

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. В статті розглядається побудова імітаційної моделі багатоканальної системи зберігання паливно-мастильних матеріалів на основі колірних мереж Петрі. Представлено формальний опис моделей на основі колірних мереж Петрі. Представлена структурна схема багатоканальної системи зберігання ПММ. Досліджена загальна модель процесу роботи АЗС, як багатоканальної системи зберігання ПММ. При побудові імітаційної моделі системи було використано ієрархічний підхід. На верхньому рівні, модель системи представлена в цілому. Далі загальну модель було структуровано шляхом розбиття на два модуля нижчого рівня: модуль призначений для генерації автотранспорту в систему АЗС та модуль, який безпосередньо моделює процеси заправки авто і оплати за пальне. Для опису системи задається її опис. Розроблені функції для ієрархічної імітаційної моделі багатоканальної системи зберігання ПММ. Представлено аналіз результатів імітаційного моделювання процесу роботи багатоканальної системи зберігання паливно-мастильних матеріалів при різній кількості каналів обслуговування.

Ключові слова: Моделювання, імітаційна модель, багатоканальна система, паливно-мастильні матеріали, АЗС, ієрархічна модель, колірні мережі Петрі, CPN Tools.

Вступ. Особливість побудови імітаційних моделей моніторингу паливно мастильних матеріалів (ПММ) в системах їх зберігання обумовлена рядом причин серед яких: структура систем зберігання ПММ, складність виявлення та формалізації зв'язків між елементами системи зберігання палива, необхідність адекватного опису зв'язків, складність структурного та функціонального моделювання систем зберігання ПММ тощо. Складність моделювання задач моніторингу обумовлена складністю процесу моніторингу, значною кількістю зв'язків, складністю впливу та взаємодії елементів системи. Різні підходи будуть мати різні результати. Запропонований в літературі певні набори моделей і методів сам по собі не гарантують адекватності моделі [1-4]. Адекватність моделей моніторингу може остаточно бути визначена тільки в процесі обчислювального експерименту.

Існує ряд методів моделювання, за допомогою яких можливо моделювати процеси моніторингу та взаємодію їх структурних елементів технічної системи між собою. Для розширення можливостей аналізу та моделювання процесів моніторингу, в тому числі для імітаційного моделювання систем зберігання палива доцільно використати метод моделювання на основі різних типів мереж Петрі, в тому числі колірних. Голов-

ною особливістю, яких є врахування змінних різного типу та різноманітних умов спрацювання переходів, це дозволяє моделювати і відстежувати динамічні зміни в системі [5-8]. Мережі Петрі забезпечують можливість опису паралельних процесів та конфліктних ситуацій, в той час як звичайні мови програмування надають інструментарій для визначення типів даних і операцій над ними.

Постановка проблеми. Метою даної роботи є побудова та дослідження імітаційної моделі багатоканальної системи зберігання паливно-мастильних матеріалів за допомогою колірних мереж Петрі.

Аналіз останніх досліджень. Мережі Петрі, як інструмент моделювання складних дискретних систем та процесів отримали значне розповсюдження [1-3,7,9]. Мережа Петрі це орієнтований дводольний граф з двома типами вузлів: позиціями (представлені колами), та переходами (представлені прямокутниками). Дуги графа поєднують позиції і переходи таким чином, що позиції можуть бути пов'язані тільки з переходами і навпаки. Позиції в мережі Петрі можуть містити дискретне число *токенів*. Розподіл токенів над місцями називається маркуванням [10]. Мережі Петрі розроблялись для опису паралельних систем з точки зору причинно-наслідкових зв'язків без обліку часу [11,12]. Імплементация часових складових в мережі Петрі було запропоновано іншими дослідниками [5,12]. Для моделювання складних систем та процесів різної природи використовуються різні модифікації мереж Петрі: стохастичні мережі Петрі (SPN), часові мережі Петрі (TPN), колірні мережі Петрі (CPN), нечіткі мережі Петрі (FuzzyPN) та інші [1,2,4,8,9,13-15]. Вперше мережі Петрі були використані, як інструмент для побудови та композиції веб-сервісів в роботі [16]. Але задача моделювання паралельних та багатоканальних систем та їх компонентів залишається актуальною. Для вирішення даної задачі розроблено алгебру із розширеним набором операцій, що дозволяє детально описати взаємодію між компонентами багатоканальних систем при побудові і моделюванні систем зберігання ПММ [17].

Побудова ієрархічної імітаційної моделі в середовищі CPN Tools. Одним із типів систем зберігання паливно-мастильних матеріалів є багатоканальні системи зберігання ПММ такі, як автозаправні станції (АЗС). В систему зберігання ПММ, АЗС, надходить потік заявок на заправку автотранспорту двох типів (звичайного та спеціального призначення), розподілений за експоненціальним законом. Заявки надходять у чергу АЗС на обробку. Тип черги – FIFO. Кожне авто може бути заправлений одним із можливих типів палива. Кожна колонка надає вибір типів палива. Якщо АЗС перебуває у режимі очікування (немає жодного авто), то заявка на заправку надходить виконання вільною колонкою. Необхідно розробити імітаційну модель АЗС, що обслуговує 1000 авто.

Структурна схема багатоканальні системи зберігання ПММ представлена на рисунку 1.

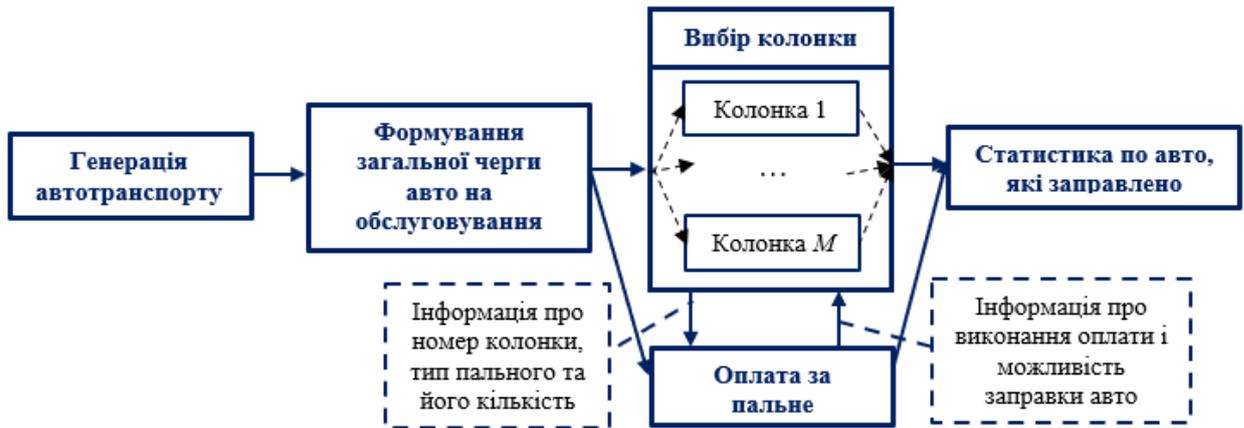


Рисунок 1– Структурна схема багатоканальні системи зберігання ПММ

Загальна модель процесу роботи АЗС розподілена на окремі функціональні блоки, що дає можливість виконати декомпозицію системи на окремі модулі. На основі принципів системного аналізу за рахунок декомпозиції зменшується складність системи. Таким чином при побудові імітаційної моделі системи використовується ієрархічний підхід. На верхньому рівні, *System*, модель системи представлена в цілому. Далі загальну модель було структуровано шляхом розбиття на два модуля нижчого рівня: *Arrivals* – модуль призначений для генерації автотранспорту в систему АЗС, *Gas Station* – модуль, який безпосередньо моделює процеси заправки авто і оплати за паливе.

Загальна імітаційна модель *System* (рис. 2, а) має дві позиції (чергу – *Waiting*, авто, що були заправлені – *Completed*) та два переходи (генерувати авто, який потребує заправки – *Arrivals*, виконати заправку авто і оплату за паливе – *Gas Station*). Переходи мають складну ієрархічну структуру і представлені на окремих аркушах моделі.

Імітаційна модель підсистеми генерації автотранспорту (рис. 2, б) має 3 позиції (поточне авто - *Init*, наступне авто - *Next*, черга - *Waiting* з аркуша *System*) та два переходи (*Init* – визначає розподіл надходження автотранспорту по експоненційному закону з інтенсивністю 12 заявок за одиницю часу, *Arrive* - визначає надходження авто до черги).

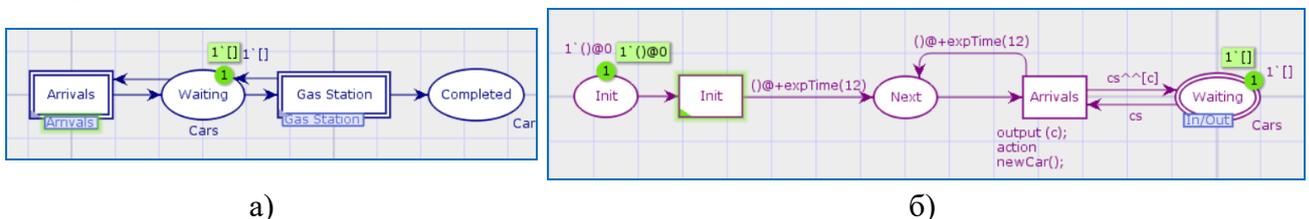


Рисунок 2 – а) Імітаційна модель системи верхнього рівня, б) Імітаційна модель підсистеми генерації автотранспорту

Імітаційна модель підсистеми обслуговування авто на АЗС та оплати послуги представлена на рисунку 3.

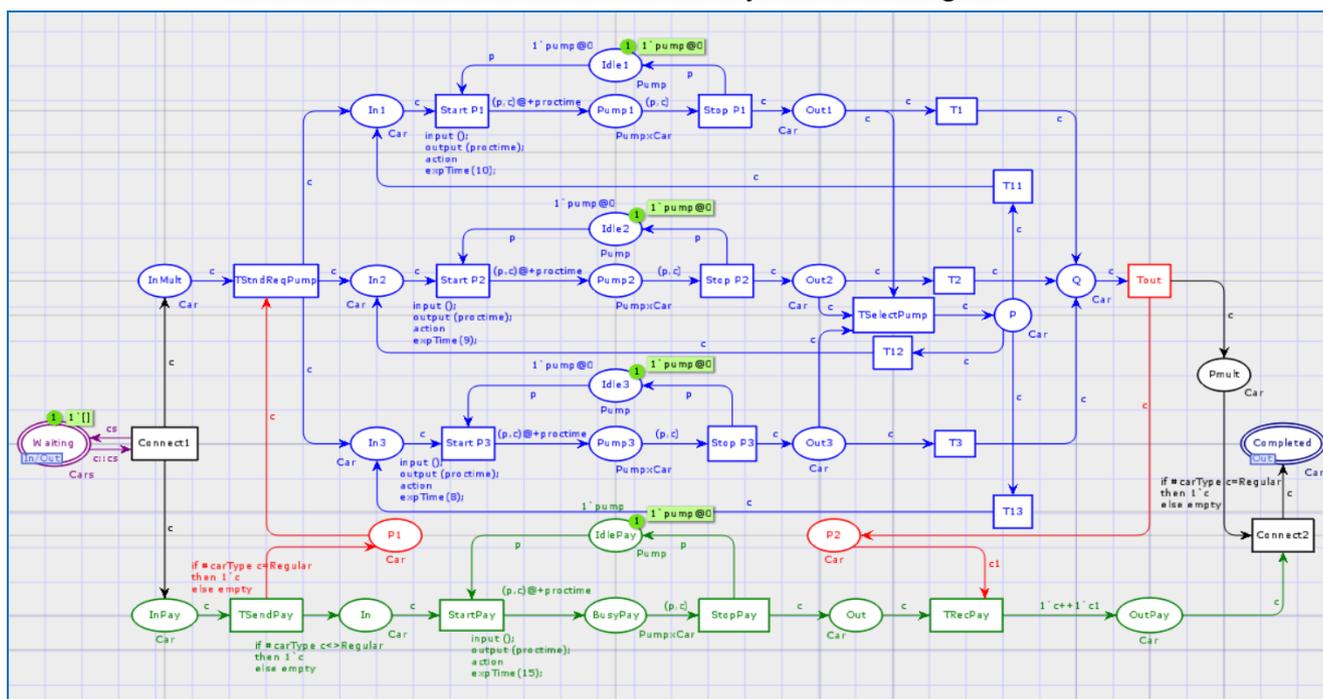


Рисунок 3 – Імітаційна модель підсистеми обслуговування авто на АЗС та оплати послуги

Завдання декларації системи. Спершу визначаються параметри процесу, якій моделюється. Параметрами процесу є *множина кольорів системи (colorset)*, які мають наступні значення:

- фішки типу *Pump* – визначають моменти часу заправки;
- фішки типу *CarType* – визначають 2 типи автотранспорту *Regular* і *Special*;
- фішки типу *FuelType* – визначають 2 типи пального diesel, petrol 95, petrol 98;
- кортеж *Car* має 3 поля, які відповідають за *carType* – тип автотранспорту (звичайний або спеціальний) та відповідно має тип *CarType*, поле *fuelType* – тип пального, якій потрібно для авто, і має тип *FuelType*, поле *AT* має тип *INT* та використовується для зберігання часу знаходження заявки в системі;
- фішки типу *Cars* – це список інформації про авто, які звернулись до АЗС;
- фішки типу *PumpxCar* – визначають стан колонки АЗС, що зайнята заправкою авто.

Змінні моделі:

- *proctime* – визначає час обробки заявки;
- *car, car1* – визначають характеристики поточного авто;
- *cs* – визначає надходження авто в чергу.

Функції системи:

- функція *expTime* описує генерацію цілочисельних значень через інтервали часу, розподілені за експоненціальним законом;
- функція *intTime* перетворює поточне модельне час в ціле число;

- функція *newCar* повертає значення з набору *CarType* – випадковий вибір типу авто (Regular або Special) та значення з набору *FuelType* – випадковий вибір типу пального (diesel, petrol95 або petrol98).

Розроблені функції для ієрархічної імітаційної моделі багатоканальної системи зберігання ПММ наведені на рисунку 4.

```
▼ fun expTime(mean:int)=  
  let  
    val realMean=Real.fromInt mean  
    val rv=exponential((1.0/realMean))  
  in  
    floor(rv+0.5)  
  end;  
fun intTime()=IntInf.toInt(time());  
fun newCar()={ carType=CarType.ran(),  
  fuelType=FuelType.ran(),  
  AT=intTime() }
```

Рисунок 4 – Опис функцій імітаційної моделі багатоканальної системи зберігання ПММ

Параметри моделі на графах мережі. На модельному аркуші *System* представлено загальні параметри моделі (див. рис. 2, а):

- у позиції *Waiting* множина кольорів фішок – *Cars*; початкове маркування $1 \text{ } []$ визначає, що спочатку черга авто порожня.
- у позиції *Completed* множина кольорів – *Car*.

На модельному аркуші *Arrivals* представлено мережа другого рівня з моделлю генератора автотранспорту, який потребує заправки (див. рис. 2, б). Визначимо її параметри:

- у позиції *Init*: множина кольорів фішок – *UNIT*; початкове маркування $1 \text{ } ()@0$ визначає, що надходження авто в АЗС починається з нульового моменту часу;
- у позиції *Next*: множина кольорів фішок – *UNIT*;
- на дузі від позиції *Init* до переходу *Init* вираз $()$ задає генерацію заявок;
- на дузі від переходів *Init* та *Arrivals* до позиції *Next* вираз $()@+expTime(12)$ задає експоненціальний розподіл часу між надходженнями авто;
- на дузі від позиції *Next* до переходу *Arrivals* вираз $()$ задає переміщення фішки;
- на дузі від переходу *Arrivals* до позиції *Waiting* вираз $cs^{[c]}$ задає надходження авто в чергу;
- на дузі від позиції *Waiting* до переходу *Arrivals* вираз cs задає зворотній зв'язок.

На модельному аркуші *Gas Station* представлено мережа другого рівня з моделлю АЗС заправки авто і оплати за послуги (рис. 3). Визначимо параметри цієї моделі:

- у позиціях *Idle(i)*, *IdlePay*: множина кольорів фішок – *Pump*, початкове значення маркування – $1 \text{ } pump@0$ визначає, що спочатку процесу моделювання жодна колонка АЗС немає заявок на обслуговування і система оплати незайнята;
- у позиціях *BusyPay*, *Pump(i)*: множина кольорів фішок – *PumpxCar*;

- переходи $Start P(i)$, $StartPay$ мають сегмент коду $output (proctime)$; $action expTime(m)$; це визначає, що час обслуговування авто розподілене по експоненціальному закону із середнім часом обробки в m одиниць часу;
- на дузі від позиції $Waiting$ до переходу $Connect$ вираз $c::cs$ визначає, що АЗС може почати заправку авто, якщо в черзі є хоча б одне авто;
- на дугах від переходів $Start P(i)$ та $StartPay$ до позицій $Pump(i)$ та $BusyPay$ вираз $(p,c)@+proctime$ запускає функцію розрахунку часу обробки заявки на заправку авто або оплати послуги;
- на дугах від позицій $Pump(i)$ та $BusyPay$ до переходів $Stop P(i)$ та $StopPay$ вираз (p,c) говорить про завершення обробки заявки від авто в АЗС;
- на дугах від переходів $Start P(i)$ та $StartPay$ до позицій Out та $Out(i)$ вираз c показує, що заявка від авто вважається обслуженою;
- вираз p на дугах від i до позицій $Idle(i)$ та $IdlePay$ визначає зміну стану колонки/системи оплати (обробляє заявки або очікує);
- на дузі від переходу $Connect$ до позиції $Waiting$ вираз cs задає зворотний зв'язок.

Аналіз результатів моделювання багатоканальної системи зберігання ПММ.

При імітаційному моделюванні модель процесу запускається кілька разів. Кожен запуск можна розглядати як експеримент, що відповідає «випадковому блуканню» у просторі станів моделі. Якщо неможливо побудувати весь простір станів, подібні експерименти проводять багаторазово. Але такий підхід дозволяє отримати лише частину простору станів. Тому перевіряється лише наявність помилок, а не їх відсутність.

На початку експериментів з моделлю багатоканальної системи зберігання ПММ було використано так зване короткострокове моделювання [7,10]. На відміну від класичних підходів до моделювання, що фокусуються на стаціонарній поведінці системи або процесу, мета короткострокового моделювання – робити прогнози на найближче майбутнє. Короткострокове моделювання фокусується на перехідній поведінці. Це дозволяє використовувати кнопку «швидкої перемотування» у майбутнє. На рисунку 5 представлено результати імітаційного моделювання процесу обслуговування авто на АЗС, якщо генерується 1000 автомобілів. За допомогою моніторів для конкретного прогону моделювання було визначено, що:

- середня довжина списку фішок в черзі $Waiting$ становить 0,915835;
- середня кількість фішок у $Pump(i)$ становить 0,802938;
- середня кількість фішок у $Idle(i)$ складає 0,197062;
- середній час очікування автомобілів, які заправляються, становить 9,001130

хвилин.

Таким чином, завантаження складає близько 80%, і в середньому близько одного автомобіля очікує на обслуговування. Середній час очікування становить близько 9 хвилин.

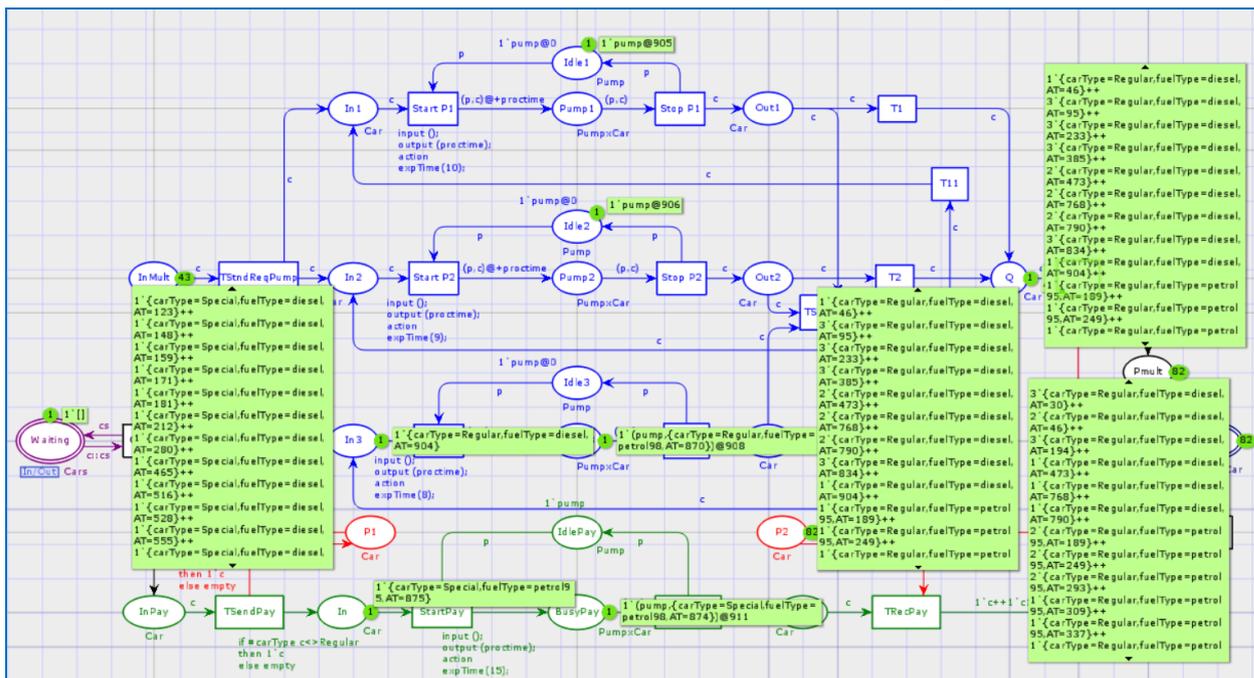


Рисунок 5 – Результати імітаційного моделювання підсистеми обслуговування авто на АЗС та оплати послуги

Додавання моніторів до моделі дає можливість легко досліджувати різні альтернативні моделі та порівнювати їх. У таблиці 1 представлені результати для моделі АЗС з одною колонкою, двома та трьома колонками. Додавання додаткової колонки позитивно впливає на всі показники продуктивності. Як показано в Таблиці 1, час потоку скорочується приблизно до 5 хвилин.

Таблиця 1
Результати моделювання трьох альтернативних варіантів моделі процесу роботи АЗС

Тип моделі	Середня довжина черги	Середня кількість вільних колонок	Середня кількість задіяних колонок	Середній час потоку
З 1-єю колонкою	0,900±0,006	0,201±0,001	0,798±0,001	8,945±0,020
З 2-ма колонками	0,389±0,001	1,129±0,002	0,871±0,002	5,431±0,003
З 3-ма колонками	0,107±0,002	1,401±0,001	0,599±0,001	5,541±0,009

У таблиці 2 представлені результати для всіх автомобілів, а також результати для спец транспорту та звичайних автомобілів окремо. Важливо, що час очікування спец транспорту менший, оскільки в середньому за годину прибуває всього 5 авто такого типу, тоді як у середньому маємо 10 звичайних автомобілів.

Результати моделювання процесу роботи АЗС 3-ма колонками

Тип авто	Середня довжина черги	Середня кількість вільних колонок	Середня кількість задіяних колонок	Середній час потоку
Всі авто	0,107±0,002	1,401±0,001	0,599±0,001	5,541±0,009
Спец транспорт	-	-	-	3,857±0,007
Звичайні авто	-	-	-	6,988±0,021

Результати імітаційного моделювання на основі ієрархічної моделі з урахуванням часу демонструють можливості врахування багатьох аспектів функціонування систем зберігання ПММ. Застосування імітаційних моделей в процесі моніторингу дозволяє ефективно визначати структуру процесу, який досліджується за рахунок підбору параметрів та варіації альтернативних структур.

Висновки. Представлена структурна схема багатоканальні системи зберігання ПММ. Досліджена загальна модель процесу роботи АЗС, як багатоканальної системи зберігання ПММ. При побудові імітаційної моделі системи було використано ієрархічний підхід. На верхньому рівні, модель системи представлена в цілому. Далі загальну модель було структуровано шляхом розбиття на два модуля нижчого рівня: модуль призначений для генерації автотранспорту в систему АЗС, та модуль, який безпосередньо моделює процеси заправки авто і оплати за паливе. Для опису системи задається її опис. Побудовано імітаційна модель підсистеми обслуговування авто на АЗС та оплати послуги. Розроблені функції для ієрархічної імітаційної моделі багатоканальної системи зберігання ПММ. Представлені результати моделювання трьох альтернативних варіантів моделі процесу роботи АЗС та результати моделювання процесу роботи АЗС 3-ма колонками для всіх видів транспорту. Доведено, що імітаційна модель на основі ієрархічної моделі з урахуванням часу демонструє можливості врахування багатьох аспектів функціонування систем зберігання ПММ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Luo Sh., Xe T. Modeling and Analysis of Train Control Center Simulation System Based on CPN. 2025 International Conference on Electrical Automation and Artificial Intelligence (ICEAAI). 10-12 January 2025. IEEE. Guangzhou, China
DOI: 10.1109/ICEAAI64185.2025.10957698.
2. Arena D., Criscione F., Trapani N. Risk assessment in a chemical plant with a CPN-HAZOP Tool. IFAC-PapersOnLine, vol. 51, Issue 11, 2018, Pp. 939-944
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.487>.
3. Samuel Medina-Garcia S., Medina-Marin J., Montaña-Arango O., Manuel Gonzalez-Hernandez M., Selene Hernandez-Gress E. A Petri Net Approach for Business Process Modeling and Simulation. MDPI. Journal Applied Sciences, vol. 13, issue 20., 11192, 2023.
<https://doi.org/10.3390/app132011192>.

4. Veza O., Larisang L., Setyabudhi A. L., Arifin N. Y., Agustini Sh. Simulation Modeling System in Determining the Amount of Oil Inventory. Journal "Of Computer Networks Architecture and High-Performance Computing" 5(1), pp.110-119.
DOI:10.47709/cnahpc.v5i1.2009.
5. Jensen K. Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. EATCS monographs on Theoretical Computer Science. Springer-Verlag, Berlin, 1996.
6. Jensen K., Kristensen L.M. Coloured Petri Nets – Modelling and Validation of Concurrent Systems. Springer-Verlag, Berlin, 2009.
7. Калініна І.О., Гожий О.П., Шиян С.І., Нечахін В.В. Імітаційне моделювання систем зі складним стохастичним процесом обробки даних за допомогою кольорових мереж Петрі. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології», Дніпро. 2022. Вип. 6, № 143. С. 42-56.
DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-6-143-2022-04>.
8. Гожий В.О., Калініна І. О. Використання ієрархічних часових мереж Петрі для моделювання web-сервісів. Наукові праці: науково-методичний журнал. Комп'ютерні технології. – Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. П. Могили. – Миколаїв, 2018. Т. 317. Вип. 305. – С. 30-35.
9. Гожий В. О. Моделювання взаємодії web-сервісів в Mashup системах на основі кольорових мереж Петрі. Наукові праці : наук. журн. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2018. – Т. 320. Вип. 308. – С. 64–70. – (Комп'ютерні технології).
10. Калініна І.О., Гожий О.П. Моделювання складних систем на основі кольорових мереж Петрі: навчальний посібник. Херсон: книжкове видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2021. – 60 с.
11. Ajmone Marsan M., Balbo G., Conte G., Donatelli S., Franceschinis G. Modelling with Generalized Stochastic Petri Nets [Text] – John Wiley and Sons, 1995. – 324 p.
12. Perkusich J., De Figueiredo J. C. A. G-nets: A Petri net based approach for logical and timing analysis of complex software systems. Journal of Systems and Software, vol. 39, ISSUE 1, pp. 39-59, Oct 1997.
13. Bause, F., Kritzinger P.S. Stochastic Petri nets: an introduction to the theory [Text]b–Friedrich Vieweg and Sohn Verlag, 2002. – 223 p.
14. Jensen K., Kristensen L.M., Wells L. Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems. Software Tools for Technology Transfer manuscript. 2007. 40 p.
15. Zaitsev D.A., Shmeleva T.R. Simulating Telecommunication Systems with CPN Tools: Students' book – Odessa: ONAT, 2006. – 60 p.
16. Hamadi R., Benatallah B. A Petri net based-model for web service composition. In proc. the 14th Australasian database conference, Adelaide. Darlinghurst: Australian International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT) Vol 5, No 3, June 2013.
17. Гожий В.О. Алгебра для моделювання взаємодії web-сервісів Регіональний міжвузівський збірник наукових праць «Системні технології», Дніпро. – 2018. – Вип. 5 (118). – С. 121-132.

REFERENCE

1. Luo Sh., Xe T. Modeling and Analysis of Train Control Center Simulation System Based on CPN. 2025 International Conference on Electrical Automation and Artificial Intelligence (ICEAAI). 10-12 January 2025. IEEE. Guangzhou, China
DOI: 10.1109/ICEAAI64185.2025.10957698.
2. Arena D., Criscione F., Trapani N. Risk assessment in a chemical plant with a CPN-HAZOP Tool. IFAC-PapersOnLine, vol. 51, Issue 11, 2018, Pp. 939-944
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.487>.
3. Samuel Medina-Garcia S., Medina-Marin J., Montaña-Arango O., Manuel Gonzalez-Hernandez M., Selene Hernandez-Gress E. A Petri Net Approach for Business Process Modeling and Simulation. MDPI. Journal Applied Sciences, vol. 13, issue 20., 11192, 2023.
<https://doi.org/10.3390/app132011192>.
4. Veza O., Larisang L., Setyabudhi A. L., Arifin N. Y., Agustini Sh. Simulation Modeling System in Determining the Amount of Oil Inventory. Journal “Of Computer Networks Architecture and High-Performance Computing” 5(1), pp.110-119.
DOI:10.47709/cnahpc.v5i1.2009.
5. Jensen K. Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. EATCS monographs on Theoretical Computer Science. Springer-Verlag, Berlin, 1996.
6. Jensen K., Kristensen L.M. Coloured Petri Nets – Modelling and Validation of Concurrent Systems. Springer-Verlag, Berlin, 2009.
7. Kalinina I.O., Hozhyi O.P., Shyian S.I., Nechakhin V.V. Imitatsiine modeliuвання system zi skladnym stokhastychnym protsesom obrobky danykh za dopomohoiu ko-lorovykh merezh Petri. Rehionalnyi mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh prats «Systemni tekhnolohii», Dnipro. 2022. Vyp. 6, № 143. S. 42-56. DOI: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-6-143-2022-04>.
8. Hozhyi V.O., Kalinina I. O. Vykorystannia iierarkhichnykh chasovykh merezh Petri dlia modeliuвання web-servisiv. Naukovi pratsi: naukovo-metodychnyi zhurnal. Kompiuterni tekhnolohii. – Mykolaiv: Vyd-vo ChNU im. P. Mohyly. – Mykolaiv, 2018. T. 317. Vyp. 305. – S. 30-35.
9. Hozhyi V. O. Modeliuвання vzaiemodii web-servisiv v Mashup systemakh na os-novi kolorovykh merezh Petri. Naukovi pratsi : nauk. zhurn. – Mykolaiv : Vyd-vo ChNU im. Petra Mohyly, 2018. – T. 320. Vyp. 308. – S. 64–70. – (Kompiuterni tekhnolohii).
10. Kalinina I.O., Hozhyi O.P. Modeliuвання skladnykh system na osnovi kolorovykh merezh Petri: navchalnyi posibnyk. Kherson: knyzhkove vydavnytstvo FOP Vyshemyrskyi V.S., 2021. – 60 s.
11. Ajmone Marsan M., Balbo G., Conte G., Donatelli S., Franceschinis G. Modelling with Generalized Stochastic Petri Nets [Text] – John Wiley and Sons, 1995. – 324 p.
12. Perkusich J., De Figueiredo J. C. A. G-nets: A Petri net based approach for logical and timing analysis of complex software systems. Journal of Systems and Software, vol. 39, ISSUE 1, pp. 39-59, Oct 1997.
13. Bause, F., Kritzinger P.S. Stochastic Petri nets: an introduction to the theory [Text]b–Friedrich Vieweg and Sohn Verlag, 2002. – 223 p.

14. Jensen K., Kristensen L.M., Wells L. Coloured Petri Nets and CPN Tools for Modelling and Validation of Concurrent Systems. Software Tools for Technology Transfer manuscript. 2007. 40 p.
15. Zaitsev D.A., Shmeleva T.R. Simulating Telecommunication Systems with CPN Tools: Students' book – Odessa: ONAT, 2006. – 60 p.
16. Hamadi R., Benatallah B. A Petri net based-model for web service composition. In proc. the 14th Australasian database conference, Adelaide. Darlinghurst: Australian International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT) Vol 5, No 3, June 2013.
17. Hozhyi V.O. Alhebra dlia modeliuvannia vzaiemodii web-servisiv Rehionalnyi mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh prats «Systemni tekhnolohii», Dnipro. – 2018. – Vip. 5 (118). – S. 121-132.

Received 26.02.2026
Accepted 03.03.2026
Published 31.03.2026

Simulation model of a multi-channel storage system for fuel and lubricants.

The article considers the construction of a simulation model of a multi-channel fuel and lubricant storage system based on colour Petri nets. A formal description of models based on colour Petri nets is presented. A structural diagram of a multi-channel fuel and lubricant storage system is presented. A general model of the gas station operation process as a multi-channel fuel and lubricant storage system is investigated. A hierarchical approach was used when constructing the simulation model of the system. At the top level, the system model is presented as a whole. Further, the general model was structured by dividing it into two lower-level modules: a module designed for generating vehicles into the gas station system and a module that directly models the processes of refuelling and paying for fuel. To describe the system, its description is given. Functions for a hierarchical simulation model of a multi-channel fuel and lubricant storage system are developed. An analysis of the results of simulation modelling of the operation process of a multi-channel fuel and lubricant storage system with a different number of service channels is presented.

Keywords: Modelling, simulation model, multi-channel system, fuels and lubricants, gas stations, hierarchical model, colour Petri nets, CPN Tools.

Шиян Сергій Іванович – аспірант кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету ім. Петра Могили.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9255-9511>

Shiyan Serhii Ivanovych – Postgraduate student of the Department of Intellectual Information Systems of the Black Sea National University named after Petera Mohyly.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9255-9511>.