Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 2, 97-102
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2019.02.097-102

УДК 631.354.2

ОПТИМІЗАЦІЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЗБИРАЛЬНИХ ЛАНОК ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

О. В. Надточій, Л. Л. Тітова

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: titovall@ukr.net.

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.
Бібл. 8, рис. 4, табл. 0.

Анотація. В статті приведена оптимізаційна модель визначення кількості зернозбиральних комбайнів та транспортних засобів у ланці. Визначені залежності кількості комбайнів від ширини захвату збирального агрегату, урожайності культури, віддалі перевезення урожаю та вантажопідйомності транспортного засобу. Використана оптимізаційна модель базується на системі масового обслуговування.

Проведені розрахунки показали, що з підвищенням урожайності з 30 до 50 ц/га, кількість агрегатів у ланці зменшується вдвічі, а при збільшенні вдвічі ширини захвату комбайна оптимальна кількість комбайнів падає з 5 до 2. В свою чергу зниження ємності бункера зернозбирального комбайна і збільшення віддалі транспортування зерна призводять до зниження кількості зернозбиральних комбайнів у ланці. Із зниженням урожайності на 10 ц/га кількість збиральних агрегатів у ланці збільшується в середньому на один агрегат.

Ключові слова: оптимізація, система масового обслуговування, зернозбиральний комбайн, термін експлуатації

Постановка проблеми

Аналіз сучасного рівня механізації сільськогосподарського виробництва України не завжди показує його високу ефективність. Ефективність частіше всього притаманна великим агропромисловим компаніям, холдингам. І хоча близько 100 наявних таких холдингів займають загалом третину всіх площ обробітку, левова ж частка земель обробляється середніми і малими підприємствами де проблема підвищення рівня землеробства є досить актуальною. З одного боку технічно орієнтуватися у аграрному виробництві слід саме на холдинги, як високоефективні виробництва. Проте тут, як і завжди, є і інший бік. У агрохолдингів у більшості це орендована земля. Чи станете ви робити ремонт у орендованій квартирі, щось покращувати, коли вона не ваша? Навряд чи. Так і з орендованою землею. Доки земля родить, дає прибуток - холдинги будуть орендувати. Виснаживши землю шукатимуть іншу. Щодо ефективності то тут є чому повчитися. Більшість же виробників мають значно нижчий рівень техніки і значно більші терміни її експлуатації.

Аналіз останніх досліджень

Кількість зернозбиральних комбайнів в Україні постійно знижується. Дещо покращилася ситуація в останні роки. Зокрема щорічне скорочення знизилося з 1800 (2009 р.) до 500 (2017 р.) [5]. Доля комбайнів із терміном експлуатації більше 10 років – 39, до 5 років – 18 %. У зв'язку з низькою продуктивністю технологічних машин терміни збирання перевищують нормативні у 2-3 рази [3], що в свою чергу призводить до «запланованих» втрат не менше чверті вирощеного урожаю. Не покращує проблему і вірогідний характер взаємодії машин, викликаючи зупинку взаємопов'язаних в технологічному процесі агрегатів.

Фришев С.Г. у своїй роботі [2] обґрунтував методику визначення складу збирально-транспортного комплексу, що враховує вартість простою машин і її вірогідного. Однак на структуру збирального комплексу значно впливає продуктивність технологічних машин, яка напряму залежить від терміну служби. Відомо, що коефіцієнт використання часу зміни зернозбиральних комбайнів на 10 році експлуатації знижується з 0,65 до 0,4. А при збільшенні терміну служби і зниженні надійності комбайнів технологічні простої техніки у поточних лініях збільшуються.

Мета досліджень

Мета досліджень – розробка моделі оптимізації навантаження на ланку зернозбиральних комбайнів, залежно від терміну експлуатації, на основі теорії масового обслуговування.

Результати досліджень

Для обґрунтування кількості збиральних агрегатів у ланці і розрахунку обумовлених простоїв

пропонується цільова функція, де за критерії прийняті мінімум втрат від простоїв агрегатів.

$$S(i,\tau(t)) = C_{PZ}(\tau(t))\cdot t_Z(i,\tau(t)) + C_{PT}(\tau(t))\cdot t_T(i,\tau(t)) \to \min \quad (1)$$

де C_{PZ} і C_{PT} - відповідно вартість години простою збирального та транспортного агрегатів;

t – термін експлуатації машини;

t_Z, t_T - відповідно середня тривалість простою комбайна та транспортного засобу протягом зміни, год:

$$t_Z(i,\tau(t)) = T_{ZM} w_Z(i,\tau(t));$$
$$t_T(i,\tau(t)) = T_{ZM} w_T(i,\tau(t)), \quad (2)$$

де $w_Z(i,\tau(t))$, $w_T(i,\tau(t))$ - доля простою комбайну і транспорту відповідно залежно від кількості агрегатів в ланці для різних термінів експлуатації технологічних машин.

Вартість простою збирального агрегату за деякими припущеннями можна виразити наступним чином:

$$C_{PZ} = \frac{B_K \alpha_K \eta_K}{T} + C_Z U K_B 0{,}1 B_p V \tau(t) + Z_K \quad (3)$$

де B_K - балансова вартість комбайна;

α_K - амортизаційні відрахування на зернозбиральний комбайн;

η_K - доля зайнятості машини на збиранні зернових культур;

T - час роботи машини на збиранні зернових культур;

C_Z - закупівельна вартість зерна;

U – урожайність культури, ц/га;

K_B - коефіцієнт втрат, частка/год;

B_p - ширина захвату жатки комбайна;

V – швидкість комбайна на збиранні, км/год;

$\tau(t)$ - залежність коефіцієнту використання часу зміни ЗК від терміну експлуатації;

Z_K - відрахування на заробітну плату комбайнера грн/год.

Вартість простою транспортного засобі у загоні ланки по збиранню з деякими спрощеннями можна подати у вигляді:

$$C_{PT} = \frac{B_T \alpha_T \eta_T}{T} + Z_T \quad (4)$$

де B_T - балансова вартість транспортного засобу;

α_K - амортизаційні відрахування на транспортний засіб;

η_K - доля зайнятості засобу на збиранні зернових культур.

Для визначення тривалості простою комбайна і транспортного засобу протягом зміни використовувалася теорія масового обслуговування, яка дозволяє врахувати випадковість зв'язків між технологічними і транспортними агрегатами.[4]

Складовими, що характеризують СМО, відносяться: кількість каналів обслуговування і (збиральні агрегати), число вимог n (транспортні агрегати), інтенсивність надходження вимоги на обслуговування до системи λ (число вимог, що повертаються до системи за одиницю часу), інтенсивність обслуговування вимоги μ (обернена величина часу обертання транспортного засобу).

Інтенсивність надходження вимог на обслуговування визначається як величина обернена часу повернення вимоги (часу обертання транспортного агрегату) $-t_o = t_t + t_p$:

$$\lambda = \frac{n}{t_o} \quad (5)$$

де t_t - час руху транспортного засобу від комбайну і назад, год.

Визначити цей час можна за залежністю:

$$t_t = \frac{2L}{v_S \varsigma} \quad (6)$$

де L – віддаль перевезення зерна, км;

v_S - середньотехнічна швидкість руху в обидва боки, км/год.;

ς - коефіцієнт швидкості;

t_t – час розвантаження, год;

n – кількість транспортних засобів, закріплених за одним зернозбиральним комбайном:

$$n = \frac{0.1 \cdot B_p \cdot V \cdot U \cdot \tau(t)}{W_T} \quad (7)$$

де W_T - продуктивність транспортного засобу, т/год., визначається за методикою Е.С. Венцель [1].

Інтенсивність обслуговування вимог визначаємо як величину, обернену часу обслуговування однієї вимоги (фактично час на заповнення бункера комбайном і вивантаження у транспортний засіб):

$$\mu = \frac{1}{t_N + t_B \cdot j} \quad (8)$$

Час, що витрачається на завантаження, напряму залежить від технічних характеристик транспортного засобу і визначається:

$$t_N = \frac{P_A}{V_B \gamma} \cdot (t_{Pid} + t_{BB}) \quad (9)$$

де P_A - вантажопідйомність автомобіля;

V_B - об'єм бункера;

t_{Pid}, t_{BB} - відповідно час під'їзду до комбайна та час вивантаження бункера;

t_B - час наповнення бункера зерном;

j – кількість бункерів, потрібних для заповнення транспортного засобу.

Середня кількість заявок які обслуговує комбайн за час обертання транспортного засобу характеризує інтенсивність їх надходження (α).

$$\alpha(i) = \frac{\lambda}{\mu} \tag{10}$$

Вірогідність, що всі зернозбиральні комбайни вільні від роботи визначаємо із залежності (i – можлива кількість комбайнів):

$$P_S(i) = \frac{1}{\sum_{k=0}^{i} \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^i}{(i-1)! \cdot (i-\alpha)}}, (k = 0,1...i) \tag{11}$$

Обернена вірогідність, що всі комбайни зайняті:

$$B_Z(i) = \frac{\alpha^i}{(i-1)! \cdot (i-\alpha)} \cdot P_S(i) \tag{12}$$

Для визначення часу простою комбайну в очікуванні обслуговування (час на повернення транспортного засобу під завантаження) слід знайти коефіцієнт використання:

$$\eta_k(i) = \frac{i - n_S(i)}{i} \tag{14}$$

Відповідно середня доля простою (технологічного) комбайну визначаємо:

$$t_k(i) = t_N \cdot \frac{1 - \eta_k(i)}{\eta_k(i)} \tag{15}$$

Середня довжина черги очікування обслуговування характеризує час простою транспортного засобу:

$$n_{CH}(i) = \frac{\dfrac{\alpha^{i+1}}{i \cdot i! \cdot \left(1 - \dfrac{\alpha}{i}\right)^2}}{\sum_{k=0}^{i} \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{i+1}}{i! \cdot (i-\alpha)}} \tag{16}$$

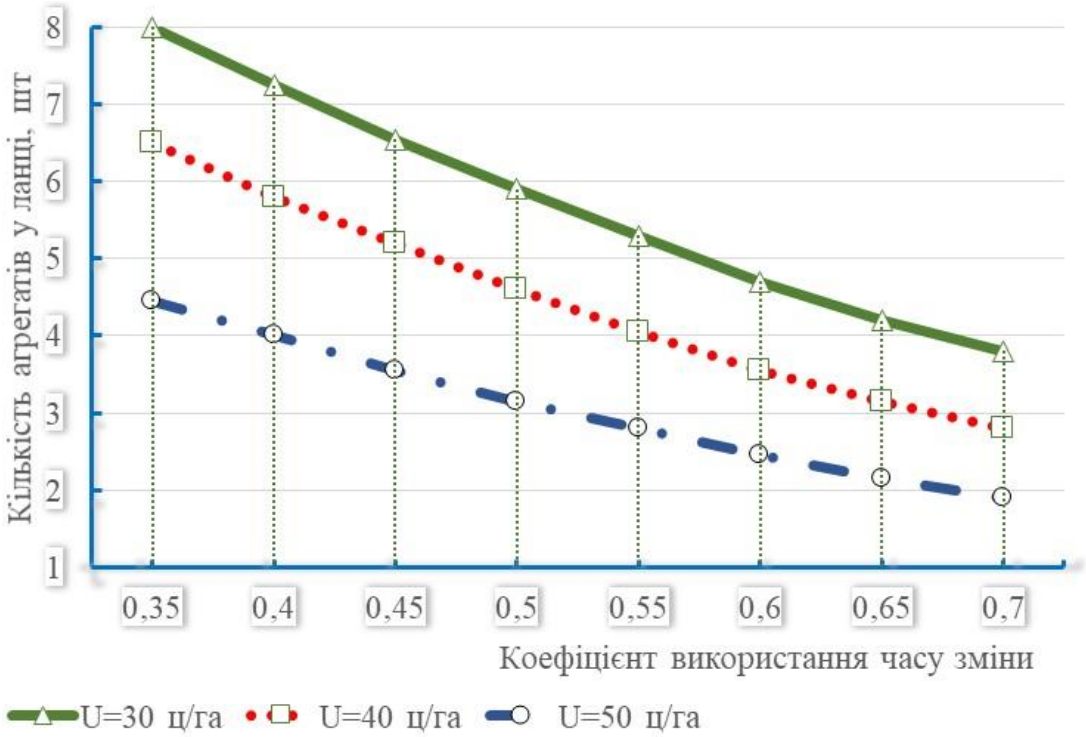

Рис. 1. Кількість зернозбиральних комбайнів при різній урожайності.
Fig. 1. Number of combine harvesters at different yields.

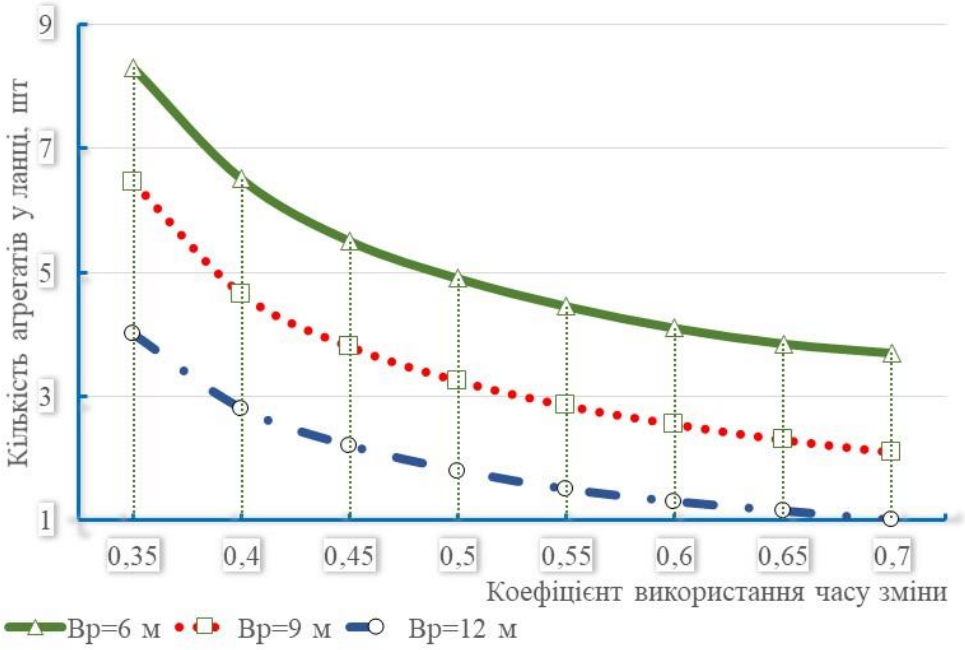

Рис. 2. Кількість зернозбиральних комбайнів при різній ширині захвату жатки.
Fig. 2. Number of combine harvesters at different reaper widths.

Доля технологічного простою транспортного засобу в очікуванні навантаження визначається за виразом:

$$t_T(i) = \frac{n_{CH}(i)}{\lambda} \tag{17}$$

Дослідження економіко-математичної моделі СМО показало. Що на структуру збиральної ланки значно впливає термін експлуатації машин (рис.1). Так, із збільшенням коефіцієнту використання часу зміни для зернозбиральних комбайнів з 0,45 до 0,65 (зменшення терміну експлуатації) кількість збиральних агрегатів у ланці знижується з семи до чотирьох одиниць, за рахунок збільшення часу чистої роботи (зменшення простоїв). Ці дані наведено для урожайності більшої 50 ц/га. З підвищенням урожайності з 30 до 50 ц/га, при коефіцієнті рівному 0,5 кількість агрегатів у ланці зменшується з шести до трьох. (рис. 1). При підвищенні продуктивності технологічних машин за рахунок використання широкозахватних жаток кількість машин у ланці теж зменшується (тут за рахунок підвищення продуктивності одного комбайна). Так при коефіцієнті використання часу зміни рівному 0,5, при використанні 6 м жатки ланка має складатися із 5 агрегатів. А при ширині 12 м така кількість падає уже до двох. (рис. 2).

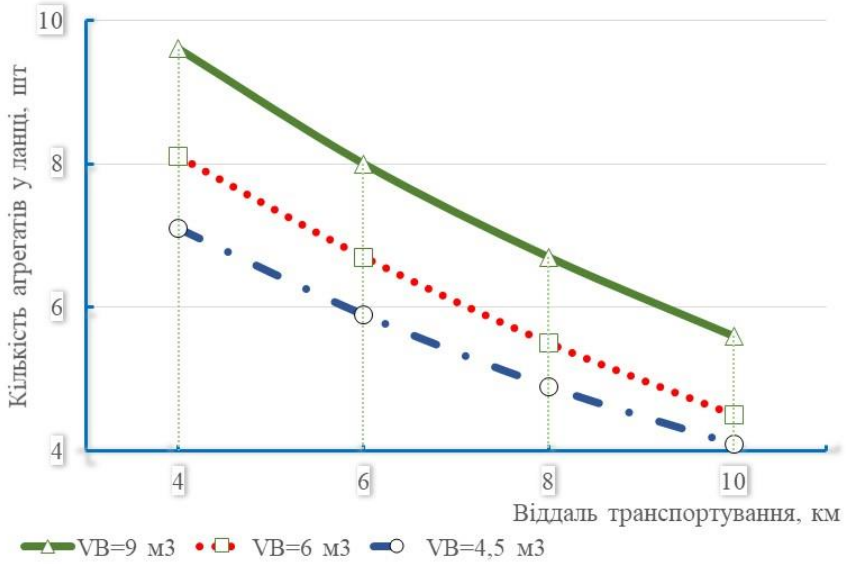

Рис. 3. Залежність кількості ЗК від віддалі транспортування зерна.
Fig. 3. Dependence of combine harvesters quantity on grain transport distance.

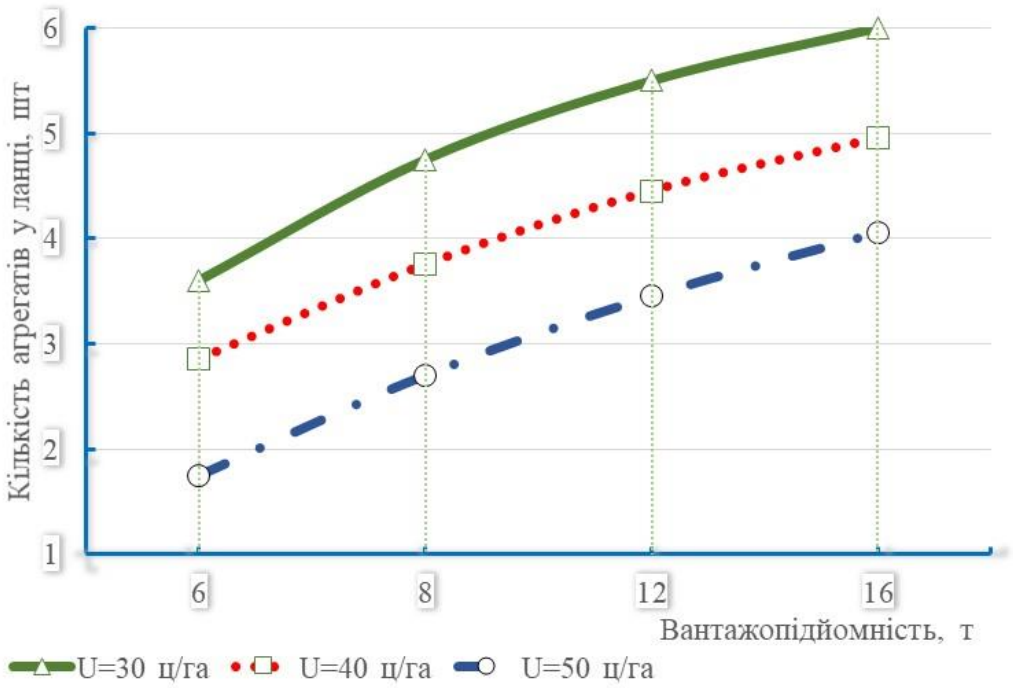

Рис. 4. Залежність кількості ЗК від вантажопідйомності транспортних засобів.
Fig. 4. Dependence of the number of combine harvesters on the capacity of vehicles.

Зниження ємності бункера зернозбирального комбайна і збільшення віддалі транспортування зерна призводять до зниження кількості зернозбиральних комбайнів у ланці (рис.3).

При збільшенні вантажопідйомності транспортних засобів з шести до шістнадцяти тон кількість технологічних машин у ланці збільшується з трьох до п'яти (при урожайності 40 ц/га). Із зниженням урожайності на 10 ц/га кількість збиральних агрегатів у ланці збільшується в середньому на один агрегат. (рис.4).

Висновки

Таким чином, для формування оптимальної організації збиральних комплексів слід зернозбиральні комбайни у ланці формувати враховуючи надійність машин. При цьому кількість ЗК з більшим терміном експлуатації має бути меншим у ланці аніж нових. Це дозволить знизити технологічні простої як збиральної так і транспортної техніки. Такий підхід підвищує продуктивність ланки в цілому і як наслідок знизить собівартість виробництва та підвищить конкурентоздатність на сучасному ринку.

Список літератури

1. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.

2. *Фришев С.* Перспективи та проблеми удосконалення збирально-транспортних процесів (продовження статті) / С. Фришев, С. Козупиця, О. Воронков // *Техніка і технології АПК.* - 2016. - № 11. - С. 6-8.

3. *Надточій О. В., Войтюк Д. Г, Демко А. А.* Моніторинг комбайнового ринку України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК.* Київ. 2010. Вип. 144. Ч. 2. С. 322–328.

4. *Надточій О. В., Тітова Л. Л.* Використання системи масового обслуговування для оптимізації затрат на обслуговування комбайнів / О.В. Надточій, Л.Л. Тітова // *Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК.* Київ. 2016. Вип. 251. С. 148–160.

5. *Надточій О., Тітова Л., Роговський І.* Аналіз динаміки комбайнового ринку України. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2016. Вип. 20. С. 254–261.

6. *Надточій О., Тітова Л.* Аналіз багатоканальної системи масового обслуговування при сталому і несталому режимах роботи зернозбиральних комбайнів.// *Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК.* Київ. 2018. Вип. 282. С. 160–173.

7. *Oleksandr Nadtochiy, Lyudmila Titova.* Simulation of agricultural processes. An International Quarterly *Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering.* Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2. P. 39 - 49.

References

1. *Wentzel E. S* Probability theory. Moscow: Science, 1969. 576 p.

2. *Frishev S.* Prospects and problems of improvement of harvesting and transport processes (continuation of the article) / S. Frishev, S. Kozupitsa, O. Voronkov //

Engineering and technologies of agroindustrial complex. - 2016. - № 11. - P. 6-8.

3. *Nadtochy O.V., Voityuk D.G., Demko A.A.* Monitoring of the combine market in Ukraine. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. *Series: APC Engineering and Energy.* Kiev. 2010. Vol. 144. Part 2. P. 322–328.

4. *Nadtochiy O.V., Titova L.L.* Use of queuing system for optimization of combine maintenance costs / OV. Superfluous, L.L. Titova // *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine. Series: APC Engineering and Energy*. Kiev. 2016. Vyp. 251. S. 148–160.

5. *Nadtochiy O., Titova L., Rogovsky I.* Analysis of the dynamics of the combine market in Ukraine. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for Ukrainian agriculture. Research. 2016. Vyp. 20. P. 254–261.

6. *Nadtochii O., Titova L.* Analysis of multichannel queuing system for stable and non-permanent modes of operation of combine harvesters. // *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine. Series: APC Engineering and Energy.* Kiev. 2018. Vip. 282. P. 160–173.

7. *Oleksandr Nadtochiy, Lyudmila Titova.* Simulation of agricultural processes. An International Quarterly *Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering.* Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2. P. 39 - 49.

ОПТИМИЗАЦИЯ НАГРУЗКИ УБОРОЧНОЙ ЗВЕНЬЕВ ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

О. В. Надточий, Л. Л. Титова

Аннотация. В статье приведена оптимизационная модель определения количества зерноуборочных комбайнов и транспортных средств в звене. Определены зависимости количества комбайнов от ширины захвата уборочного агрегата, урожайности культуры, расстояния перевозки урожая и грузоподъемности транспортного средства. Использована оптимизационная модель базируется на системе массового обслуживания.

Проведенные расчеты показали, что с повышением урожайности с 30 до 50 ц/га, количество агрегатов в звене уменьшается вдвое, а при увеличении вдвое ширины захвата комбайна оптимальное количество комбайнов падает с 5 до 2. В свою очередь снижение емкости бункера зерноуборочного комбайна и увеличения расстояния транспортировки зерна приводят к снижению количества зерноуборочных комбайнов в звене. Со снижением урожайности на 10 ц/га количество уборочных агрегатов в звене увеличивается в среднем на один агрегат.

Ключевые слова: оптимизация, система массового обслуживания, зерноуборочный комбайн, срок эксплуатации

OPTIMIZATION OF THE LOAD OF THE CLEANING LINK IN DEPENDING ON THE SERVICE LIFE

O. V. Nadtochyi, L. L. Titova

Abstract. The article describes an optimization model for determining the number of combine harvesters and vehicles in the link. Dependences of the number of combines on the width of the harvesting unit's harvesting capacity, the crop yield, the long haulage of the crop and the load capacity of the vehicle were determined. The optimization model used is based on queuing.

The calculations showed that with increasing the yield from 30 to 50 c / ha, the number of units in the link is halved, and when the harvesting width is doubled, the optimum number of combines falls from 5 to 2. In turn, reducing the capacity of the combine harvester and increasing the harvesting capacity grain transportation leads to a decrease in the number of combine harvesters in the link. With the decrease in yield by 10 c / ha, the number of harvesting units in the link increases by an average of one unit.

Key words: optimization, queuing system, combine harvester, service life.

О. В. Надточій ORCID 0000-0002-1849-9538.
Л. Л. Тітова ORCID 0000-0001-7313-1253.