

Загорянський В.Г.,
Мороз М.М.,
Хорольський В.Л.,
Король С.О.,
Кузєв І.О.

Кременчуцький національний
університет імені Михайла
Остроградського,
м. Кременчук, Україна
E-mail: zagor_vlad@ukr.net

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ
АВТОМОБІЛІВ ДЛЯ ЗБИРАННЯ ВРОЖАЮ
ЗЕРНОВИХ НА ПРИКЛАДІ ГОСПОДАРСТВА
ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

УДК 631.554: 656.135.3: 519.248

Загорянський В.Г., Хорольський В.Л., «Визначення оптимальної кількості автомобілів для збирання врожаю зернових на прикладі господарства Полтавської області»

Застосована розроблена авторами раніше оптимізаційна модель визначення необхідної кількості автомобілів у складі збирального-транспортного комплексу при збиранні врожаю зернових для умов зернового господарства Карлівського району Полтавської області. Для визначення розрахункових параметрів, залежних від умов господарства, які входять у вираз для цільової функції побудованої оптимізаційної моделі, а саме середньої кількості заявок на обслуговування в одиницю часу і середнього часу очікування кожної заявки, розроблена розрахункова методика. Вихідні дані для визначення цих розрахункових параметрів об'єднані в три групи параметрів, які характеризують умови збирання врожаю зернових у даному господарстві, визначають характеристики зернозбирального комбайну, і характеристики транспортного засобу (автомобіля).

З використанням методів теорії масового обслуговування знайдено таке співвідношення кількості збиральної і транспортної техніки у складі збирального-транспортного комплексу, яке забезпечує мінімальні сумарні витрати (відповідають цільовій функції моделі, що раніше запропонована), що обумовлені простосом комбайнів і витратами на утримання автомобілів.

Визначено, що отримана за критерієм сумарних витрат оптимальна кількість автомобілів у складі збирально-транспортного комплексу відповідає збільшеній їх кількості у порівнянні з прийнятою кількістю автомобілів за розрахунковою методикою. Встановлено, що зі збільшенням кількості автомобілів сумарні витрати від простосів комбайнів і автомобілів спочатку знижуються, а потім зростають.

Ключові слова: врожай; зернові; комбайн; автомобіль; теорія масового обслуговування; модель; оптимізація; витрати.

Загорянський В.Г., Хорольський В.Л., «Определение оптимального количества автомобилей для уборки урожая зерновых на примере хозяйства Полтавской области»

Применена разработанная авторами ранее оптимизационная модель определения необходимого количества автомобилей в составе уборочно-транспортного комплекса при уборке урожая зерновых для условий зернового хозяйства Карловского района Полтавской области. Для определения расчетных параметров, зависящих от условий хозяйства, входящих в выражение для целевой функции построенной оптимизационной модели, а именно среднего количества заявок на обслуживание в единицу времени и среднего времени ожидания каждой заявки, разработана расчетная методика. Исходные данные для определения этих расчетных параметров объединены в три группы параметров, характеризующих условия сбора урожая зерновых в этом хозяйстве, определяющих характеристики зерноуборочного комбайна, и характеристики транспортного средства (автомобиль).

С использованием методов теории массового обслуживания найдено такое соотношение количества уборочной и транспортной техники в составе уборочно-транспортного комплекса, которое обеспечивает минимальные суммарные затраты (соответствуют целевой функции ранее предложенной модели), которые обусловлены простосом комбайнов и затратами на содержание автомобилей.

Определено, что полученное по критерию суммарных затрат оптимальное количество автомобилей в составе уборочно-транспортного комплекса соответствует увеличенному их количеству по сравнению с принятым количеством автомобилей по расчетной методике. Установлено, что с увеличением количества автомобилей суммарные затраты от простосив комбайнов и автомобилей сначала снижаются, а затем возрастают.

Ключевые слова: урожай; зерновые; комбайн; автомобиль; теория массового обслуживания; модель; оптимизация; затраты.

Zagoryanskii V. G., Khorol'skii V. L., «Determination of the optimal number of trucks for harvesting grains on the example of a farm of the Poltava region»

An optimization model developed by the authors has been applied to determine the required number of cars in the harvesting and transport complex when harvesting grain for grain conditions in the Karlovsky district of the Poltava region. To determine the design parameters that depend on the conditions of the economy included in the expression for the objective function of the constructed optimization model, namely the average number of service requests per unit time and the average waiting time for each application, a calculation method has been developed. The initial data for determining these calculated parameters are combined into three groups of parameters characterizing the conditions for harvesting grain in this farm, determining the characteristics of the combine harvester, and the characteristics of the vehicle (car).

Using the methods of the theory of queuing, we found such a ratio of the number of harvesting and transport equipment as part of the harvesting and transport complex that ensures the minimum total costs (correspond to the objective function of the previously proposed model), which are caused by the downtime of combines and the cost of maintaining cars.

It was determined that the optimal number of cars obtained by the criterion of total costs in the harvesting and transport complex corresponds to their increased number in comparison with the accepted number of cars according to the calculation method. It has been established that with an increase in the number of cars, the total costs from downtime of combines and cars first decrease, and then increase.

Key words: *harvest; cereals; combine harvester; cargo vehicle; queuing theory; model; optimization; expenses.*

Актуальність проблеми

Продуктивність збиральних і транспортних машин при збиранні врожаю зернових залежить від великої кількості факторів, вплив кожного з яких по-різному, причому дії деяких з них можуть взаємно врівноважуватися [1]. Сумарний же ефект їх впливу призводить до того, що замість результату, який однозначно визначається, отримують різні результати. Різноманіття факторів, що впливають на хід операцій, визначає імовірнісний характер процесу, що, в свою чергу, зумовлює технологічні простой автомобілів в очікуванні розвантаження. Якщо технологічно необхідна величина простой 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%.

Найчастіше ж трапляються випадки, коли в збирально-транспортні бригади включається невиправдано велика кількість автомобілів, міркуючи приблизно так: чим більше автомобілів на поле, тим менше простой комбайнів. Ці міркування вірні до певних меж, тобто до тих пір, поки простой автомобілів в очікуванні навантаження не перевищать технологічно необхідну величину. Після цього простой комбайнів практично не знижуються, а простой автомобілів різко збільшуються. Часто в таких умовах спостерігається картина, коли кілька автомобілів чекають наповнення бункера одного і того ж комбайна.

У математичній моделі збирально-транспортна бригада представляється у вигляді системи масового обслуговування з очікуванням, в якій обслуговуючим апаратом є автомобілі, а тим, що обслуговують, – комбайни. Особливість роботи системи полягає в тому, що вимога, яка надійшла в систему (зупинка комбайна з повним бункером), заставши всі автомобілі зайнятими, змушена чекати своєї черги до тих пір, поки не звільниться один з автомобілів. Після обслуговування (розвантаження бункерів) комбайни через деякий час знову стають джерелами вимог, тобто потік вимог надходить з обмеженого джерела, так що кількість вимог в системі не може перевищувати кількість комбайнів в бригаді (замкнута система).

Таким чином, дослідження системи «зернові комбайни – автомобілі» на прикладі зернових господарств Полтавської області методами теорії масового обслуговування, є актуальним.

Аналіз останніх досліджень

Прогресивний і широко розповсюджений груповий метод роботи збиральних агрегатів (комбайнів) дозволяє перевозити урожай з поля до місць його переробки або зберігання наступними способами [1,2,14]: трактором з одним або декількома причепами (тракторний поїзд); автомобілем в кузові; автомобілем в кузові і з причепом (автопоїзд). Отримана при комбайновому збиранні продукція може також завантажуватися у встановлений на комбайні бункер-накопичувач, з якого періодично розвантажується в транспортний засіб.

Щоб забезпечити безперебійну роботу збирально-транспортного комплексу (ЗТК), необхідно розрахувати потребу в транспортних засобах для перевезення продукції [3, 4,15].

Для моделювання транспортних процесів доцільним є використання методів теорії масового обслуговування [21, 22].

В роботі [5,16] розроблено оптимізаційна модель для визначення потрібної кількості вантажних автомобілів в збирально-транспортному комплексі для збирання зернових, в тому числі із застосуванням методів теорії масового обслуговування.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є використання розробленої авторами раніше оптимізаційної моделі для визначення раціональної кількості автомобілів в збирально-транспортному комплексі для збирання зернових із застосуванням методів теорії масового обслуговування на прикладі зернового господарства Полтавської області.

Методичний підхід в проведенні досліджень

Для визначення оптимальної ємності міжопераційного компенсатора збирально-транспортна бригада представляється як система масового обслуговування з втратами (простій комбайна з повним бункером в очікуванні розвантаження рівносильний втраті заявки).

Місткість компенсатора визначається виходячи з таких умов:

- заявки надходять в компенсатор місткістю, рівній n заявками, в випадкові моменти часу, розподілені по пуассонівського закону з параметром λ ;
- якщо заявка застає компенсатор повністю заповненим, то вона втрачається;
- транспортні засоби звертаються до компенсатора також в випадкові моменти часу;
- час обробки отриманого транспортним засобом масиву заявок випадкове, розподілене по показовому закону.

Місткість межопераційного компенсатора, яка вимірюється кількістю бункерів зерна марки комбайнів, що обслуговується, при заданій надійності обслуговування ($1 - P_{отк}$):

$$n = \frac{\lg P_{отк}}{\lg a - \lg(a + 1)}, a = \lambda t_{о.к}, \quad (1)$$

де $P_{отк}$ – ймовірність втрати заявки (зупинка комбайна через неможливість розвантаження зерна в компенсатор внаслідок його заповнення);

λ – інтенсивність потоку заявок (бункерів зерна) від групи комбайнів, бункерів/годину; $t_{о.к}$

– час вивантаження середньої кількості заявок, що знаходяться в компенсаторі, годин.

Оптимальна місткість компенсатора залежить не тільки від інтенсивності потоку заявок і ступеня надійності обслуговування, але і від місткості бункерів комбайнів, що обслуговуються:

$$\omega = \omega_k \cdot n, \quad (2)$$

де ω – місткість компенсатора,
 м^3 ; ω_k – місткість бункера комбайна, м^3 .

В даний час на збиранні зернових використовуються комбайни з місткістю бункерів від 1,8 до 3,0 м^3 [4,14,17].

На відміну від міжопераційного компенсатора, місткість міжзмінного компенсатора не залежить від зміни інтенсивності потоку заявок протягом зміни. При її розрахунку можна орієнтуватися на середню величину.

За умови рівномірного вивезення зерна протягом всього часу роботи транспортних засобів місткість міжзмінного компенсатора визначають за формулою

$$\omega = \frac{\lambda_i \cdot M \cdot (T_k - T_{об}) \cdot \omega_k}{T_a - 2T_{об}}, \quad (3)$$

де M – кількість комбайнів в бригаді;

$T_k, T_l, T_{об}$ – тривалість роботи комбайнів, автомобілів і тривалість обідньої перерви, годин.

Результати досліджень

Визначимо кількість автомобілів у складі ЗТК за побудованою оптимізаційною моделлю з використанням теорії масового обслуговування [5,15,18].

Змінною моделі виступає кількість n_a автомобілів, яка має бути, за критерієм мінімізації сумарних витрат на простої комбайнів і автомобілів, включена до збирально-транспортного комплексу для збирання врожаю зернових.

До розрахункових параметрів, залежних від умов господарства, які входять у вираз для цільової функції побудованої оптимізаційної моделі, належать середня кількість λ наповнених бункерів (заявок на обслуговування) в годину, і середній час W_q очікування кожної заявки, годин.

В роботі [5] наведений склад вихідних даних для визначення цих розрахункових параметрів. Вони об'єднані в три групи параметрів, які характеризують умови збирання врожаю зернових у даному господарстві, визначають характеристики зернозбирального комбайну, і характеристики транспортного засобу (автомобіля).

На прикладі зернового господарства «Сонячне» Карлівського району Полтавської області відомо (дані округлені), що збиральна площа зернових F складає 980 га; календарний термін збирання D – 15 днів; врожайність пшениці g_z – 3 т/га; коефіцієнт солостості δ_c – 1,5; густина зерна γ – 0,8 т/м³; тривалість робочого дня $T_{рд}$ – 10 годин; тривалість зміни $T_{зм}$ – 7 годин; коефіцієнт використання часу зміни τ – 0,55; коефіцієнт метеоумов $K_m = 0,7$; відстань l перевезення зерна автомобілем від поля до току – 5 км.

Для визначення розрахункових параметрів λ і W_q , що входять до виразу цільової функції розробленої оптимізаційної моделі, наведеної в роботі [5,19], можна використати методику, наведену в [6,20].

Значення λ , що відповідає кількості бункерів комбайнів, які будуть заповнені за одну годину, залежить від тривалості завантаження t_z і вивантаження t_b бункера комбайна.

У зерновому господарстві використовуються зернозбиральні комбайни «Єнісей-1200НМ».

Комбайн зернозбиральний самохідний «Єнісей-1200НМ» призначений для збирання зернових, зернобобових, круп'яних культур, соняшнику, насінників трав і сої прямим та роздільним комбайнуванням [9]. Може комплектуватись жаткою для збирання зернових колосових культур, платформою-підбирачем, приставками для збирання кукурудзи і соняшнику на зерно, сої.

Технічні характеристики комбайну «Єнісей-1200НМ» [9]: ширина захвату жатки $B_p = 5$ м; пропускна здатність молотарки $g_k = 6$ кг/с; ємність бункера $Q_\delta = 4,5$ м³; швидкість вивантаження зерна шнеком $v_{розв} = 17$ кг/с; коефіцієнт технічної готовності $K_T = 0,90$.

Тривалість вивантаження бункера комбайна визначається в залежності від густини γ зерна:

$$t_e = \frac{Q_\delta \cdot \gamma}{v_{розв}} \quad (4)$$

Для наших вихідних даних (t_e в секундах, $v_{розв}$ – в Т/с):

$$t_e = \frac{4,5 \cdot 0,8}{17 \cdot 10^{-3}} = 212,$$

що відповідає 3,5 хвилин.

Тривалість завантаження бункера комбайна зерном, хвилин:

$$t_3 = \frac{600 \cdot Q_\delta \cdot \gamma}{B_p \cdot v_p \cdot g_3}, \quad (5)$$

де v_p – робоча швидкість комбайна, км/год., що визначається за залежністю:

$$v_p = \frac{36 \cdot g_k}{B_p \cdot g_3 \cdot (1 + \delta_c)} \quad (6)$$

Для нашого випадку, км/год.:

$$v_p = \frac{36 \cdot 6}{5 \cdot 3 \cdot (1 + 1,5)} = 5,8$$

Таким чином, для нашого випадку тривалість завантаження, хвилин:

$$t_3 = \frac{600 \cdot 4,5 \cdot 0,8}{5 \cdot 5,8 \cdot 3} = 24,8$$

Таким чином,

$$\lambda = \frac{60 \cdot n_k}{t_3 + t_e}, \quad (7)$$

де n_k – розрахункова кількість комбайнів, що визначається за залежністю:

$$n_k = \frac{F}{D \cdot W_{зм} \cdot \alpha_{зм} \cdot K_m \cdot K_c}, \quad (8)$$

де $W_{зм}$ – змінна продуктивність комбайна, га:

$$W_{зм} = 0,1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot T_{зм} \cdot \tau, \quad (9)$$

$\alpha_{зм}$ – коефіцієнт змінності:

$$\alpha_{зм} = \frac{T_{pd}}{T_{зм}}, \quad (10)$$

для нашого випадку:

$$\alpha_{зм} = \frac{10}{7} = 1,43$$

Для нашого випадку, змінна продуктивність комбайна, га:

$$W_{зм} = 0,1 \cdot 5 \cdot 5,8 \cdot 7 \cdot 0,55 = 11$$

Таким чином, розрахункова кількість комбайнів:

$$n_k = \frac{980}{15 \cdot 11 \cdot 1,43 \cdot 0,7 \cdot 0,9} = 6,73$$

Приймаємо $n_k = 7$ комбайнів.

Отримана кількість комбайнів дозволяє створити дві технологічних ланки: в першій – 3 машини, а в другій – 4.

Далі виконується потрібної кількості соломозбиральної техніки за змінною продуктивністю. Приймаємо соломозбиральну машину ВНК-11, що агрегується з трактором Т-150К (продуктивність машини – до 11 т/год. [11], звідки змінна продуктивність агрегату $W_{зм}^c = 77$ т/зміну).

Кількість соломозбиральної техніки:

$$n_c = \frac{F \cdot g_3 \cdot \delta_c}{D \cdot W_{зм}^c \cdot \alpha_{зм} \cdot K_m \cdot K_2} \quad (11)$$

Для наших вихідних даних:

$$n_c = \frac{980 \cdot 3 \cdot 1,5}{15 \cdot 77 \cdot 1,43 \cdot 0,7 \cdot 0,9} = 4,24$$

Приймаємо $n_c = 5$ агрегатів.

Кількість бункерів зерна, що вміщаються в кузов використовуваного автомобіля:

$$n_b = \frac{q_a}{\gamma \cdot Q_b}, \quad (12)$$

де q_a – вантажопідйомність автомобіля, т.

Розрахункове значення n_b має бути близьким до цілого числа. Відповідно до вихідних даних вантажопідйомність автомобіля має бути близькою до 3,6 т. Приймаємо автомобіль-самоскид ГАЗ-САЗ-53Б ($q = 3,55$ т; $\alpha_q = 1,0$; швидкість руху з вантажем $v_{рв} = 40$ км/год., швидкість руху без вантажу $v_{рх} = 55$ км/год.; $K_r = 0,9$ [13]).

Розрахункова кількість бункерів зерна, що вміщаються в кузов використовуваного автомобіля:

$$n_b = \frac{3,55}{0,8 \cdot 4,5} = 0,99,$$

Приймаємо $n_b = 1$ бункер.

Тривалість обороту автомобіля, годин:

$$t_{об} = t_n + t_3 + t_2 + t_d + t_r + t_x, \quad (13)$$

де t_n – тривалість руху автомобіля по полю, годин;

t_3 – тривалість завантаження, годин;

t_r – тривалість руху з вантажем, годин;

t_d – тривалість оформлення документів, годин;

t_b – тривалість вивантаження зерна з бункера комбайна, годин;

t_x – тривалість руху без вантажу, годин.

За нормативами [12] тривалості руху автомобіля по полю і оформлення документів складають: $t_n = 5$ хвилин (0,084 годин), $t_d = 5$ хвилин (0,084 годин).

Тривалість руху з вантажем $t_r = 1/v_{рв} = 5/40 = 0,125$ годин, $t_x = 1/v_{рх} = 5/55 = 0,09$ годин.

Тривалість обороту автомобіля, годин:

$$t_{об} = 0,083 + 0,41 + 0,125 + 0,083 + 0,06 + 0,09 = 0,85$$

Розрахункова кількість транспортних засобів для обслуговування машинного комплексу [10]:

$$n_a = \frac{n_k \cdot W_2 \cdot g_3 \cdot t_{об}}{q_a \cdot \alpha_q \cdot K_2}, \quad (14)$$

де W_r – годинна продуктивність комбайна, га/год., дорівнює відношенню $W_{зм}/T_{зм} = 11/7 = 1,57$ га/год.; α_q приймаємо рівним 1, тобто кузов заповнюється повністю, тобто фактичне завантаження автомобіля, т, дорівнює номінальній вантажопідйомності автомобіля, т.

Таким чином,

$$n_a = \frac{7 \cdot 1,57 \cdot 3 \cdot 0,85}{3,5 \cdot 1 \cdot 0,9} = 8,9$$

Приймаємо $n_a = 9$ автомобілів.

Таким чином,

$$\lambda = \frac{60 \cdot 6,73}{24,8 + 3,5} = 14,3$$

У кузов автомобіля поміщається один бункер зерна, отже, за один рейс буде задовольнятися одна заявка на обслуговування.

Тоді пропускна здатність одного каналу обслуговування ($t_{об}$ – середній час обслуговування однієї заявки, годин, в нашому випадку буде дорівнювати тривалості $t_{об}$ обороту транспортного засобу, тобто $t_{об} = t_{об} = 0,85$ годин) при кількості n_3 заявок, рівній одиниці, буде дорівнювати:

$$\mu = \frac{1}{0,85} \cdot 1 = 1,18$$

Значить протягом 1 години один канал обслуговування (автомобіль) буде задовольняти 1,18 заявок.

Приведена інтенсивність потоку заявок (інтенсивність навантаження каналу) ρ , що виражає середню кількість заявок, що надходить за середній час обслуговування однієї заявки, складе

$$\rho = \frac{14,3}{1,18} = 12,1$$

Із умови $n_a > \rho$ (умова уникнення негативної імовірності) розглянемо збирально-транспортний комплекс, що включає 7 комбайнів та 13 автомобілів. Визначимо можливі стани системи.

Так як $7 < 13$, то стійкий режим функціонування системи масового обслуговування існує.

Імовірність того, що в системі немає заявок на обслуговування, тобто всі автомобілі простоюють в очікуванні наповнення бункерів комбайна зерном:

$$P_0 = \left(\sum_{k=0}^{13} \frac{12,1^k}{k!} + \frac{12,1^{13+1}}{13! \cdot (13 - 12,1)} \right)^{-1} = 0,0000025$$

Визначимо ймовірність того, що обслуговуванням зайнято 1...13 автомобілів за формулою:

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!} P_0 \quad (15)$$

Отримаємо $P_1 = 0,00003$; $P_2 = 0,00018$; $P_3 = 0,00074$; $P_4 = 0,00226$; $P_5 = 0,00549$; $P_6 = 0,0111$; $P_7 = 0,0192$; $P_8 = 0,0292$; $P_9 = 0,0393$; $P_{10} = 0,0477$; $P_{11} = 0,0526$; $P_{12} = 0,0531$; $P_{13} = 0,0496$.

Імовірність простоїв автомобілів в очікуванні розвантаження бункерів комбайнами:

$$P_{оч}^a = \frac{13 - 12,1}{13} = 0,067$$

Середня довжина черги (кількість комбайнів, які очікують розвантаження бункерів):

$$L_q = \frac{12,1^{13+1} \cdot 0,0000025}{13! \cdot 13 \cdot \left(1 - \frac{12,1}{13}\right)^2} = 10,28$$

Імовірність наявності черги (простоїв) комбайнів:

$$P_{оч}^k = 1 - 0,31 = 0,69$$

Середній час очікування комбайна, годин, який став в чергу на початок обслуговування:

$$W_q = \frac{10,28}{14,3} = 0,72$$

За даними господарства, вартість години простою зернозбирального комбайна $c_k = 149$ грн/год., а автомобіля $c_a = 44$ грн/год.

Сумарна величина збитку від вимушених простоїв комбайнів і витрат на утримання автомобілів, грн./год., складе:

$$C = 149 \cdot 14,3 \cdot 0,72 + 44 \cdot 13 = 1532,2 + 572 = 2104,2$$

Аналіз результатів розрахунку показує, що при даному співвідношенні комбайнів і автомобілів в збирально-транспортному комплексі ймовірність простоїв комбайнів в очікуванні автомобілів становить 69%, а автомобілів – 6,7% від робочого часу.

Збиток від простоїв комбайнів через несвоєчасне прибуття до них автомобілів становить 1532,2 грн./год., а витрати на утримання 13 автомобілів рівні 572 грн./год.

У таблиці 1 наведені результати розрахунку для різної кількості автомобілів в складі збирально-транспортного комплексу, що включає 7 комбайнів «Єнісей-1200НМ».

Таблиця 1

Результати розрахунку оптимальної кількості автомобілів у складі збирально-транспортного комплексу

Показник	Кількість автомобілів					
	13	14	15	16	17	18
$P_{оч}^a$	0,067	0,13	0,19	0,24	0,29	0,33
$P_{оч}^k$	0,69	0,51	0,42	0,38	0,35	0,34
L_q , шт.	10,28	3,29	1,43	0,69	0,34	0,17
W_q , год.	0,72	0,23	0,1	0,05	0,024	0,012
C_k , грн./год.	1532,2	490,9	213,4	102,2	50,6	25,3
C_a , грн./год.	572	616	660	704	748	792
C , грн./год.	2104	1106,9	873,4	806,2	798,6	817,3

З даних таблиці 1 випливає, що зі збільшенням кількості автомобілів сумарні витрати від простоїв комбайнів і автомобілів спочатку знижуються, а потім зростають. Мінімальні сумарні витрати отримані при 17 автомобілях. Для розглянутого ЗТК ця кількість автомобілів і є оптимальною.

Порівняємо оптимальний варіант (17 автомобілів) з варіантом ЗТК, що включає 13 автомобілів. Зниження сумарних витрат від простоїв комбайнів і автомобілів становить 1305,4 грн./год. При тривалості робочого дня 10 годин зниження сумарних витрат за 15-денний період збирання складе 326350 грн.

Висновки

Таким чином, оптимізаційна модель для визначення раціональної кількості автомобілів для збирання зернових із застосуванням методів теорії масового обслуговування, розроблена авторами раніше, використана для оптимізації складу ЗТК на прикладі зернового господарства Полтавської області, що довело її адекватність і прийнятність для розв'язання подібних задач в інших областях.

Список використаних джерел

1. Музильов Д. О., Стебаков О. Є. Методика визначення кількості одиниць техніки збирально-транспортного комплексу для різних технологій доставки зернових культур. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2014. № 2. С. 128–140.
2. Lütke Entrup, N., Oehmichen, J. (Hrsg.) (2000). *Lehrbuch des Pflanzenbaus. Band 2: Kulturpflanzen*. Verlag Th. Mann Gelsenkirchen. 856 s.
3. Teodorovic, D., Janic, M. (2017). *Transportation Engineering: Theory, Practice, and Modeling*. Butterworth-Heinemann. 894 p.
4. Петрик А.В. Методологія визначення раціональної структури зернових збирально-транспортних комплексів. *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія*. 2013. Вип. 11. С. 77–85.
5. 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. Вип. 2 (115). С. 146–151.
6. Мазнев Г. Є. Оптимізація збирально-транспортних комплексів методами теорії масового обслуговування. *Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ*. 2013. Т. 2, Вип. 93. С. 56–68.
- Абрамчук Л. М. Методологія визначення оптимальних технологічних параметрів транспортної інфраструктури при обслуговуванні зернових вантажопотоків. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2009. № 3. С. 105–111.
8. Зангиев А. А., Шпилько А. В., Левшин А. Г. *Эксплуатация машинно-тракторного парка*. Москва: КолосС, 2008. 320 с.
9. *Машины для збирання зернових та технічних культур: посібник* / За ред. В. І. Кравчука, Ю. Ф. Мельника. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. 296 с.
10. Артемов М. Е. *Курсовое и дипломное проектирование по эксплуатации машинно-тракторного парка*. Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2008. 326 с.
11. Халанский В. М., Горбачев И. В. *Сельскохозяйственные машины*. Москва: КолосС, 2004. 624 с.
12. *Типовые нормы выработки и расхода топлива на сельскохозяйственные механизированные работы. Часть 2*. Москва: РОСНИСАГРОПРОМ, 2000. 300 с.
13. *Краткий автомобильный справочник. Том 2. Грузовые автомобили* / Б. В. Кисуленко и др. Москва: ИПЦ «Финпол», 2004. 667 с.
14. Шраменко Н.Ю. Оценка затрат по обслуживанию потребителей при оперативном планировании процесса поставки зерновых грузов / Н.Ю.Шраменко // *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. — Х. : ХНТУСГ, 2018. — Вип. 12. — С.302-309.
15. Shramenko N., Muzylyov D. and Shramenko V. (2020) Methodology of Costs Assessment for Customer Transportation Service of Small Perishable Cargoes, *International Journal of Business Performance Management: Special Issue on: TBM 2019 Transformative Business Models – Disruptive Innovation in Finance, Logistics and Tourism*, 21(1/2).

16. Shramenko Natalya, Muzylyov Dmitriy, Karnaukh Mykola: The Principles of the Choice of Management Decisions Based on Fuzzy Logic for Cargo Delivery of Grain to the Seaport. *International Journal of Engineering & Technology* 7(4.3), 211 - 216 (2018).

17. Shramenko, N., Pavlenko, O. and Muzylyov, D. (2019) 'Information and Communication Technology: Case of Using Petri Nets for Grain Delivery Simulation at Logistics System', *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2353, pp. 935-949.

18. Бережна Н.Г., Біляєва О.С., Войтов В.А., Горяїнов О.М., Карнаух М.В., Кравцов А.Г., Кутя О.В., Музильов Д.О., Шраменко Н.Ю. Проблеми транспортно-логістичного забезпечення в аграрній галузі. Монографія. – Харків: Міськдрук, 2019. – 180 с.

19. Shramenko N., Muzylyov D. (2020) Forecasting of Overloading Volumes in Transport Systems Based on the Fuzzy-Neural Model. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. (Springer, Cham), pp. 311-320.

20. Muzylyov D., Shramenko N. and Shramenko V. (2020) Integrated Business-Criterion to Choose a Rational Supply Chain for Perishable Agricultural Goods at Automobile Transportations, *International Journal of Business Performance Management: Special Issue on: TBM 2019 Transformative Business Models – Disruptive Innovation in Finance, Logistics and Tourism*, 21(1/2).

21. Шраменко Н.Ю. Повышение эффективности функционирования терминальной системы в условиях ресурсосбережения / Н.Ю. Шраменко/ *Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр.* - Харків: ХНАДУ, 2013. – Вип. 60 – С. 22-26.

22. Шраменко Н.Ю. Определение технологических параметров функционирования терминального комплекса / Шраменко Н.Ю.// *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал* – Луганськ: 2010. - Вип. 7 (149). – С. 197 – 201.

References

1. Muzylyov, D. O. and Stebakov, O. Ye. "Metodyka vyznachennya kil'kosti odynyts' tekhniky zbyral'no-transportnoho kompleksu dlya riznykh tekhnolohiy dostavky zernovykh kul'tur" [Technique of definition for quantity pieces of equipment of the harvest and transport complex for different technologies of delivery of grain crops]. *Tekhnichnyy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv*. 2014. № 2. pp. 128–140.

2. Lütke Entrup, N., Oehmichen, J. (Hrsg.) (2000). *Lehrbuch des Pflanzenbaus. Band 2: Kulturpflanzen*. Verlag Th. Mann Gelsenkirchen. 856 s.

3. Teodorovic, D., Janic, M. (2017). *Transportation Engineering: Theory, Practice, and Modeling*. Butterworth-Heinemann. 894 p.

4. Petryk, A. V. (2013). "Metodolohiya vyznachennya ratsional'noyi struktury zernovykh zbyral'no-transportnykh kompleksiv" [Methodology of definition of the most rational structure of grain harvesting-transport complexes]. *Upravlinnya proektamy, systemnyy analiz i lohistyka. Tekhnichna seriya*. Iss. 11. pp. 77–85.

5. Zagoryanskii, V. G., Haykova, T. V., Khorol'skii V. L., Kuzev Y. O. (2019). "Modelyuvannya skladu zbyral'no-transportnoho kompleksu dlya vrozhayu zernovykh yak systemy masovoho obsluhovuvannya" [Modeling of the composition of the harvesting and transport complex for grain harvest as a queuing system]. *Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho*. Vol. 2 (115). pp. 146–151.

6. Maznyev, H. Ye. (2013). "Optymizatsiya zbyral'no-transportnykh kompleksiv metodamy teorii masovoho obsluhovuvannya" [Optimization of harvesting and transport complexes by methods of queuing theory]. *Mekhanizatsiya sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva. Visnyk KhNTUSG*. Vol. 2, Iss. 93. pp. 56–68.

Abramchuk, L. M. (2009). "Metodolohiya vyznachennya optymal'nykh tekhnolohichnykh parametriv transportnoyi infrastruktury pry obsluhovuvanni zernovykh vantazhopotokiv" [Methodology for

determining the optimal technological parameters of transport infrastructure in the maintenance of grain cargo flows]. *Systemni doslidzhennya ta informatsiyni tekhnolohiyi*. № 3. pp. 105–111.

8. Zangiev, A. A., Shpil'ko, A. V. and Levshin, A. G. (2008). *Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka* [Machine and tractor fleet operation]. KolosS, Moscow, Russia.

9. Kravchuk, V. I., Mel'nyk, Yu. (2009). *Mashyny dlya zbyrannya zernovykh ta tekhnichnykh kul'tur: posibnyk* [Machines for harvesting cereals and industrial crops: a guide]. UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho, Doslidnyts'ke, Ukraine.

10. Artemov, M. Ye. (2008). *Kursovoye i diplomnoye proyektirovaniye po ekspluatatsii mashinno-traktornogo parka* [Course and diploma design for the operation of the machine and tractor fleet]. Krasnoyar. gos. agrar. un–t, Krasnoyarsk, Russia.

11. Khalanskiy, V. M., Gorbachev, I. V. (2004). *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny* [Agricultural machines]. KolosS, Moskva, Russia.

12. *Tipovyye normy vyrabotki i raskhoda topliva na sel'skokhozyaystvennyye mekhanizirovannyye raboty. Chast' 2* (2000) [Typical rates of production and fuel consumption for agricultural mechanized work. Part 2]. ROSNISAGROPROM, Moscow, Russia.

13. Kisulenko, B. V. and oth. (2004). *Kratkiy avtomobil'nyy spravochnik. Tom 2. Gruzovyye avtomobili* [Brief car guide. Volume 2. Trucks]. IPTs «Finpol», Moscow, Russia

14. Shramenko N.Yu. Estimation of costs for servicing consumers during the operational planning of the process of delivery of grain cargo / N.Yu. Shramenko // Technical service agro-industrial, forest and transport complex. - Kh.: KhNTUSG, 2018. - VIP. 12. - S.302-309.

15. Shramenko N., Muzylyov D. and Shramenko V. (2020) Methodology of Costs Assessment for Customer Transportation Service of Small Perishable Cargoes, *International Journal of Business Performance Management: Special Issue on: TBM 2019 Transformative Business Models – Disruptive Innovation in Finance, Logistics and Tourism*, 21(1/2).

16. Shramenko Natalya, Muzylyov Dmitriy, Karnaukh Mykola: The Principles of the Choice of Management Decisions Based on Fuzzy Logic for Cargo Delivery of Grain to the Seaport. *International Journal of Engineering & Technology* 7(4.3), 211 - 216 (2018).

17. Shramenko, N., Pavlenko, O. and Muzylyov, D. (2019) 'Information and Communication Technology: Case of Using Petri Nets for Grain Delivery Simulation at Logistics System', *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2353, pp. 935-949.

18. Berezhna N.G., Bilyaeva O.S., Voitov V.A., Goryainov O.M., Karnaukh M.V., Kravtsov A.G., Kutya O.V., Muzilov D.O., Shramenko N. .YU. Problems of transport and logistic care in agrarian galuz. Monograph. - Kharkiv: Moscowdruk, 2019. - 180 p.

19. Shramenko N., Muzylyov D. (2020) Forecasting of Overloading Volumes in Transport Systems Based on the Fuzzy-Neural Model. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. (Springer, Cham), pp. 311-320.

20. Muzylyov D., Shramenko N. and Shramenko V. (2020) Integrated Business-Criterion to Choose a Rational Supply Chain for Perishable Agricultural Goods at Automobile Transportations, *International Journal of Business Performance Management: Special Issue on: TBM 2019 Transformative Business Models – Disruptive Innovation in Finance, Logistics and Tourism*, 21(1/2).

21. Shramenko N. Improving the efficiency of the terminal system in terms of resource conservation / N. Shramenko / *Bulletin of KHNADU*. - Kharkiv: KHNADU, 2013. - Vol. 60 - S. 22-26.

22. Shramenko N. Determination of technological parameters of the functioning of the terminal complex / N. Shramenko. // *Visnik of the Ukrainian National University of Economics Volodymyr Dahl: science journal - Lugansk*: 2010. - Vol. 7 (149). - C. 197 - 201.