



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-42

УДК 004.94

Д. В. Лубко, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-2506-4145

О. Г. Зінов'єва, ст.викл.

ORCID: 0000-0003-3760-8952

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: dmytro.lubko@tsatu.edu.ua

ПРОЕКТУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОБОТИ ЗЕРНОВОГО ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

Анотація. Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується значним зростанням обсягу перевезення вантажів. На транспортні процеси припадає до 35% всіх затрат праці і до 40% затрат енергії. На сучасному етапі розвитку сільськогосподарського виробництва основу транспортних засобів становить автомобільний транспорт. На внутрішньогосподарських перевезеннях поряд з автомобільним транспортом широко використовують тракторний транспорт. Значний обсяг, особливо у весняно-літній і осінній періоди, припадає на перевезення продукції галузі рослинництва, де необхідний технологічний транспорт для того, щоб об'єднати функції транспортних і технологічних машин (збирання зернових, цукрового буряку, кукурудзи, заготівля сіна, соняшнику, силосу тощо).

Особлива роль транспорту в сільськогосподарському виробництві пояснюється тим, що транспорт разом з агрегатами безпосередньо бере участь у виконанні технологічних процесів, операцій. Від правильної організації перевезень, оснащеності сільськогосподарських підприємств сучасними транспортними засобами та їх ефективного використання залежить своєчасність виконання сільськогосподарських робіт у встановлені агростроки, продуктивність і рівень собівартості продукції.

В роботі було виконано проектування імітаційної моделі роботи зернового збирально-транспортного комплексу з використанням системи моделювання GPSS (General Purpose Simulating System). За допомогою GPSS ми можемо створювати моделі як у безперервному середовищі, так і в дискретному. Розроблена модель буде використана для проведення експериментального дослідження роботи зернового збирально-транспортного комплексу за різних сценаріїв. Експеримент буде супроводжуватися статистичним опрацюванням результатів. Це моделювання дасть можливість покращити ефективність та якість



роботи зернового збирально-транспортного комплексу.

На підставі проведеного дослідження проектування імітаційної моделі зернового збирально-транспортного комплексу було визначено, що при використанні 7 транспортних засобів для 7 зернозбиральних комбайнів завантаженість транспортних засобів дорівнює 99,3%, що є дуже гарним показником ефективності роботи даного комплексу.

Ключові слова: імітаційна модель, проектування, зерновий збирально-транспортний комплекс, блок-схема роботи, GPSS.

Постановка проблеми. Нестача транспортних засобів у рослинництві призвела до унеможливлення виконання необхідних обсягів транспортних робіт в оптимальні строки, особливо на збиранні врожаю сільськогосподарських культур. Несвоєчасні перевезення у сільському господарстві призводять до порушення технології виробництва сільськогосподарської продукції та втрат зібраного врожаю до 30-50%. Через нестачу транспортних засобів на збиральних роботах простоювання збиральних машин може сягати 30-40% змінного часу, тому необхідна правильна організація збиральних робіт, що залежить від основних та другорядних чинників.

Тривалість збирання зернових культур залежить від: наявності, технічного стану та роботоздатності збиральної техніки, транспортних засобів, організації роботи збирально-транспортних комплексів, погодних умов і інших факторів [1]. У період збирання зернових велика кількість комбайнів простоє з технічних причин, що збільшує строк виконання робіт і приводить до великих втрат зерна. В загальній проблемі підвищення роботоздатності техніки збирально-транспортних комплексів на збиранні зернових культур поставлена задача скорочення простоїв комбайнів з організаційних, технологічних та технічних причин, внаслідок чого – збільшення їх продуктивності. Комплексне вирішення цієї проблеми можливо шляхом обґрунтування термінів проведення збиральних робіт з допустимими витратами врожаю, оптимізацією структури та складу технологічних і транспортних ланок, обґрунтуванням раціонального резерву запасних частин на різних рівнях зберігання та організацією ремонтно-технічних дій під час збирання [1].

Важливим під час збирання врожаю є не допустити простоювання зернозбиральних машин через відсутність транспортних засобів, або ж простоювання самих транспортних засобів. Уникнути цього можна завдяки правильній організації збирально-транспортних робіт, для чого розраховують необхідну кількість зернозбиральної техніки (власної чи залученої), робота якої не допустить її простоювання.

Оперативне управління комплексом збирально-транспортних робіт вимагає від його організаторів ліквідації простоїв



зернозбиральних комбайнів і автотранспортних засобів та узгодження технологічних параметрів обслуговуючих механізмів. Головний результат злагодженої роботи збирально-транспортних комплексів господарств полягає в визначенні оптимальних термінів збирання врожаю та розрахунку взаємної відповідності технічних параметрів агрегатів і механізмів комплексу [2].

При збільшенні відстані перевезень і використанні високопродуктивних транспортних засобів для забезпечення їх безперебійної роботи в виробничих умовах відбувається необґрунтоване збільшення технічних засобів при їх наявності, що веде до простоїв останніх. Збільшення тривалості операцій призводить до зменшення ефективності використання як збиральних машин, так і транспортних засобів [3].

Аналіз останніх досліджень. Питаннями аналізу роботи зернового (і не тільки) збирально-транспортного комплексу та обґрунтування його складу, особливостей та визначення технічних характеристик, а також принципами покращання та поліпшення ефективності роботи таких комплексів в сучасних умовах було частково розкрито в працях таких закордонних науковців, як Rogovskii I. L. [4], Arifin Moh Zainal [5], Kleijnen J. P. C. [6], Harchol-Balter M. [7], Villarreal Gonzalo Luján [8].

Зараз багато і вітчизняних науковців також активно займаються теоретичними та практичними аспектами імітаційного моделювання та проблематикою роботи збирально-транспортних комплексів, а це вчені: Лубко Д. В. [9], Зінов'єва О. Г. [9], Шаров С. В. [9], Кравець І. О. [10], Загорянський В. Г. [11], Гайкова Т. В. [11], Хорольський В. Л. [11], Кузєв І. О. [11], Домущі Д. [1], Петрик А. В. [2], Мамука Б. [3].

Проте сучасне становище даної проблемної області визначає необхідність ще більших досліджень та пошук оптимальних рішень щодо покращання ефективності роботи таких комплексів у житті.

Також, не зважаючи на значну кількість праць присвячених вивченню даної проблематики, чимало питань залишаються досі невіршеними і потребують переосмислення та корегування.

Формулювання цілі статті. Мета даної роботи виконати проектування імітаційної моделі роботи зернового збирально-транспортного комплексу для покращання показника ефективності його роботи.

Основна частина. Автомобільний транспорт є основним видом транспорту в сільському господарстві, на частку якого припадає до 80% всього обсягу перевезень. Транспортні витрати займають в загальному обсязі витрат на виробництво сільськогосподарської продукції значне місце – в собівартості сільськогосподарської продукції складають 15...40% [11].



При визначенні потрібної кількості автомобілів для обслуговування зернозбиральних комбайнів у складі збирально-транспортного комплексу для відповідних природно-кліматичних умов за відомими методиками невідомо, чи буде при даному співвідношенні комбайнів і автомобілів досягнута ефективна робота збирально-транспортного комплексу, тобто чи комбайни будуть наповнювати бункери зерном, а автомобілі своєчасно транспортувати зерно на тік або склади господарства.

Під час руху по полю зернозбиральних комбайнів у складі збирально-транспортного комплексу постійно виникають заявки на обслуговування (розвантаження бункерів наповнених зерном в кузов автомобіля). Після задоволення заявки на обслуговування (розвантаження бункера) комбайн продовжує роботу і виникають нові заявки. Різноманіття факторів, що впливають на хід збирально-транспортних операцій, визначає імовірнісний характер процесу, що, в свою чергу, зумовлює технологічні простой автомобілів в очікуванні розвантаження. Якщо технологічно необхідна величина простоїв автомобілів в очікуванні навантаження не враховується при визначенні потреби в рухомому складі при комплектуванні збирально-транспортних бригад, будуть простоювати комбайни, в результаті чого їх вироблення знизиться на 10–15% [11].

Основна вимога до побудови поточних процесів збирання врожаю є в забезпеченні роботи зернозбиральних (та інших) комбайнів без простоїв з причин відсутності транспортних засобів.

Такі системи вивчають шляхом моделювання. У нашому випадку імітаційне моделювання передбачало розробку алгоритму моделювання та використання «системи моделювання дискретних систем» (GPSS), розробленої математиками університету штату Мічиган, яка є найбільш поширеною системою імітаційного моделювання у світовій практиці.

Процес імітації – це проведення обчислювальних експериментів з моделями, які представлені як деякий набір комп'ютерних програм, виконаних, наприклад, у пакеті GPSS World. Порівняння характеристик (конструкцій, управлінь) об'єкта, що моделюється, здійснюється шляхом варіантних прорахунків. Особливу роль має можливість багаторазового відтворення модельованих процесів з подальшою їхньою статистичною обробкою, що дозволяє враховувати випадкові зовнішні впливи на об'єкт, що вивчається. На основі статистики, що набирається в ході комп'ютерних експериментів, робляться висновки на користь того чи іншого варіанту функціонування, або конструкції реального об'єкта, або сутності явища.

У складі збирально-транспортного ланки – m зернозбиральних комбайнів. У процесі збирання зернових культур вони стають



джерелом потоку заявок обслуговування у вигляді наповнених зерном бункерів. Для вивезення зерна необхідно передбачити транспортні засоби (канали обслуговування)

Для визначення технологічно необхідного часу простою автомобілів в очікуванні навантаження застосовується математичний апарат теорії масового обслуговування. У математичній моделі збирально-транспортна бригада (комплекс) представляється як системи масового обслуговування з очікуванням, у якій обслуговуючим апаратом є автомобіль, тим, що обслуговується - комбайн. Система масового обслуговування замкнута, з обмеженою кількістю автомобілів. При роботі комбайнів постійно виникають замовлення на обслуговування (розвантаження наповнених зерном бункерів). Після розвантаження бункеру (задоволення вимоги на обслуговування) комбайн продовжує роботу і виникають нові вимоги. Тому систему «комбайни-автомобілі» слід розглядати як замкнуту систему масового обслуговування, в якій виникає заявок на обслуговування в одиницю часу. При цьому кожен автомобіль (канал обслуговування) може задовольнити в одиницю часу μ заявок.

У сільськогосподарському виробництві найбільшого поширення набули системи масового обслуговування з очікуванням. Це такі системи, в яких заявка, що надійшла в момент часу (всі канали обслуговування зайняті), стає в чергу і чекає, поки не звільниться канал. Так, комбайн з наповненим бункером не залишає систему і чекає на черговий автомобіль для вивантаження зерна

Вимога, що надійшла в систему (зупинка комбайна з повним бункером), якщо застає все автомобілі зайнятими завантаженням інших комбайнів, змушене чекати своєї черги до тих пір, поки не звільниться один з автомобілів. Після обслуговування (розвантаження бункера) комбайни через деякий час знову стають на обслуговування.

Опишемо докладно принцип роботи розробленої нами імітаційної моделі. Структурна схема розробленої програми моделювання наведена на рисунку 1.

Моделювання починається, коли транзакт (комбайн) приступає до збирання. Каналами обслуговування є транспортні засоби. Система є замкнутою багатоканальною системою масового обслуговування. Потік вимог (заявок) обслуговування в ній характеризується інтенсивністю - λ , а пропускна спроможність каналів обслуговування заявок - інтенсивністю обслуговування - μ .

Комбайн, заповнений зерном, становиться в чергу (CHER) на очікування вільного транспортного засобу.

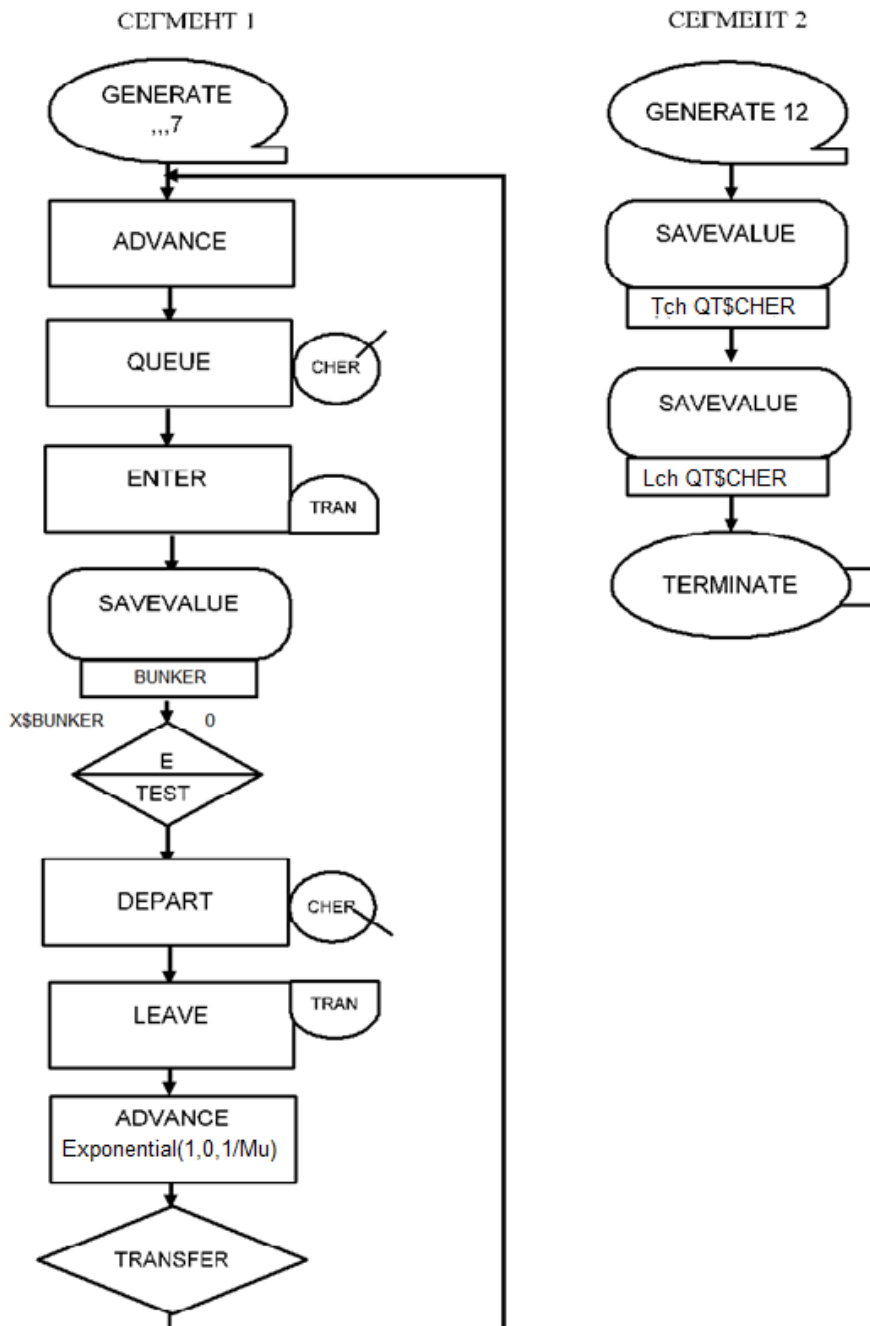


Рисунок 1. Структурна схема імітаційної моделі

При входженні в пристрій обслуговування TRAN він розміщує в BUNKER (комірку пам'яті) одиницю і затримується до тих пір, поки ця комірка не буде дорівнювати нулю (рис. 1).

Виявивши порожній BUNKER, комбайн одразу ж виходить з пристрою і звільняє місце наступному. Статистика очікування транспорту для комбайнів збирається за допомогою блоку CHER. Далі, після затримки на розвантаження, транзакт повертається в початок циклу. Після закінчення зміни, транзакти видаляються з моделі (імітація закінчення роботи).



За допомогою блоків SAVEVALUE $T_p(QT\$CHER+1/Mu)$ і SAVEVALUE Lch QA\$CHER визначаються відповідно час очікування комбайнів в черзі та середня довжина черги, тобто кількість комбайнів, які очікують транспортний засіб (рис. 1).

Примітка. В даній моделі ми не враховуємо перевезення транспортними засобами зерна на приймальний пункт і розвантаження їх, хоча для повноти експерименту необхідно врахувати всі фактори. Ми обмежимося тільки розподілом комбайнів за транспортними засобами.

Відповідно до цієї блок-схеми програмний код в пакеті GPSS буде виглядати наступним чином (дивись нижче).

Лістинг коду програми:

```
In EQU 15.85
Mu EQU 1.79
TRAN STORAGE 9
GENERATE , , , 7
A ADVANCE (Exponential(1,0,1/In))
  QUEUE CHER
  ENTER TRAN
  SAVEVALUEBUNK,1
  TEST E X$BUNK,0
  DEPART CHER
  LEAVE TRAN
  ADVANCE (Exponential(1,0,1/Mu))
  TRANSFER ,A
  GENERATE 12
  SAVEVALUE  $T_p(QT\$CHER+1/Mu)$ ; середній час простою техніки
  SAVEVALUE Lch QA$CHER; середня довжина черги
  TERMINATE 1
```

Після прогону моделі ми отримуємо дані про кількість входів транзактів в кожен блок моделі, коефіцієнт завантаженості каналів обслуговування, середній час перебування транзактів в моделі, середню кількість транзактів, що очікують на обслуговування.

Фрагмент лістингу роботи програми наведено на рисунку 2.

З результатів роботи розробленої програми у системі моделювання GPSS видно, що при використанні 7 транспортних засобів для 7 зернобиральних комбайнів завантаженість транспортних засобів дорівнює 99,3% (0,993). При цьому в середньому за зміну 6,9 комбайнів очікують вивантаження зерна, що свідчить про недостатність транспортних засобів для обслуговування комбайнів.

Висновки. Виконано проектування імітаційної моделі роботи зернового збирально-транспортного комплексу за допомогою системи



```
QUEUE          MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME  AVE.(-0) RETRY
CHER           7    7    7    0    6.953    11.919    11.919    0

STORAGE        CAP. REM. MIN. MAX.  ENTRIES AVL.  AVE.C. UTIL. RETRY DELAY
TRAN           7    0    0    7    7    1    6.953 0.993    0    0

SAVEVALUE      RETRY      VALUE
BUNKER         7        1.000
TP              0       12.478
LCH             0        6.953

FEC XN  PRI      BDT    ASSEM  CURRENT  NEXT  PARAMETER  VALUE
  9    0      24.000    9    0    11
```

Рисунок 2. Фрагмент лістингу роботи розробленої програми

імітаційного моделювання GPSS.

На підставі проведеного проектування імітаційної моделі зернового збирально-транспортного комплексу було визначено, що при використанні 7 транспортних засобів для 7 зернозбиральних комбайнів завантаженість транспортних засобів дорівнює 99,3% (0,993), що є гарним показником поліпшення ефективності роботи даного комплексу.

Список використаних джерел:

1. Домуші Д., Устюянов П., Єнакієв Ю., Ліпін А. Ефективність використання збирально-транспортних комплексів по експлуатаційним та енергетичним показникам. 2019.
2. Петрик А. В. Формування оптимальної інфраструктури транспортних систем в агропромисловому виробництві. *Вісник Національного транспортного університету*. 2013. №28. С. 371–379.
3. Мамука Б. Методи обґрунтування параметрів збирально-транспортних комплексів. Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура». 2019. С. 32.
4. Rogovskii I. L. Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С. 424–431.
5. Arifin Moh Zainal. Applications of Queuing Theory in the Tobacco Supply. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015, Volume 3. P. 255–261
6. Kleijnen J. P. C. Sensitivity Analysis of Simulation Models. *CentER Discussion Paper Series*. 2009. Vol. 11. P. 15. URL: <http://ssrn.com/abstract=1340449>



7. Harchol-Balter M. Performance Modeling and Design of Computer Systems: Queueing Theory in Action. *Cambridge University Press, Cambridge*. 2013. P. 576.

8. Villarreal Gonzalo Luján, De Giusti Marisa y Texier, José (2013). GPSS Interactive Learning *Environment*. *he Online Journal of New Horizons in Education*, vol. 3, no. 1 Pages 32–39. URL: <https://www.aacademica.org/marisa.de.giusti/23>

9. Лубко Д. В., Шаров С. В., Зінов'єва О. Г. Проектування імітаційної моделі роботи технологічної лінії очищення гною на тваринницькій фермі. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. 2022. Т. 33(72). №3. С. 56–60.

10. Кравець І. О. Імітаційне моделювання: навч. посіб. до виконання практ. робіт із дисциплін «Моделювання систем» та «Ситуаційні моделі». Чорномор. держ. ун-т ім. Петра Могили. Миколаїв: ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. 107 с.

11. Загорянський В. Г., Гайкова Т. В., Хорольський В. Л., Кузев І. О. Моделювання складу збирально-транспортного комплексу для врожаю зернових як системи масового обслуговування. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2019. №2. С.146–151.

Стаття надійшла до редакції 05.04.2023 р.

D. Lubko, O. Zinovieva

Dmytro Motorny Tavria state agrotechnological university

DESIGN OF A SIMULATION MODEL OF GRAIN HARVESTING AND TRANSPORTATION COMPLEX

Summary

Modern agricultural production is characterized by a significant increase in the volume of cargo transportation. Transport processes account for up to 35% of all labor costs and up to 40% of energy costs. At the current stage of development of agricultural production, the basis of means of transport is road transport. Along with road transport, tractor transport is widely used for intra-farm transportation. A significant volume, especially in the spring-summer and autumn periods, is accounted for by the transportation of crop production products, where technological transport is necessary in order to combine the functions of transport and technological machines (harvesting of grain, sugar beet, corn, harvesting hay, sunflower, silage etc).

The special role of transport in agricultural production is explained by the fact that transport, together with aggregates, directly participates in the execution of technological processes and operations. The timeliness of agricultural work within the established agricultural terms, productivity and the level of production cost depend on the correct organization of transportation, the equipment of agricultural enterprises with modern means of transport and their effective use.



The design of the simulation model of the operation of the grain collection and transport complex using the GPSS (General Purpose Simulating System) modeling system was carried out. With GPSS, we can create models in both continuous and discrete environments. The developed model will be used to conduct an experimental study of the operation of the grain collection and transport complex under various scenarios. The experiment will be accompanied by statistical processing of the results. This simulation will provide an opportunity to improve the efficiency and quality of work of the grain collection and transport complex.

On the basis of the conducted study of the design of the simulation model of the grain harvesting and transport complex, it was determined that when using 7 vehicles for 7 grain harvesters, the load of the vehicles is equal to 99.3%, which is a very good indicator of the efficiency of this set.

Key words: simulation model, design, grain collection and transport complex, block diagram of work, GPSS.