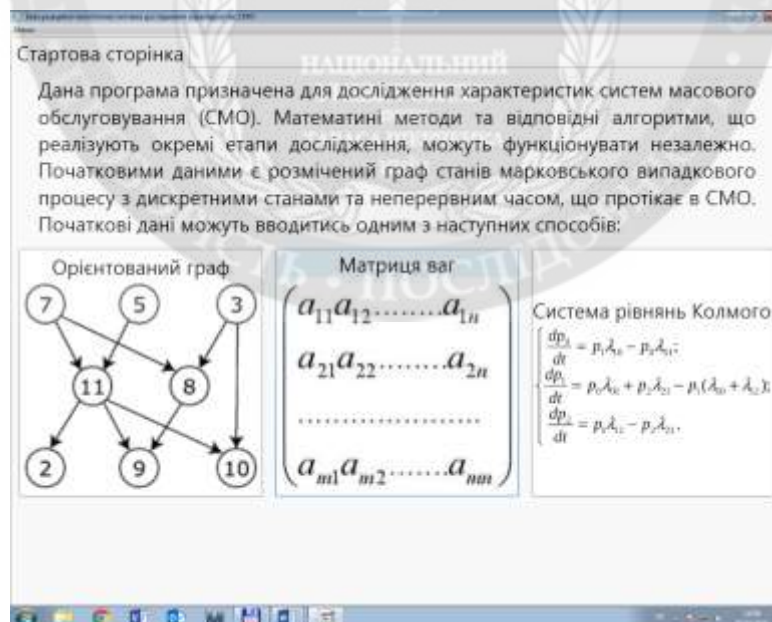


Рис. 8. Стартова сторінка, яка визначає можливість вибору варіанту задання розміченого графа станів для СМО, в якій протікає марковський випадковий процес з дискретними станами та неперервним часом (досліджуваної СМО), а також ймовірностей станів у початковий момент часу та ефективностей кожного стану (з необхідними початковими даними)



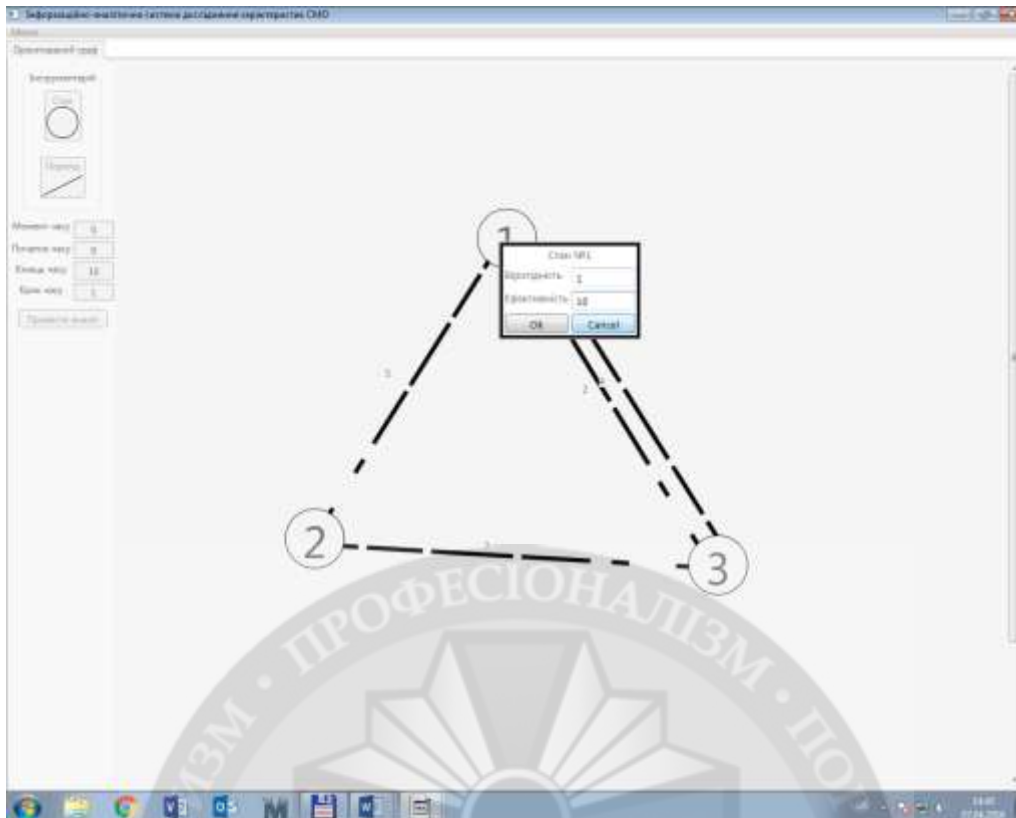


Рис. 9. Варіант задання розміченого графа станів для досліджуваної СМО з необхідними початковими даними на основі застосування орієнтованих графів (перший варіант задання)

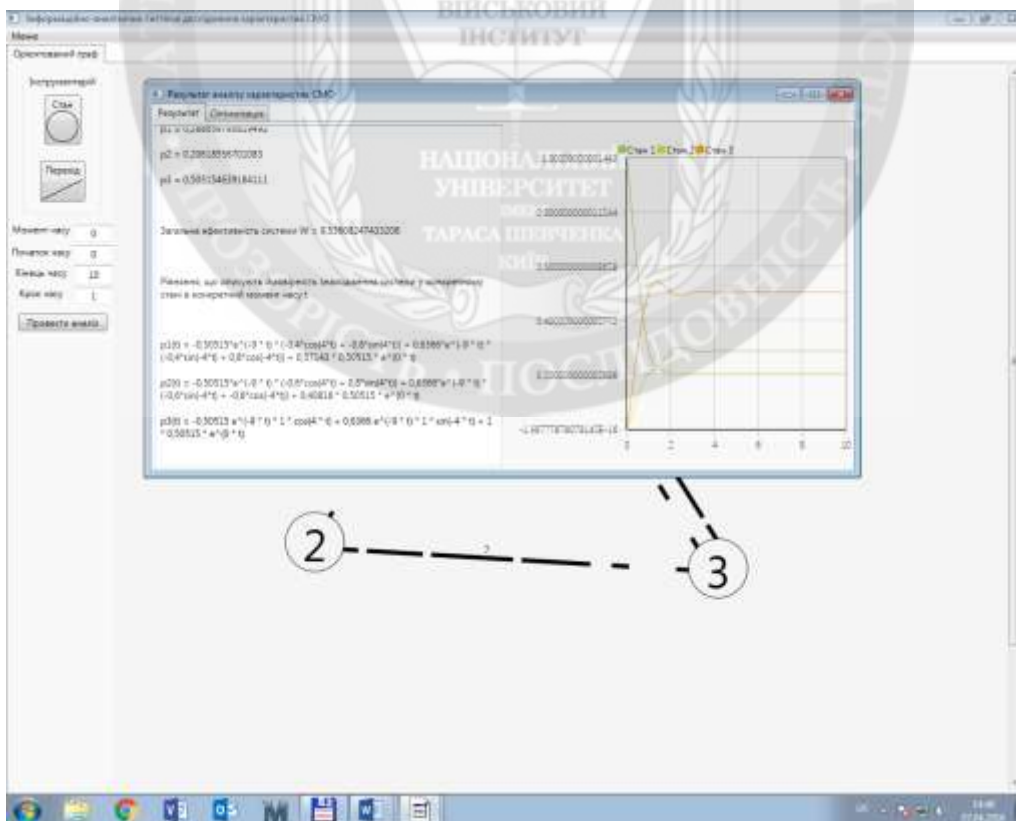


Рис. 10. Результат аналізу характеристик СМО при першому варіанті задання розміченого графа станів для досліджуваної СМО

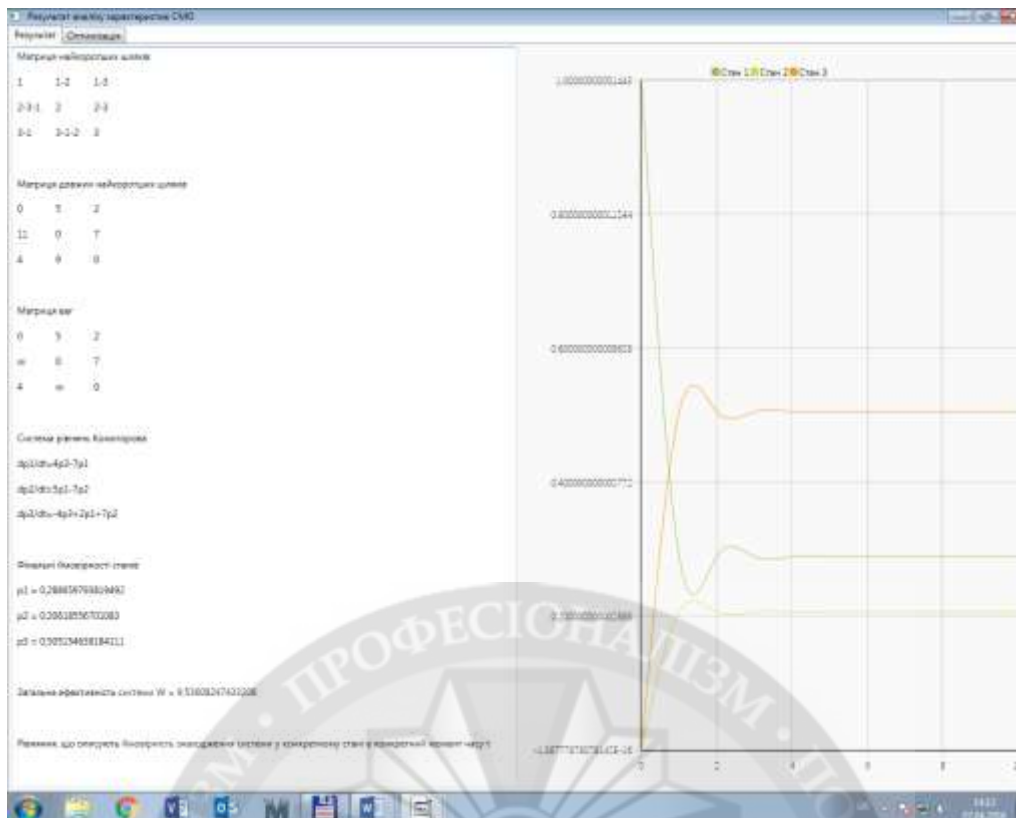


Рис. 11. Розгорнутий результат аналізу характеристик досліджуваної СМО

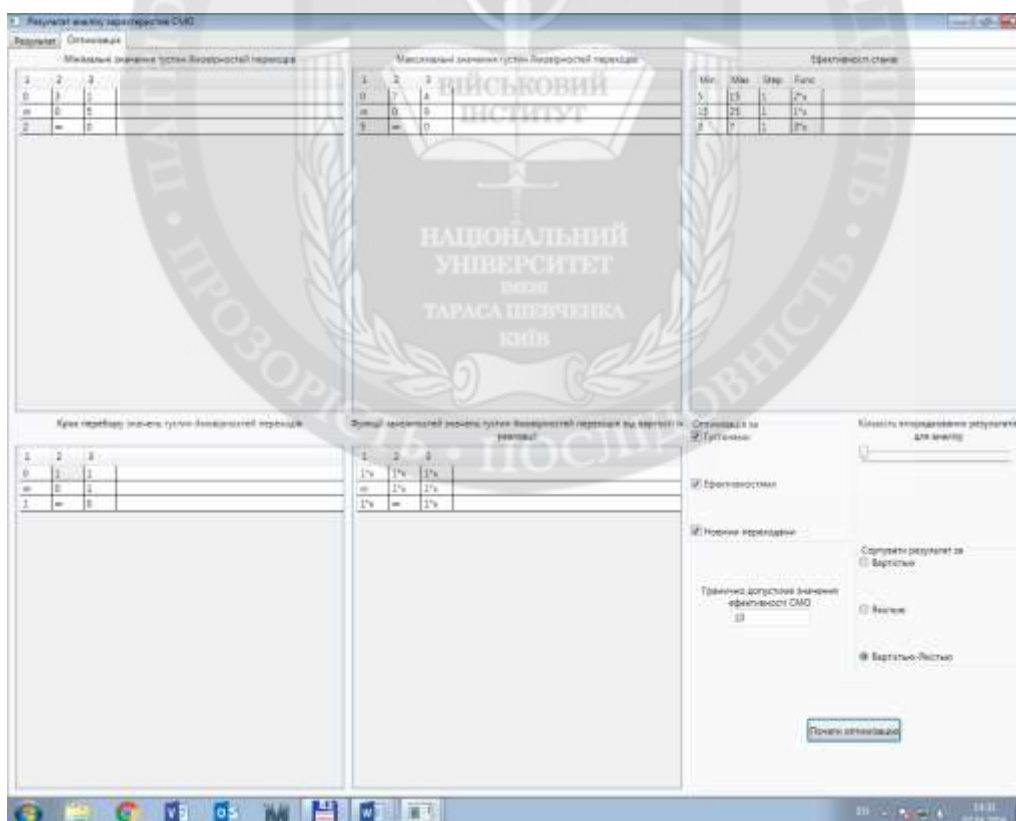


Рис. 12. Задання можливих діапазонів зміни для густин ймовірностей переходів, ефективностей станів СМО, можливих кроків їх зміни, функціональних залежностей значень густин ймовірностей переходів і ефективностей станів від вартості їх реалізації, гранично допустимого значення ефективності СМО, вибір критерію оптимізації характеристик СМО

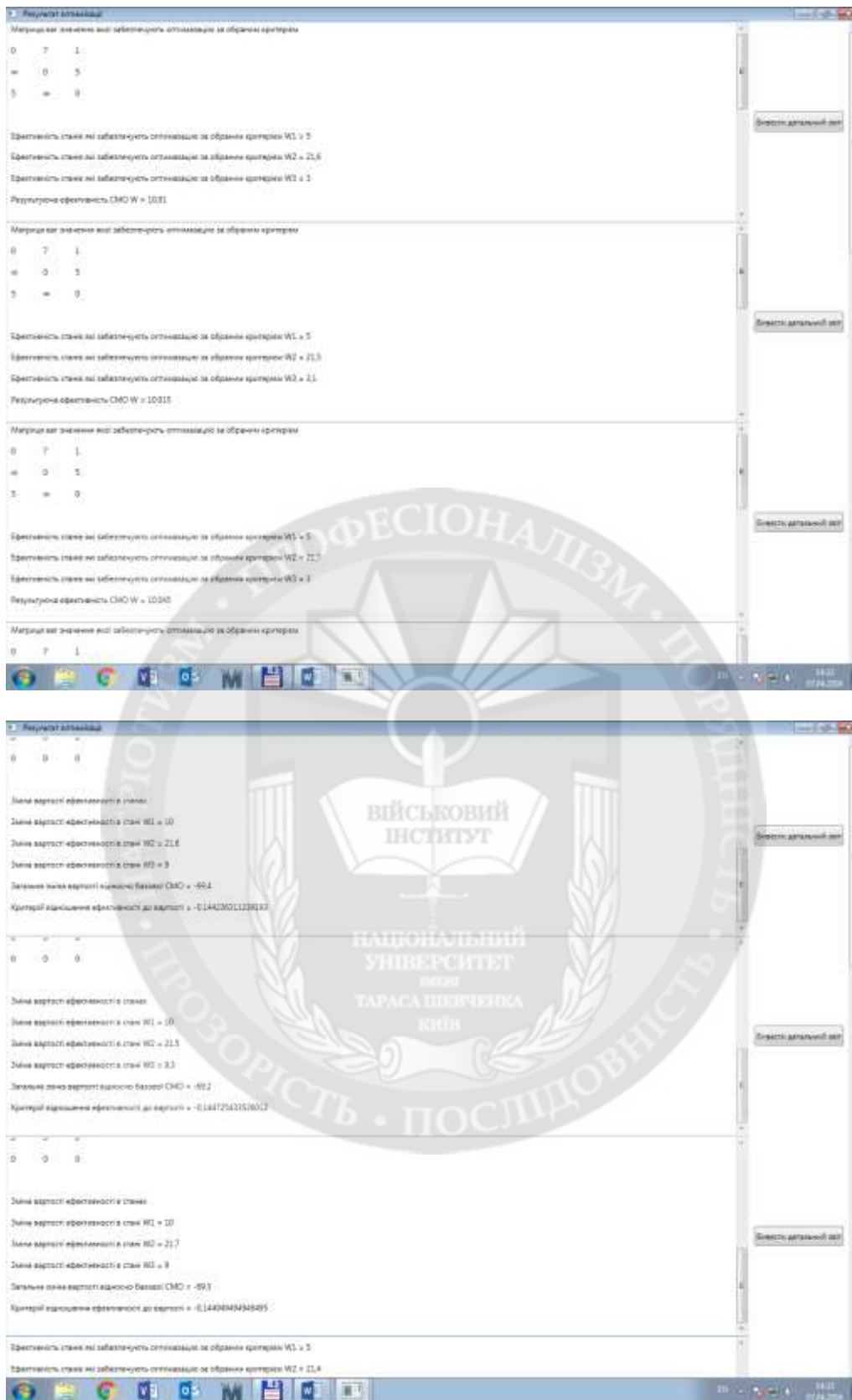


Рис. 13. Результат оптимізації характеристик СМО для випадку 1 (див. інформацію табл. 1)

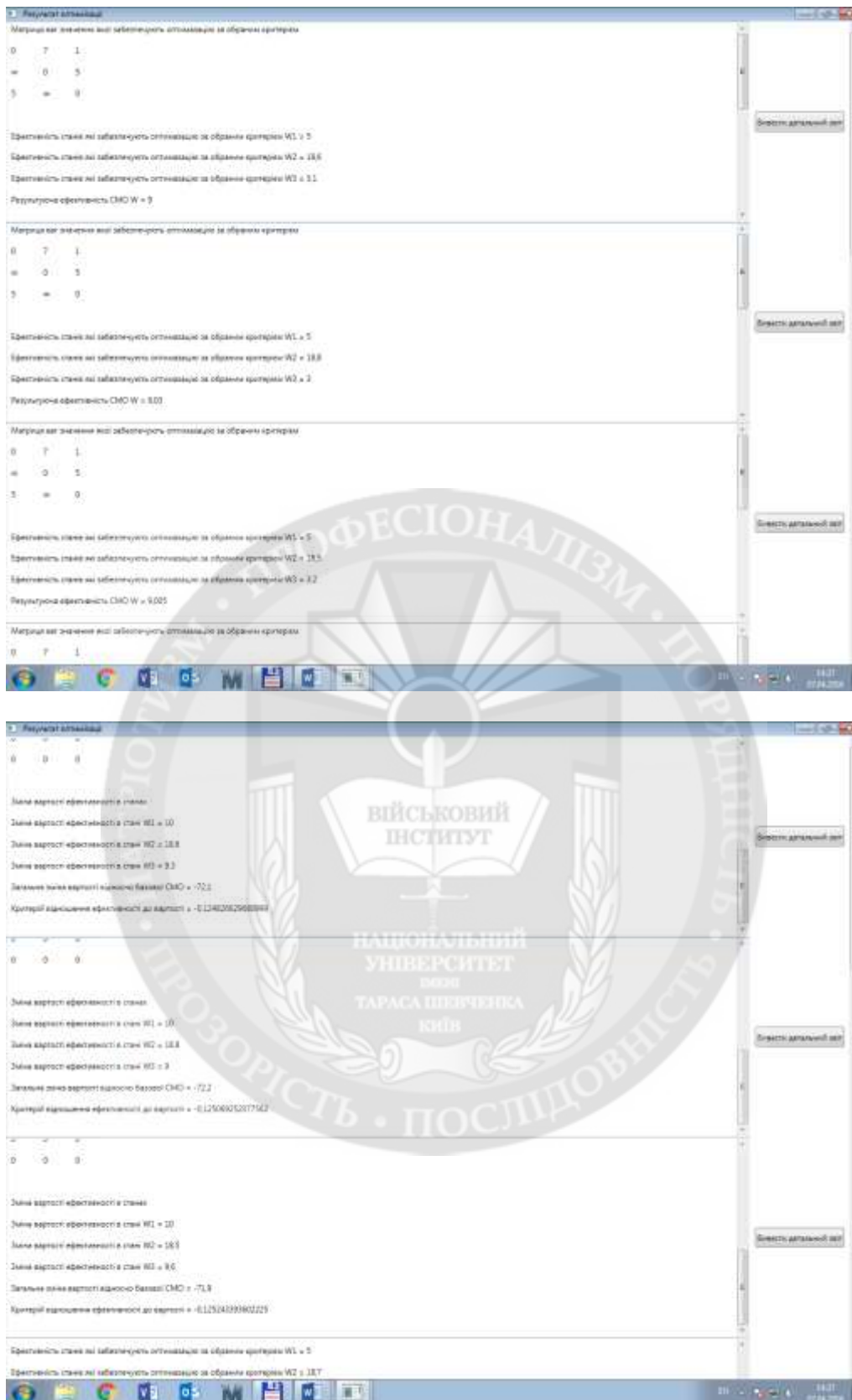


Рис. 14. Результат оптимізації характеристик СМО для випадку 2 (див. інформацію табл. 1)

**Висновки.** Таким чином, за результатами проведеного дослідження авторами проаналізована можливість програмно-алгоритмічної реалізації розв'язання задачі удосконалення СОЕС за рахунок оптимізації функціональних компонент. Дослідження стосувалося аналізу наявного програмно-технічного забезпечення, визначення структури

інформаційної системи, встановлення структури модулів системи, реалізації програмного додатку.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Розпорядження КМУ від 28 жовтня 2015 р. № 1149-р “Про схвалення Концепції інтегрованого управління кордонами”.
2. Розпорядження КМУ від 23 листопада 2015 р. № 1189-р “Стратегія розвитку Державної прикордонної служби”.
3. Боровик О. В., Дармороз М. М. Сучасні підходи до забезпечення достатньої ефективності системи експлуатації технічних засобів охорони кордону як складних технічних систем // Збірник наукових праць № 1 (61). Серія: Військові та технічні науки. – Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2014. – С. 238-253.
4. Боровик О. В., Дармороз М. М. Структурно-функціональні аспекти забезпечення достатньої ефективності систем експлуатації ТЗОДК // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції (27 листопада 2015 року) «Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє» – К.: ВІКНУ, 2015. – С. 31.
5. Боровик О. В., Боровик Л. В., Дармороз М. М. Оптимізація характеристик системи масового обслуговування // Збірник наукових праць № 4 (66). Серія: Військові та технічні науки. – Хмельницький: Вид. НАДПСУ, 2015. – С. 283-303.
6. Рамбо Дж., Блаха М. UML 2.0 Объектно-ориентированое моделирование и разработка / Дж. Рамбо, М. Блаха; – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2007. – 544 с.
7. Мак-Дональд, Мэтью. WPF 4: Windows Presentation Foundation в .NET 4.0 с примерами на C# 2010 для профессионалов: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2011. – 1024 с.
8. Johnson Bruse Professional Visual Studio 2013 / Bruse Johnson – Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc., 2014. – 1048 p.

#### REFERENCES:

1. Rozporjadzhennja KМУ vid 28 zhovtnja 2015 r. # 1149-r “Pro skhvalennja Konceptiji intehhrovanogho upravlinnja kordonamy”.
2. Rozporjadzhennja KМУ vid 23 lystopada 2015 r. # 1189-r “Strateghija rozvytku Derzhavnoji prykordonnoji sluzhby”.
3. Borovyk O. V., Darmoroz M. M. Suchasni pidkhody do zabezpechennja dostatnjojji efektyvnosti systemy ekspluataciji tekhnichnykh zasobiv okhorony kordonu jak skladnykh tekhnichnykh system // Zbirnyk naukovykh pracj # 1 (61). Serija: Vijsjkovi ta tekhnichni nauky. – Khmeljnyckyj: Vyd. NADPSU, 2014. – S. 238-253.
4. Borovyk O. V., Darmoroz M. M. Strukturno-funkcionaljni aspekty zabezpechennja dostatnjojji efektyvnosti system ekspluataciji TZODK // Materialy XI Mizhnarodnoji naukovo-praktychnojji konferenciji (27 lystopada 2015 roku) «Vijsjkova osvita i nauka: sjoghodennja ta majbutnje» – K.: VIKNU, 2015. – S. 31.
5. Borovyk O. V., Borovyk L. V., Darmoroz M. M. Optyimizacija kharakterystyk systemy masovogho obslughovuvannja // Zbirnyk naukovykh pracj # 4 (66). Serija: Vijsjkovi ta tekhnichni nauky. – Khmeljnyckyj: Vyd. NADPSU, 2015. – S. 283-303.
6. Rambo Dzh., Blakha M. UML 2.0 Obj'ektno-oryentirovanoe modelyrovanye y razrabotka / Dzh. Rambo, M. Blakha; – 2-e yzd. – SPb.: Pyter, 2007. – 544 s.
7. Mak-Donaljd, Mэтjju. WPF 4: Windows Presentation Foundation v .NET 4.0 s prymeramy na S# 2010 dlja professyonalov: Per. s anghl. – M.: ООО "Y.D. Vyljjame", 2011. – 1024 s.
8. Johnson Bruse Professional Visual Studio 2013 / Bruse Johnson – Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc., 2014. – 1048 p.

**Рецензент:** д.т.н., проф. **Ленков С.В.**, начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка



д.т.н., проф. Шинкарук О.Н., д.т.н., проф. Боровик О.В.,  
к.психол.н., доц. Боровик Л.В., Дармороз М.М.

**ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
СИСТЕМЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ**

*В статье обоснована структура и проанализированы функциональные особенности программно-алгоритмического обеспечения совершенствования системы оптико-электронного наблюдения за счет оптимизации функциональных компонент.*

*Разработанное программное приложение реализует алгоритм отыскания оптимальных характеристик системы массового обслуживания, в которой протекает марковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем. Результатом разработки является информационная система, позволяющая автоматизировать процедуру задания возможных диапазонов изменения для плотностей вероятностей переходов, эффективностей состояний системы, возможных шагов их изменения, задания функциональных зависимостей значений плотностей вероятностей переходов и эффективностей состояний от стоимости их реализации, задания предельно допустимого значения эффективности системы, реализации функции оптимизации эффективности системы по изменению плотностей вероятностей переходов либо по изменению эффективностей состояний либо по реализации новых переходов между состояниями системы.*

*Полученные результаты дают возможность автоматизировать процесс совершенствования системы оптико-электронного наблюдения за счет оптимизации функциональных компонент.*

*Ключевые слова: информационная система, система оптико-электронного наблюдения, система массового обслуживания, оптимизация, функциональные компоненты.*

**Prof. Shynkaruk O.M., Prof. Borovik O.V., PhD Borovik L.V., Darmoroz M.M.  
ALGORITHMIC SOFTWARE SYSTEM IMPROVEMENT OPTO-ELECTRONIC  
SURVEILLANCE BY OPTIMIZING THE FUNCTIONAL COMPONENT**

*The article analyzes reasonable structure and functional features of the software and algorithm software system improvement opto-electronic surveillance by optimizing the functional component.*

*Worked out software application implements the algorithm for finding the optimal characteristics of a queuing system, which runs Markov random process with discrete states and continuous time. As a result of Development Information System automation of procedures setting possible range of change for the probability density conversion efficiencies of the system, possible steps to change default functional dependencies values of the probability density transitions and efficiencies states of the cost of their implementation, setting the maximum acceptable value system efficiency, implementing features optimizing the efficiency of the change in the probability density transitions, or changes in the performance of states, or the implementation of new transitions between states of the system.*

*The results make it possible to automate the process of improving the system of optical-electronic surveillance by optimizing the functional component.*

*Keywords: information system, the opto-electronic monitoring, queuing system, optimization, functional components.*