

МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗБІЖЖЯ ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ АГРОХОЛДИНГУ

О.А. Воронков¹, І.Л. Роговський²

¹Голова циклової комісії «Транспортні технології»,
Відокремлений структурний підрозділ «Фаховий коледж інформаційних технологій
та землевпорядкування Національного авіаційного університету», Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0955-9081

²д. т. н., професор, завідувач кафедри технічного сервісу
та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка,
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-6957-1616

Анотація

Вступ. У багатьох роботах отримано дані, що ефективність зернового виробництва та прискорення його розвитку мають забезпечуватися прогресивною системою побудови виробничих процесів, що складається з трьох взаємопов'язаних параметрів: техніки, технології та організації. **Мета.** Стаття розширює аналітичні положення опису технологічної системи перевезення збіжжя збирально-транспортного комплексу в умовах агрохолдингу. **Результати.** Встановлено, що у складі збирально-транспортного комплексу агрохолдингу зернового спрямування автомобільний транспорт має свій транспортний процес. Перелік вантажів, якими є збіжжя зернової групи сільськогосподарських культур, $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ зі своїми технологічними властивостями $U(u_1, u_2, \dots, u_n)$ представлені як операнд, причому у процесі транспортування їхні властивості не змінюються, змінюється лише їх просторове розташування. Технологія транспортного процесу перевезення збіжжя складається з безлічі перевізних циклів $\Pi(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$, кожен із яких є функцією його параметрів. Уся технологічна система перевезень збіжжя збирально-транспортного комплексу може бути представлена математичною моделлю. Ця модель враховує технологічні параметри складних технічних систем: сумісність транспортних машин із сільськогосподарськими машинами, адаптивність складних технічних систем до умов навколишнього середовища й технологічних властивостей операнда, параметри транспортно-технологічних циклів. У реальних перевізних процесах операнда протягом доби виконується декілька транспортних циклів, кожен із яких має свої параметри. **Висновки.** У статті показано, що технологію перевезення збіжжя агрохолдингу необхідно розглядати методом об'ємного моделювання, за якого за основу розрахунків береться неподільний елементарний цикл, і встановлено всі втрати транспортного процесу перевезення зернових сільськогосподарських культур у період жнив.

Ключові слова: збіжжя, модель, агропромисловий комплекс, транспортна система, операнд.

MODEL OF TECHNOLOGICAL SYSTEM OF GRAIN TRANSPORTATION
OF HARVESTING AND TRANSPORT COMPLEX OF AGROHOLDING

O.A. Voronkov¹, I.L. Rogovskii²

¹Chairman of the Cycle Commission of Transport Technologies,
Separate structural subdivision "Professional College of Information Technologies
and Land Management of National Aviation University", Kyiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-0955-9081

²DS, Professor, Head of the Department of Technical Service and Engineering Management
named after M. P. Momotenko,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-6957-1616

Summary

Introduction. In many works it was found that the efficiency of grain production and its accelerated development should be provided by a progressive system of construction of production processes, consisting of three interrelated parameters: machinery, technology and organization. **Purpose.** This article expands the analytical provisions of the description of the technological system of grain transportation of the harvesting and transport complex in the conditions of agricultural holdings. **Results.** It was obtained that as part of the harvesting and transport complex of the agricultural holding of grain direction, road transport has its own transport process. The list of cargoes, which are grains of grain group of agricultural crops, $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ with their technological properties $U(u_1, u_2, \dots, u_n)$ are presented as an operand, and in the process of transportation their properties do not change, changes only their spatial location. The technology of the transport process of grain transportation consists of many transport cycles $\Pi(u_1, u_2, \dots, u_n)$, each of which is a function of its parameters. The whole technological system of grain transportation of the harvesting and transport complex can be represented by a mathematical model. This model takes into account the technological parameters of complex technical systems: compatibility of transport machines with agricultural machines, adaptability of complex technical systems to environmental conditions and technological properties of the operand, parameters of transport and technological cycles. In real transport processes, the operand performs several transport cycles during the day, each of which has its own parameters. **Conclusions.** In this paper, we show that the technology of grain transportation of agricultural holdings should be considered by the method of volumetric modeling, which is based on the calculations of the indivisible elementary cycle, and shows all the losses of the transport process of grain crops during harvest.

Key words: grains, model, agricultural complex, transport system, operand.

Вступ. Зростання обсягу зернової сільськогосподарської продукції потребує нових підходів під час вирішення транспортних проблем агропромислового комплексу України, що сприяють докорінному поліпшенню транспортного обслуговування його галузей. Нині транспортний потенціал агропромислового комплексу України є досить високим, його раціональні можливості досить значні. Проте розкрити їх повністю поки що не вдається, а показники ефективного використання автомобільного парку агропромислового комплексу України досі не найкращі.

Повне розкриття потенційних можливостей транспортного комплексу у крупнотоварному сільськогосподарському виробництві, якими є агрохолдинги, на сьогодні є актуальною науковою проблемою. Формування збирально-транспортних комплексів та вибір автомобілів має здійснюватися з урахуванням специфічних особливостей агрохолдингів, технологій перевізних процесів, а також особливостей конструкцій автомобілів, що визначають їх технологічну адаптивність до повного використання своїх експлуатаційних параметрів в умовах жнив зернових сільськогосподарських культур.

Постановка проблеми. Вирішення цих проблемних питань дасть змогу підвищити ефективність використання транспортних засобів агропромислового комплексу України завдяки повній реалізації потенційних можливостей кожної транспортної одиниці. Це зумовить зменшення частки транспортних витрат у собівартості виробництва зернової сільськогосподарської продукції та сприятиме значній економії коштів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Висока ефективність зернового виробництва та прискорений його розвиток мають забезпечуватися прогресивною системою побудови виробничих процесів, що складається з трьох взаємопов'язаних параметрів: техніки, технології та організації [1].

Під технологією розуміється сукупність біологічних, хімічних, фізичних та агротехнічних процесів, необхідних для отримання збіжжя [2]. Застосовувані в агропромисловому комплексі технології утворюють технологічну систему, тобто сукупність технічних систем (машин), навколишньої реальності – середовища та людей (операторів), які управляють виробництвом зернової продукції [3]. У процесі перетворень предмета впливу він змінюється, стан його доводиться до кінцевого моменту, готового до вживання [4]. При цьому операнд набуває нових властивостей і вищої вартості [5]. В основі побудови моделі технологічної системи перевезення збіжжя збирально-транспортного комплексу лежать такі кроки:

- щоб задовольнити потребу населення, вибирають об'єкт або задають необхідний його стан; він є кінцевим станом операнда (збіжжя), що є метою перетворення [6];
- операндом перетворень можуть бути будь-які предмети сільськогосподарського виробництва [7];
- вибирають відповідний початковий стан операнда як вхідну величину (або вона задається) – кінцевий стан операнда (збіжжя) може бути досягнутий із декількох початкових станів [8];
- зміна «початковий стан операнда → кінцевий стан операнда» називається перетворенням [9];
- перетворення викликається потребою в кінцевому стані операнда [10];
- перетворення виконується на основі деякої технології, являє собою впорядковану сукупність цілеспрямованих часткових змін [11];
- перетворення здійснюється шляхом матеріального, енергетичного або інформаційного впливу на операнд [12];
- вплив здійснюється трьома системами: операторами (людьми), технічними системами (машинами) та реальним оточенням (середовищем) [1].

Основними елементами системи перетворень є операнд, оператори, технологія [13]. Операнд – це пасивний елемент аналізованої системи. Він може ставитися до будь-якої категорії чи їх комбінації [14].

Формулювання цілей статті. Метою досліджень є формування аналітичних положень опису технологічної системи перевезення збіжжя збирально-транспортного комплексу в умовах агрохолдингів.

Виклад основного матеріалу. У складі збирально-транспортного комплексу агрохолдингу зернового спрямування автомобільний транспорт має свій виробничий процес – транспортний. З нього складається визначена технологічна система перевезення збіжжя (див. рис. 1).

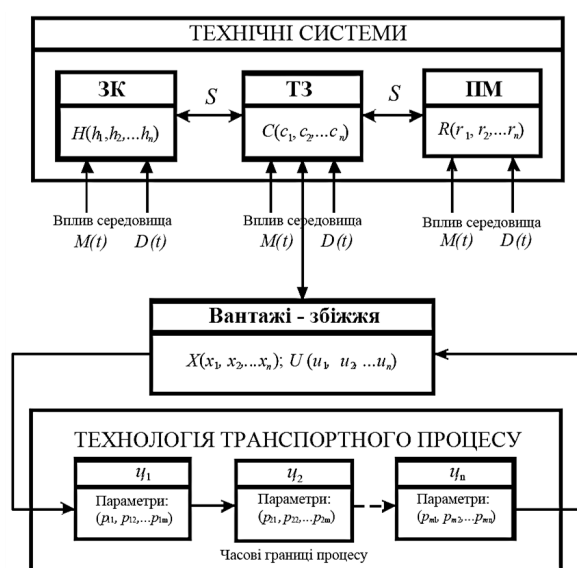


Рис. 1. Технологічна система перевезення збіжжя збирально-транспортного комплексу

У наведеній графічній моделі технологічної системи перевезення збіжжя беруть участь складні технічні системи: збиральні комбайни (ЗК) або перевантажувальні машини (ПМ) та транспортні засоби (ТЗ). Вони мають свої технологічні параметри: $H(h_1, h_2, \dots, h_n)$, $R(r_1, r_2, \dots, r_n)$ та $C(c_1, c_2, \dots, c_n)$ відповідно. Пристосованість або відповідність цих машин одна одній характеризується показником S . На складні технічні системи впливає навколишнє середовище (у домінуючому характері) – метеорологічні умови $M(t)$ та дорожні умови $D(t)$. Перелік вантажів, якими є збіжжя зернової групи сільськогосподарських культур, $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ зі своїми технологічними властивостями $U(u_1, u_2, \dots, u_n)$ представлені як операнд, причому у процесі транспортування їхні властивості не змінюються, змінюється лише їх просторове розташування.

Технологія транспортного процесу перевезення збіжжя складається з безлічі перевізних циклів $\Pi(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$, кожен із яких є функцією його параметрів. Уся технологічна система перевезень збіжжя збирально-транспортного комплексу може бути представлена такою математичною моделлю:

$$\left\{ \begin{array}{l} Com = f[H(h_1, h_2, \dots, h_n), R(r_1, r_2, \dots, r_n), C(c_1, c_2, \dots, c_n)] \\ Adap = f(H, R, C) \\ OR = f[M(t), D(t)] \\ OC = f[X(x_1, x_2, \dots, x_n), U(u_1, u_2, \dots, u_n)] \\ OP = f[\Pi(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)] = \sum \Pi_i(p_j) \end{array} \right. \quad (1)$$

Ця модель (1) враховує технологічні параметри складних технічних систем (перше рівняння системи (1)), сумісність транспортних машин із сільськогосподарськими машинами (друге рівняння системи (1)), адаптивність складних технічних систем до умов навколишнього середовища та технологічних властивостей операнда (третє та четверте рівняння системи (1)), параметри транспортно-технологічних циклів (п'яте рівняння системи (1)). Таким чином, у моделі (1) враховані всі найбільш значущі фактори технологічних умов.

Для здійснення транспортного процесу у складі збирально-технологічного комплексу, крім переміщення операнда, необхідно не тільки завантажити його в потрібному місці технологічного ланцюжка, а й вивантажити в точці призначення. Таким чином, елементарний технологічний цикл транспортного процесу складається з подачі транспортного засобу під навантаження, процесу навантаження, переміщення вантажу (перевезення) та вивантаження операнда.

Під технологією процесу перевезення збіжжя розуміється спосіб реалізації перевізного процесу шляхом розчленування його на систему послідовних взаємопов'язаних операцій та етапів. Операції, з яких складається процес перевезення, неоднорідні та відрізняються своєю тривалістю. Деякі операції, об'єднуючись, створюють певні етапи цього процесу, кожен із яких виконує свої завдання. Графічна об'ємна модель елементарного транспортного циклу вантажної роботи A_Q (обсягу перевезень збіжжя) у координатах q , V і t показана на рисунку 2,а.

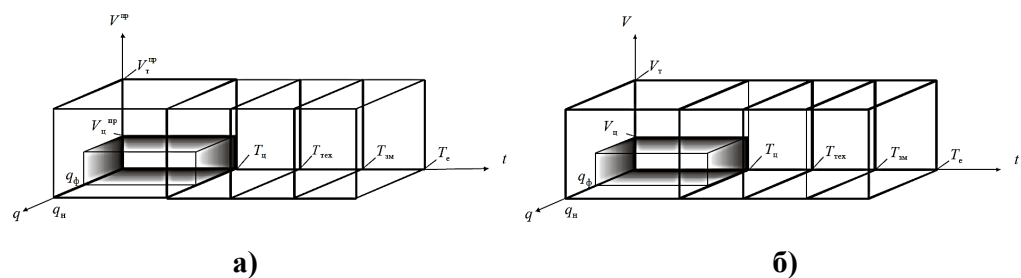


Рис. 2. Графічне зображення обсягів вантажної (а) та транспортної (б) роботи збирально-транспортного комплексу

Номінальна величина вантажної роботи, яка може бути виконана за добу A_{Q_n} , становить:

$$A_{Q_n} = q_n \cdot V_m^{np} \cdot T_e = N_{Q_n} \cdot T_e, \quad (2)$$

де T_e – експлуатаційний час за добу, год.

Фактична величина вантажної роботи A_{Q_ϕ} :

$$A_{Q_\phi} = q_\phi \cdot V_u^{np} \cdot T_u = N_{Q_\phi} \cdot T_u, \quad (3)$$

де T_u – сумарний час циклів за добу, год.

Графічна об'ємна модель елементарного транспортного циклу транспортної роботи A_p (вантажобігу) у координатах q , V і t показана на рисунку 2,б. Номінальна величина транспортної роботи за добу A_{p_n} в ткм:

$$A_{p_n} = q_n \cdot V_m \cdot T_e, \quad (4)$$

Фактична величина транспортної роботи A_{Q_ϕ} за той самий час:

$$A_{p_\phi} = q_\phi \cdot V_u \cdot T_u, \quad (5)$$

де V_u – циклова швидкість руху транспортної машини, км/год.

Терміни вантажної, транспортної роботи за їх виразами (2) та (4) узгоджуються з трактуванням роботи у фізиці, а також згадуються в роботах авторів у галузі теорії автомобільних перевезень. Можлива (номінальна) вантажна робота за добу A_{Q_n} укладена в об'ємі паралелепіпеда, що визначається добутком величин q_n , V_n^{np} , T_e , тобто виразом (2). За час роботи транспортного засобу протягом зміни $T_{зм}$ вантажна робота визначиться з виразу

$$A_Q = q_n \cdot V_m^{np} \cdot T_{зм}$$

за час циклу

$$A_Q = q_n \cdot V_m^{np} \cdot T_u.$$

Фактична вантажна робота A_{Q_n} менша за можливу через втрати невикористання номінальної вантажопідйомності q_n та циклові втрати швидкості руху транспортного засобу V_n^{np} , а також втрати добового фонду часу. На рисунку 2,а фактична вантажна робота протягом сумарного часу циклу показана у вигляді затемненого паралелепіпеда; решта об'єму (прозорий) виражає втрати вантажної роботи транспортної машини в тонах.

На рисунку 2,б показане графічне зображення об'ємів транспортної роботи, що відповідають значенням коефіцієнтів використання. Можлива (номінальна) транспортна робота за добу A_{p_n} укладена в об'ємі паралелепіпеда, що визначається добутком величин q_n , V_m , T_e згідно з виразом (4). За час роботи транспортного засобу протягом усєї зміни $T_{зм}$ транспортна робота визначиться з виразу

$$A_{p_n} = q_n \cdot V_m \cdot T_{зм}$$

за час циклу

$$A_{p_n} = q_n \cdot V_m \cdot T_u.$$

Фактична транспортна робота A_{p_ϕ} менша за можливу через втрати невикористання номінальної вантажопідйомності q_n , втрати часу циклу та річного фонду часу. На рисунку 2,б вона показана у вигляді затемненого паралелепіпеда. Реальні технології перевізних процесів під час виробництва зернової сільськогосподарської продукції складаються з безлічі операцій та етапів. Наприклад, етап навантаження є сумою операцій: установки під навантаження, відкриття бортів, навантаження, навантаження на ходу, переїзду від комбайна до комбайна, ущільнення операнда (вантажу) тощо, причому їх наявність і послідовність залежать від тієї

чи іншої прийнятої технології перевезень. Така сама картина спостерігається за багатьма іншими етапами. Із цього постає, що час циклу $T_{\text{ц}}$ складається із сумарних витрат часу на вантажні операції $T_{\text{во}}$, сумарних витрат часу на рух $T_{\text{р}}$ та сумарних витрат часу на розвантажувальні операції $T_{\text{ро}}$.

$$T_{\text{ц}} = \sum T_{\text{во}} + \sum T_{\text{ро}} + \sum T_{\text{р}}, \text{ год.} \quad (6)$$

Технологічний час $T_{\text{тех}}$:

$$T_{\text{тех}} = T_{\text{ц}} + \sum T_{\text{утв}}, \text{ год,} \quad (7)$$

де $T_{\text{утв}}$ – сумарний час операцій усунення технологічних відмов (дозавантаження, очищення вручну самоскидних кузовів, бортових у разі розвантаження за допомогою автоперекидачів, буксирування тощо).

Змінний час $T_{\text{зм}}$:

$$T_{\text{зм}} = T_{\text{тех}} + \sum T_{\text{дво}}, \text{ год,} \quad (8)$$

де $T_{\text{дво}}$ – сумарний час на додаткові внутрішньозмінні операції (отримання наряду, витрати часу на відпочинок та особисті потреби, щозмінне технічне обслуговування тощо).

Експлуатаційний час $T_{\text{е}}$:

$$T_{\text{е}} = T_{\text{зм}} + \sum T_{\text{уте}}, \text{ год,} \quad (9)$$

де $T_{\text{уте}}$ – сумарний час на усунення технічних відмов, сезонне обслуговування, переобладнання у зв'язку з переходом на іншу технологію тощо.

На рисунку 2 показані величини вантажної та транспортної робіт за один цикл. У реальних перевізних процесах операнда протягом доби виконується декілька транспортних циклів, кожен із яких має свої параметри. На рисунку 3 показана вантажна робота в розрізі часу доби під час виконання шести транспортних циклів: $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$. Вони мають певні параметри фактичного завантаження кузова $q_{\text{ф}}$: $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$; швидкості вантажно-розвантажувальних робіт $V^{\text{нр}}$: $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$; тривалості часу циклу $t_{\text{ц}}$: $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$.

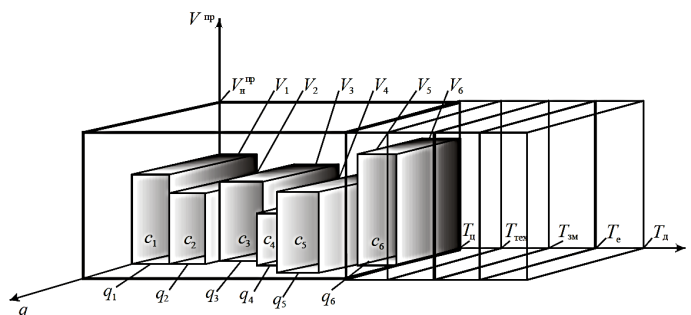


Рис. 3. Графічне зображення обсягів вантажної роботи під час виконання шести транспортних циклів збирально-транспортного комплексу за добу

Вантажна робота протягом доби $A_{Q_i}^c$ визначається за виразом:

$$A_{Q_i}^c = \sum_1^n (q_{\text{ф}i} \cdot V_i^{\text{нр}} \cdot t_{\text{ц}i}), \text{ т,} \quad (10)$$

де i – порядковий номер циклу; n – кількість циклів.

Транспортна робота протягом доби A_{pi}^c (див. рис. 4) визначається за виразом:

$$A_{pi}^c = \sum_1^n (q_{\phi_i} \cdot V_i^m \cdot t_{u_i}), \text{ ТКМ.} \quad (11)$$

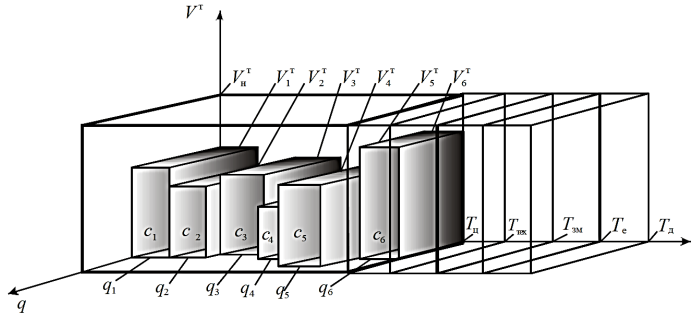


Рис. 4. Графічне зображення обсягів транспортної роботи під час виконання шести транспортних циклів збирально-транспортного комплексу за добу

Для парку автомобілів за добу вантажна A_{Qij}^c та транспортна роботи A_{pij}^c становлять:

$$A_{Qij}^c = \sum_1^J \sum_1^n (q_{\phi_{ij}} \cdot V_{ij}^{np} \cdot t_{u_{ij}}), \text{ Т} \quad (12)$$

$$A_{pij}^c = \sum_1^J \sum_1^n (q_{\phi_{ij}} \cdot V_{ij}^m \cdot t_{u_{ij}}), \text{ ТКМ,} \quad (13)$$

де j – порядковий номер автомобіля; J – кількість автомобілів, що перебувають в експлуатації.

Формули для визначення вантажної A_{Qijy}^c та транспортної A_{pijy}^c роботи для парку автомобілів за рік матимуть такий вигляд:

$$A_{Qijy}^c = \sum_1^Y \sum_1^J \sum_1^n (q_{\phi_{ijy}} \cdot V_{ijy}^{np} \cdot t_{u_{ijy}}), \text{ Т,} \quad (14)$$

$$A_{pijy}^c = \sum_1^Y \sum_1^J \sum_1^n (q_{\phi_{ijy}} \cdot V_{ijy}^m \cdot t_{u_{ijy}}), \text{ ТКМ,} \quad (15)$$

де y – порядковий номер дня експлуатації; Y – кількість днів в експлуатації кожного j -го автомобіля.

Запропонована система параметрів рухомого складу та технологічного процесу перевезень збіжжя збирально-транспортного комплексу дає можливість представити їх у графічному вигляді, підвищивши візуальну інформативність. Крім того, вона дає змогу розробити аналітичні вирази та на основі графіки – формули для розрахунку втрат за конкретними факторами технології перевезень збіжжя збирально-транспортного комплексу.

Висновки. Технологію перевезення збіжжя агрохолдингів необхідно розглядати методом об'ємного моделювання, за якого за основу розрахунків береться неподільний елементарний цикл, що показує всі втрати транспортного процесу перевезення зернових сільськогосподарських культур у період жнив.

ЛІТЕРАТУРА

1. Last generation instrument for agriculture multispectral data collection / M. Dubbini, A. Pezzuolo, M. De Giglio, M. Gattelli, L. Curzio, D. Covi. *CIGR Journal*. 2017. Vol. 19. P. 158–163.
2. Brown R., Richards A. Engineering principles of agricultural machinery. *ASABE*. 2018. Vol. 84. Iss. 2. P. 1120–1132.
3. Influence of the combine harvester parameter settings on harvest losses / M. Šotnar, J. Pospíšil, J. Mareček, T. Dokukilová, V. Novotný. *Acta Technologica Agriculturae*. 2018. Vol. 3. P. 105–108. URL: <https://doi.org/10.2478/ata-2018-0019>
4. Jain A., Palekar U. Aggregate production planning for a continuous reconfigurable manufacturing process. *Computers & Operations Research*. 2005. Vol. 32. Iss. 5. P. 1213–1236. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2003.11.001>
5. Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation / I. L. Rogovskii, L. L. Titova, S. A. Voinash, I. P. Troyanovskaya, V. A. Sokolova. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 720. P. 012110. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110>
6. Almosawi A., ALkhafaji A., Alqazzaz K. Vibration transmission by combine harvester to the driver at different operative conditions during paddy harvest. *International Journal of Science and Nature*. 2016. Vol. 7. Iss. 1. P. 127–133.
7. Voronkov O. A., Rogovskii I. L. Analytical prerequisites to transport and technological systems of transportation of production of crop production. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects* : Theses of International Scientific Conference, Dresden (Germany), Paris (France), May 3–12, 2017. Severodonetsk, 2017. P. 47–50.
8. On the tactical and operational vehicle routing selection problem / M. Samà, P. Pellegrini, A. D’Ariano, J. Rodriguez, D. Pacciarelli. *Transportation Research*. 2017. Vol. 76. Iss. 1. P. 1–15. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.12.010>
9. Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass / I. M. Kuzmich, I. L. Rogovskii, L. L. Titova, O. V. Nadtochiy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 677. P. 052002. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>
10. Harvesting and transport operations to optimise biomass supply chain and industrial biorefinery processes / R. Matindi, M. Masoud, P. Hobson, G. Kent, S. Liu. *International Journal of Industrial Engineering Computations*. 2018. Vol. 9. Iss. 3. P. 265–288. URL: <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2017.9.001>
11. Engine idling: a major cause of CO emissions & increased fuel costs / M. Sarwar, S. Ullah, U. Farooq, M. Durrani. *Journal*

- of Operations and Logistics Management*. 2017. Vol. 6. Iss. 2. P. 44–54.
12. Voronkov O. A., Rogovskii I. L. Intensification of transport process transport grain bread service working trailers. *Strategy of Quality in Industry and Education : Proceedings of XIV International Conference, Varna (Bulgaria), June 4–7, 2018: in 2 vols. Varna, 2018. Vol. 2. P. 45–49.*
 13. Conceptual bases of system technology of designing of logistic schemes of harvesting and transportation of grain crops / I. L. Rogovskii, L. L. Titova, S. A. Voinash, L. V. Berezova, E. V. Timofeev, M. N. Kalimullin, V. A. Sokolova. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 723. P. 032032. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032032>
 14. Modelling of harvesting machines' technical parameters and prices / T. Yezekyan, F. Marinello, G. Armentano, S. Trestini, L. Sartori. *Agriculture*. 2020. Vol. 10. P. 194–203. URL: <https://doi.org/10.3390/agriculture10060194>

REFERENCES

1. Dubbini, M., Pezzuolo, A., De Giglio, M., Gattelli, M., Curzio, L. & Covi, D. (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. *CIGR Journal*, 19, 158–163. [in English]
2. Brown, R. & Richards, A. (2018). Engineering principles of agricultural machinery. *ASABE*, 84 (2), 1120–1132. [in English]
3. Šotnar, M., Pospíšil, J., Mareček, J., Dokukilová, T. & Novotný, V. (2018). Influence of the combine harvester parameter settings on harvest losses. *Acta Technologica Agriculturae*, 3, 105–108. Retrieved from: <https://doi.org/10.2478/ata-2018-0019> [in English]
4. Jain, A. & Palekar, U. (2005). Aggregate production planning for a continuous reconfigurable manufacturing process. *Computers & Operations Research*, 32 (5), 1213–1236. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2003.11.001> [in English]
5. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Voinash, S. A., Troyanovskaya, I. P. & Sokolova, V. A. (2021). Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 720, 012110. Retrieved from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110> [in English]
6. Almosawi, A., Alkhafaji, A. & Alqazzaz, K. (2016). Vibration transmission by combine harvester to the driver at different operative conditions during paddy harvest. *International Journal of Science and Nature*, 7 (1), 127–133. [in English]
7. Voronkov, O. A. & Rogovskii, I. L. (2017). Analytical prerequisites to transport and technological systems of transportation of production of crop production. *Theses of International Scientific Conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems,*

- experience, prospects*” (Dresden (Germany), Paris (France), May 3–12, 2017). Severodonetsk, 47–50. [in English]
8. Samà, M., Pellegrini, P., D’Ariano, A., Rodriguez, J. & Pacciarelli, D. (2017). On the tactical and operational vehicle routing selection problem. *Transportation Research*, 76 (1), 1–15. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.12.010> [in English]
 9. Kuzmich, I. M., Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Nadochiy, O. V. (2021). Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677, 052002. Retrieved from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002> [in English]
 10. Matindi, R., Masoud, M., Hobson, P., Kent, G. & Liu, S. (2018). Harvesting and transport operations to optimise biomass supply chain and industrial biorefinery processes. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9 (3), 265–288. Retrieved from: <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2017.9.001> [in English]
 11. Sarwar, M., Ullah, S., Farooq, U. & Durrani, M. (2017). Engine idling: a major cause of co emissions & increased fuel costs. *Journal of Operations and Logistics Management*, 6 (2), 44–54. [in English]
 12. Voronkov, O. A. & Rogovskii, I. L. (2018). Intensification of transport process transport grain bread service working trailers. *Proceedings of XIV International conference “Strategy of Quality in Industry and Education”* (Varna, Bulgaria, June 4–7, 2018), in 2 vols. Varna, vol. 2, 45–49. [in English]
 13. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Voinash, S. A., Berezova, L. V., Timofeev, E. V., Kalimullin, M. N. & Sokolova, V. A. (2021). Conceptual bases of system technology of designing of logistic schemes of harvesting and transportation of grain crops. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 723, 032032. Retrieved from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032032> [in English]
 14. Yezekyan, T., Marinello, F., Armentano, G., Trestini, S. & Sartori, L. (2020). Modelling of harvesting machines’ technical parameters and prices. *Agriculture*, 10, 194–203. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/agriculture10060194> [in English]