

УДК 631.1

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ МАШИН ЗА ПОКАЗНИКАМИ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ, ЕКОНОМІЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

В. О. Борисенко

Український науково-дослідний інститут продуктивності агропромислового комплексу, Україна.

Стаття зі спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: borisenko@ukr.net.

Історія статті: отримано – квітень 2021, акцептовано – серпень 2021, опубліковано – 30 вересня 2021 року.
Бібл. 27, рис. 0, табл. 2.

Анотація. У статті викладено результати досліджень по обґрунтуванню вибору оптимальних комплексів машин за показниками техніко-технологічної, економічної та екологічної ефективності. Оптимізація комплексів машин у рослинництві проводиться для кожної технологічної операції за експлуатаційними показниками машин відповідно до технічних характеристик машин з урахуванням природних та технологічних умов виконання робіт. У статті розглянуто обґрунтування вибору посівного агрегату на базі імітаційного моделювання роботи агрегату на протязі робочої зміни. В результаті моделювання отримано значення техніко-експлуатаційних показників сівалок: продуктивності та витрат палива, на основі яких визначають показники економічної та екологічної ефективності.

Ключові слова: витрати палива, ефективність техніко-технологічна, економічна, екологічна, імітаційне моделювання, оптимізація комплексів машин, продуктивність техніко-технологічна.

Постановка проблеми

Стабільний розвиток аграрного сектору залежить від ефективного використання природо-ресурсного потенціалу сільськогосподарських підприємств [1-3]. Разом з тим, нинішній екологічний стан України характеризується «переспоживанням» природних ресурсів [1, 4, 5]. Сільськогосподарське виробництво впливає на стан компонентів навколишнього природного середовища – воду та атмосферне повітря [6-9].

Використання сільськогосподарської техніки в польових роботах, а також при транспортуванні продукції та сировини спричиняє викиди забруднюючих речовин в атмосферу, а отже впливає і на стан повітря [10-12]. Отже, виникає необхідність вироблення механізмів щодо обґрунтування вибору оптимальних комплексів машин за показниками техніко-технологічної, економічної та екологічної ефективності [13], та з метою вдосконалення

агроекологічних умов функціонування сільського господарства [14-16].

Аналіз останніх досліджень

Обґрунтування технології організаційного моделювання управління підприємством, що базується на екологічних факторах та інструментарій оцінювання розвитку підприємств на еколого-економічних засадах запропоновано проф. Швиданенко Г. О. та Криворучкіної О. В. Ними доведено, що зростання продуктивності ресурсів є пріоритетним фактором екологізації виробництва [2, 17-20].

У роботах М. К. Діденка, В. Д. Гречкосія, І. І. Мельника, С. М. Бондаря [3] розроблена математична модель дає змогу визначати раціональні структури посівних площ як основу для обґрунтування раціонального складу машинних агрегатів та комплексів машин у системі сівозмін господарства [21-23].

В наукових працях В. І. Пастухова запропоновано шляхи вирішення проблеми підвищення ефективності використання машин у складі комплексів при виробництві продукції рослинництва. Розроблена система критеріїв оцінки комплексів машин, які охоплюють витрати ресурсів під час виконання технологічного процесу, реалізацію біологічного потенціалу рослин та показники впливу функціонування сільськогосподарської техніки на довкілля [4, 24-27].

Мета досліджень

Метою дослідження є обґрунтування вибору оптимального комплексу машин за показниками техніко-технологічної, економічної та екологічної ефективності. Для досягнення поставленої мети необхідно: 1) розробити методичні підходи визначення техніко-технологічної ефективності сільськогосподарського агрегату з використанням імітаційного моделювання; 2) визначити показники

техніко-технологічної та економічної ефективності на прикладі посівного агрегату; 3) провести аналіз отриманих результатів та обґрунтувати вибір оптимального машинного агрегату для експлуатації в заданих умовах роботи.

Результати досліджень

В сучасних ринкових умовах перед сільгоспвиробниками з різнотипними посівними площами та пропозиції на ринку широкої номенклатури техніки актуальною є проблема оптимізації комплексів машин, їх оцінки при виборі та застосуванні у виробництві.

Обґрунтування вибору оптимальних комплексів машин за показниками техніко-технологічної, економічної та екологічної ефективності по-перше, передбачає для кожної технологічної операції проведення розрахунків по визначенню експлуатаційних показників машин відповідно до технічних характеристик машин з урахуванням природних та технологічних умов виконання робіт, на базі яких можливо визначити необхідні показники ефективності.

Важливим агротехнічним прийомом є сівба, від якого залежать ефективність наступних агроприймів. Для оцінки техніко-технологічної, економічної та екологічної ефективності посівних агрегатів, насамперед, необхідно визначити технологічні параметри виконання даної технологічної операції. Швидкість руху посівних агрегатів звичайно не перевищує 9 км/год. Більш потужний енергозасіб з більшою кількістю сівалок в агрегаті використовуються на полях з більшою площею та довжиною гону більшою за 600 м [5]. Ширина поворотної смуги для агрегату з однією сівалкою повинна бути рівною чотирьом робочим захватам, а при використанні декількох сівалок – трьом [6]. Сівалки по можливості заправляють посівним матеріалом за межами поля, з виключенням можливості простоїв агрегатів.

Основними техніко-експлуатаційними показниками сільськогосподарських агрегатів є продуктивність (норма продуктивності за одиницю часу) і витрати палива на одиницю виконаної роботи (гектар).

Продуктивність польового агрегату за годину основної роботи, визначається швидкістю його переміщення при виконанні технологічної операції і ширини захвату робочих органів машин.

Витрати пального агрегатом за зміну, кг/год, розраховують за формулами [8]:

$$Q = Q_{op} \times T_{op} + Q_n \times T_n + Q_{пер} \times T_{пер} + Q_x \times T_x \quad (1)$$

$$T_x = T_z + T_{oe} + T_{нзр} + T_{нр} + T_{ун} + T_{в} + T_{нр} + T_{ом} \quad (2)$$

де Q_{op} , Q_n , $Q_{пер}$, Q_x - годинні витрати пального при основній роботі, поворотах, переїздах, холостій роботі двигуна, кг/год, відповідно; T_{op} - час виконання основної роботи; T_n - час на виконання поворотів; $T_{пер}$ - тривалість переїздів, містить елементи часу на: переїзд до місця завантаження та в зворотному

напрямку; проїзд гону вхолосту; інші допоміжні операції; переїзди до місця роботи, T_x - час холостой роботи двигуна; T_z - час на завантаження робочого матеріалу; $T_{ое}$ - час на щозмінне технічне обслуговування енергозасобу, що включає також заправку паливом; $T_{нзр}$ - час на підготовку та закінчення робіт: переведення в робоче і транспортне положення, агрегування сільськогосподарської машини з енергозасобом, одержання наряду і здавання роботи; $T_{нр}$ - час на проведення наладки та регулювання; $T_{ун}$ - час на усунення технологічних несправностей; $T_{в}$ - час на відпочинок (норматив в залежності від тяжкості робіт); $T_{нр}$ - час на холості переїзди: переїзди на початку та наприкінці зміни, з ділянки на ділянку, на початкову позицію для виконання технологічного процесу; $T_{ом}$ - час на щозмінне технічне обслуговування с.-г. машини.

Найбільш точно годинні витрати палива визначаються за регуляторною характеристикою, відповідно до використаної ефективної потужності двигуна на виконання елементів технологічної операції. Аналізуючи графічні залежності годинних витрат палива двигуна від його ефективної потужності, годинні витрати палива в аналітичних розрахунках для досягнення найбільшої точності, прийнятно знаходити за залежністю [9]:

$$G_{ТД} = a \times N_e + b, \text{ кг/год} \quad (3)$$

де N_e - ефективна потужність двигуна на елементарній ділянці роботи агрегату, кВт; a , b - коефіцієнти рівняння регресії залежності годинних витрат палива від ефективної потужності.

Коефіцієнти a і b визначаємо з регуляторної характеристики двигуна енергозасобу. Для цього з регуляторної характеристики беремо значення годинних витрат палива $G_{Тном}$ для номінальної потужності N_{enom} та значення годинних витрат палива $G_{Тном}$ для будь-якої точки ефективної потужності N_e з початку залежності. Використовуючи ці значення, коефіцієнти a і b розраховуємо зі співвідношень [9]:

$$a = \frac{G_{Тном} - G_T}{N_{enom} - N_e} \quad (4)$$

$$b = \frac{G_{Тном} + G_T - a \times (N_{enom} + N_e)}{2} \quad (5)$$

Значенню коефіцієнта b відповідають годинні витрати палива двигуном при його холостій роботі. Оскільки це значення відповідає номінальній частоті обертання колінчастого вала двигуна, то для розрахунку витрат пального за час робочої зміни, коли агрегат не рухається, зменшуємо його в 2 рази, згідно з формулою витрат палива на холостому ходу двигуна при мінімальній частоті обертання колінчастого вала, кг/год [7]:

$$G_{м.х} = (0,12 \dots 0,15) G_{н.ном} \quad (6)$$

При відсутності регуляторної характеристики двигуна значення $G_{Тном}$, G_T визначаємо за формулами

витрат палива на холостому ході двигуна при максимальній частоті обертання колінчастого вала, кг/год [7]:

$$G_{х.х} = (0,27 \dots 0,30) G_{н.ном} \quad (7)$$

Якщо відсутні швидкісні характеристики двигунів, то максимальну (номінальну) годинну витрату палива можна визначити за формулою, кг/год [7]:

$$G_{н.ном} = g_{еном} \times N_{еном} / 1000 \quad (8)$$

де $g_{еном}$ – питома ефективна витрата палива при номінальному режимі, г/кВт·год.; $N_{еном}$ – номінальна ефективна потужність двигуна, кВт.

При визначенні витрат палива розраховується ефективна потужність двигуна з урахуванням маси посівного матеріалу і добрив, питомого опору сіялки, за формулою [7]:

$$N_e = \left[\frac{M_{емм} \times g \times (f_k \pm \sin \alpha) \times 10^{-3}}{\eta_{тр} \times \eta_{\delta}} + k_v \times b \right] \times \frac{V_p}{3,6} \quad (9)$$

$$M_{емм} = M_{тр} + M_c + M_{пм} + M_{\delta} \quad (10)$$

де $M_{тр}$, M_c , $M_{пм}$, M_{δ} , $M_{емм}$ – маса відповідно трактора, сіялки, посівного матеріалу, добрив, та маса разом трактора, сіялки, посівного матеріалу і добрив кг; k_v – питомий опір сіялки при виконанні робочого процесу, кН/м; b – робоча ширина захвату сіялки, м, f_k – коефіцієнт опору перекочування коліс агрегату; α – кут схилу, град.; V_p – робоча швидкість агрегату, км/год; $\eta_{тр}$ – коефіцієнт корисної дії трансмісії трактора; η_{δ} – коефіцієнт буксування коліс; g – прискорення вільного падіння м/с².

Ступінь використання номінальної потужності двигуна (коефіцієнт завантаження) не повинен перевищувати 0,93 [7].

Питомий опір сіялки залежно від швидкості руху МТА визначають за залежністю [10]:

$$k_v = k_0 \times (1 + \Delta_n \times (V_p - V_0)) \quad (11)$$

де k_0 – питомий опір робочого знаряддя сіялки при швидкості руху 5 км/год; Δ_n – темп приросту питомого опору сіялки при збільшенні робочої швидкості; V_0 – швидкість, при якій визначено питомий опір машини у виробничих умовах, 5 км/год.

Питомий опір сіялки визначають залежно від швидкості руху МТА, питомого опору робочого знаряддя сіялки при швидкості руху 5 км/год та темпу приросту питомого опору сіялки при збільшенні робочої швидкості.

Величина буксування розраховується з урахуванням зміни маси робочого матеріалу в процесі виконання технологічної операції.

Величину буксування визначаємо за рівнянням [11]:

$$\eta_{\delta} = 2,75 + 12,5 \times \rho_m + 100(\rho_m - 0,10)^6 \quad (12)$$

де ρ_m – показник відносної сили тяги, розраховується за формулою [11]:

$$\rho_m = \frac{R_{агр}}{F_{макс}} \quad (13)$$

де $R_{агр}$ – сила опору руху агрегату, кН; $F_{макс}$ – максимальна сила зчеплення ведучого апарату з ґрунтом, кН.

Силу опору руху агрегату ($R_{агр}$) та максимальну силу зчеплення ведучого апарату з ґрунтом ($F_{макс}$) розраховують за формулами [11]:

$$R_{агр} = k_v \times b + M_{емм} \times g \times f_k \quad (14)$$

$$F_{макс} = M_{емм} \times \varphi_{тр} + M_{пм} \times \varphi_{пм} \times g \times \mu \quad (15)$$

де $\varphi_{тр}$, $\varphi_{пм}$ – коефіцієнти, які враховують розподіл маси енергозасобу та машини на ведучий апарат, для напівпрічипної машини $\varphi_{пм} = 0,3$, енергозасобу – $\varphi_{тр} = 0,65$ [10]; $M_{пм}$ – маса сіялки, посівного матеріалу і добрив разом, кг.

Робочий опір агрегату, створюваний при виконанні робочого процесу, змінюється, що в свою чергу зумовлює зміну величини буксування рушіїв. Тому коефіцієнт буксування коліс слід визначати для кожного випадку розрахунку потужності. Значення коефіцієнтів опору перекочування коліс агрегату та зчеплення ведучого апарату з ґрунтом приймаються відповідно до агрофону ґрунту, на якому працює агрегат.

Коефіцієнт корисної дії механічної трансмісії трактора $\eta_{тр}$ розраховується для кожної ділянки роботи агрегату по залежності [8]:

$$\eta_{тр} = 0,978 - \frac{0,0324 \times N_{еном}}{N_e} \quad (16)$$

Наведене рівняння регресії отримане з використанням методів моделювання регресійного аналізу за значеннями графічної залежності $\eta_{тр}$ від коефіцієнта використання потужності двигуна, побудованого по результатам виробничих випробувань [8].

При виконанні розрахунків приймаємо початкові значення $\eta_{тр}$ відповідно до режиму роботи наступні: при виконанні робочого процесу – 0,94; транспортуванні робочого матеріалу – 0,9; переїздах – 0,85.

Час на виконання основної роботи агрегатом по довжині гону поля розраховується за формулою [12]:

$$T_{\delta} = 0,06 \times \frac{L_{\delta}}{V_p} \quad (17)$$

де L_{δ} – довжина гону поля, м; V_p – робоча швидкість агрегату, км/год.

Витрати пального під час роботи агрегату на елементарній ділянці, або будь-якого проміжку часу роботи двигуна під час робочої зміни визначатимемо, використовуючи величину годинних витрат палива:

Час на виконання повороту посівним агрегатом, який складається з криволінійної і прямолінійної ділянок, розраховується за формулою (хв) [12]:

$$T_{пов} = 0,03 \times \left[\frac{6 \times R_{пов}}{V_{пов.кр}} + \frac{2 \times l_{визд}}{V_{пов.пр}} \right] \quad (18)$$

де $R_{пов}$ – радіус повороту МТА, звичайно приймається радіус повороту за технічною характеристикою, який дорівнює конструктивному радіусу повороту трактора; $l_{виїзд}$ – довжина виїзду агрегату з обробленої ділянки поля, м; $V_{пов.пр}$ – швидкість агрегату на прямолінійній ділянці повороту, км/год (звичайно приймається 6 км/год; $V_{пов.кр}$ – швидкість агрегату на криволінійній ділянці повороту, км/год, розраховується за залежністю від радіуса повороту МТА і ширини колії трактора [8].

В оперативний час зміни може входити більше одного робочого циклу $T_{рцзм}$ зі складовими [12]:

$$T_{рцзм} = T_{ор} + T_{пов} + T_{зн} + T_{зд} \quad (19)$$

де $T_{ор}$ – час основної роботи; $T_{пов}$ – час на повороти; $T_{зн}$ – час на завантаження насіння; $T_{зд}$ – час на завантаження добрив.

Необхідна кількість насіння і добрив, що завантажують у сівалку, залежить від часу основної роботи МТА і тривалості робочого циклу.

Кількість робочих циклів за зміну розраховують за формулою [12]:

$$N_{рцзм} = \frac{T_{зм} - T_{неоп}}{T_{рцзм}} \quad (20)$$

де $T_{зм}$ – час робочої зміни; $T_{неоп}$ – неоперативний час зміни.

Розрахунок показників ефективності сільськогосподарської техніки проводиться на основі порівняльної оцінки різних конструкцій машин, які здійснюють однотипні операції, мають подібну схему агрегування з енергетичним засобом і не суттєво відрізняються за продуктивністю, енерговитратами та іншими техніко-економічними показниками.

Розглянемо визначення техніко-технологічної, економічної та екологічної ефективності виконання технологічної операції сівби пшениці з внесенням міндобрих з використанням імітаційного моделювання роботи сівалки зернотукової СЗ-5,4 вітчизняного виробництва при агрегуванні її з трактором МТЗ-892 та механічної зернової сівалки виробництва США “John Deere 455” при агрегуванні її з трактором “ХТЗ-17221-21”.

Таблиця 1. Технічні чинники. Сівалки зернові.

Table 1. Technical factors. Seeders are grain.

Марка	СЗ-5,4	John Deere 455
Маса, кг	2190	3200
Ширина захвату, м	5,4	10,7
Місткість бункера, кг: для насіння	680	2000
Місткість бункера, кг: для добрив	318	1500
Коефіцієнт готовності (надійності)	0,89	0,97

Умови виробництва задано наступні: довжина заїмки – 1200 м, норма внесення насіння – 150 кг/га, норма внесення добрив – 100 кг/га, тривалість зміни 7 год., завантаження насінням і добривами виконують

з одного боку поля. За агротехнічними вимогами приймається робоча швидкість 9 км/год.

Відповідно до розрахунків опору переміщення агрегатів в імітаційних моделях робоча швидкість обмежується потужністю двигунів енергосасобів і для обох агрегатів, як з сівалкою СЗ-5,4 так і з сівалкою “John Deere 455” становить 8,5 км/год. Технічні параметри порівнюваних сівалок, які використано при імітаційному моделюванні виконання ними технологічного процесу, зведено в табл. 1.

Прийнято такі нормативи витрат часу зміни, що не входить в оперативний час: щозмінне технічне обслуговування енергосасобу 20 хв, технічне обслуговування сільськогосподарської машини 18 хв, підготовчо-заклучні роботи 10 хв, проведення налагоджень та регулювання 20 хв, усунення технологічних несправностей 10 хв, відпочинок 40 хв.

Виконано розрахунки завантаження двигуна енергосасобів під час руху по полю для кожних 100 м переміщень. Відповідно до алгоритму перед кожним завантаженням сівалки вираховувалось кількість робочих проходів до закінчення часу зміни та кількість насіння і добрив для їх обробки [13].

У результаті отримано такі експлуатаційні показники виконання сівби при заданих умовах для сівалок СЗ-5,4 і John Deere 455, відповідно: продуктивність змінна – 19,6 га і 35,2 га, витрати палива – 3,9 та 5 л/га. Техніко-технологічна ефективність за показником продуктивності сівалки John Deere 455 значно вища ніж у сівалки СЗ-5,4 завдяки значно більшим значенням основних технічних характеристик: робоча ширина захвату, місткість бункера для зерна та добрив, коефіцієнт надійності сівалки.

Результати розрахунку складових експлуатаційних витрат для досліджуваних посівних агрегатів приведено в табл. 2 [14].

Таблиця 2. Витрати на експлуатацію техніки для сівби, грн/га.

Table 2. Costs for operation of equipment for sowing, UAH / ha.

Марка сівалки і трактора	Амортизація	Пальне і мастила	Ремонт і ТО	Опл. праці	Витрат всього	Інвес. вкладенн
СЗ-5,4 + МТЗ-892	150,2	125,6	78,9	12,1	369,8	986,6
John Deere 455 + ХТЗ-17221	350,5	161,1	105,3	6,8	623,7	2000,4

За результатами імітаційного моделювання роботи посівних агрегатів по виконанню технологічної операції сівби пшениці з внесенням міндобрих виявлено, що експлуатаційна продуктивність агрегату на базі сівалки “John Deere 455” більш ніж вдвічі вище, ніж при використанні сівалки СЗ-5,4. Проте, щодо економічної ефективності, навпаки – кращі показники має менш продуктивний агрегат. Ступінь зниження сукупних витрат під час експлуатації сівалки СЗ-5,4

порівняно з сівалкою “John Deer 455” – більше 40 %. Більше половини експлуатаційних витрат при використанні сівалки “John Deer 455” – це витрати на амортизацію сівалки через її високу вартість та низьке річне завантаження. Більше третини суми прямих експлуатаційних витрат на виконання сівби сівалкою СЗ-5,4 становлять витрати на паливно-мастильні матеріали (більше ніж 26,5% – для сівалки “John Deer 455”).

Зменшення витрат пального на одиницю роботи являється показником вищої екологічної ефективності використання сівалки СЗ-5,4, оскільки разом з витратами палива зменшуються викиди забруднюючих речовин в атмосферу.

Отже, за результатами моделювання роботи посівних агрегатів та відповідних розрахунків ефективності їх використання, виявлено, що техніко-технологічна ефективність агрегату на базі сівалки СЗ-5,4 і трактора МТЗ-892 нижча ніж при експлуатації сівалки “John Deer 455” і трактора “ХТЗ-17221-21”, при цьому більш високі показники економічної та екологічної ефективності – агрегату на базі сівалки СЗ-5,4 і трактора МТЗ-892, що можна вважати визначальним фактором обґрунтування вибору оптимального комплексу машин.

Висновки

1. Оптимізацію комплексів машин у рослинництві з урахуванням організаційно-технологічних та природно-виробничих умов обґрунтовують за показниками техніко-технологічної, економічної та екологічної ефективності на базі імітаційного моделювання роботи агрегатів.

2. Результатом моделювання роботи сільськогосподарських машинних агрегатів є техніко-технологічні показники ефективності машин відповідно до технічних характеристик машин та природних і технологічних умов виконання робіт.

3. Експлуатаційні показники машин для заданих умов виконання технологічної операції є визначальними при оцінці економічної ефективності техніки та витрат палива на одиницю обробленої площі, які являються важливим показником екологічної ефективності виробництва.

Список літератури

1. Проект Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2022 р. URL: <https://minagro.gov.ua/ua/gromadyanam/konsultaciyi-z-gromadskistyuu/inshe-obgovorennya/proektderzhavnoyi-cilovoyi-programi-rozvitku-agrarnogo-sektoru-ekonomiki-naperiod-do-2022-roku>.

2. Швиданенко Г. О., Криворучкіна О. В., Матукова Д. Г. Розвиток підприємства на еколого-економічних засадах: монографія. Київ. КНЕУ. 2017. 184 с.

3. Бондар С. М., Мельник І. І., Гречкосій В. Д. Проектування технологічних процесів у рослинництві:

навчальний посібник. Ніжин: АСПЕКТ Поліграф. 2005. 192 с.

4. Пастухов В. І. Обґрунтування оптимальних комплексів машин для механізації польових робіт: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2006. 38 с.

5. Типові норми продуктивності і витрат палива на сівбі, садінні та догляді за посівами. Київ. НДІ “Укргропромпродуктивність”, 2005. 544 с.

6. Операционная технология возделывания зерновых культур. Справочник. Київ. Урожай, 1990.– 312 с.

7. Rogovskii I. L. Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137>.

8. Методологія формування нормативних систем живої та уречевленої праці в рослинництві. Київ. НДІ «Укргропромпродуктивність», 2009. 244 с.

9. Босий М. А., Борисенко В. О. Моделювання витрат палива дизельним двигуном залежно від його завантаження. Продуктивність агропромислового виробництва. 2008. №10. С. 74-78.

10. Rogovskii I., Titova L., Ohienko M., Snezhko O., Nadtochiy O., Raiss F., Berezova L. Methodology of engineering management of agrotechnics of grain production by agricultural enterprises. Monograph. Opole. The Academy of Management and Administration in Opole. 2021. ISBN 978-83-66567-37-5. 214 p.

11. Економічний довідник аграрника. Київ. Преса України. 2003. 800 с.

12. ДСТУ 8424:2015. Сільськогосподарська техніка. Машини спеціалізовані й універсальні та машинні комплекси. Методи експлуатаційно-технологічного оцінювання на етапі випробувань. Київ. Держспоживстандарт України. 2015. 14 с.

13. Босий М. А., Борисенко В. О. Застосування методу імітаційного моделювання для визначення техніко-експлуатаційних показників посівних агрегатів. Продуктивність агропромислового виробництва. 2009. №14. С. 18-23.

14. ДСТУ 4397-2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Київ. Держспоживстандарт України. 2005. 16 с.

15. Rogovskii I. L. Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 3. P. 181-187.

16. Rogovskii I. L. Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 4. P. 145-150.

17. Роговський І. Л. Алгоритмічність визначення періодичності відновлення працездатності сільськогосподарських машин за ступенем витрат їх ресурсу. Machinery & Energetics. Journal of Rural

Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 1. P. 155-162.

18. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development. 2019. Vol. 18. P. 291-298.

19. Kalinichenko D., Rogovskii I. Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179-184.

20. Kalinichenko D., Rogovskii I. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 93-102.

21. Kalinichenko D., Rogovskii I. Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105-115.

22. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналіз систем і стратегій технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380–390.

23. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Штучні когнітивні системи в процесах технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361.

24. Rogovskii I. L. Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 399-407.

25. Роговський І. Л. Методологічність виконання технологічних операцій відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 314-322.

26. Rogovskii Ivan. Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. MOTROL. Lublin. 2016. Vol. 18. No 3. P. 155-164.

27. Роговський І. Л. Модель стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини в безінерційних системах із запізненням. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 3. P. 143-150.

References

1. Draft State Target Program for the Development of the Agrarian Sector of the Economy until 2022. URL: <https://minagro.gov.ua/ua/gromadyanam/konsultaciyi-z-gromadskisty/inshe-obgovorennya/proektderzhavnoyicilovoyi-programi-rozvitku-agrarnogo-sektoru-ekonomiki-naperiod-do-2022-roku>.

2. Shvydanenko G., Krivoruchkina O., Matukova D. (2017). Development of the enterprise on ecological and economic bases: [Electronic resource]: monograph. KNEU. 184.

3. Bondar S., Melnyk I., Grechkosiy V. (2005) Design of technological processes in crop production: a textbook. Nizhyn: ASPECT Polygraph. 192.

4. Pastukhov V. (2006). Substantiation of optimal complexes of machines for mechanization of field works: author's ref. dis. Dr. Tech. Sciences: Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko. 38.

5. Vitvitsky V., Demchik I., Pivovar V. (2005). Typical norms of productivity and fuel consumption for sowing, planting and care of crops. Research Institute "Ukragropromproduktivnist". 544.

6. Saiko V., Sokorenko N., Dymkovich D. (1990). Operational technology of grain cultivation. Urozhay. 312.

7. Rogovskii I. L. (2021). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 12(1). 137-146. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137>.

8. Vitvitsky V., Bosiy M., Kislyachenko M. (2009). Methodology of formation of normative systems of living and tangible work in crop production. Research Institute "Ukragropromproduktivnist". 244.

9. Bosiy M., Borisenko V. (2008). Modeling of fuel consumption by a diesel engine depending on its loading. Productivity of agroindustrial production. 10. 74-78.

10. Rogovskii I., Titova L., Ohiienko M., Snezhko O., Nadtochiy O., Raiss F., Berezova L. (2021). Methodology of engineering management of agrotechnics of grain production by agricultural enterprises. Monograph. Opole. The Academy of Management and Administration in Opole. ISBN 978-83-66567-37-5. 214.

11. Luzan Y., Sabluk P. (2003). Economic Handbook of Agriculture. Press of Ukraine. 2003. 800.

12. DSTU 8424: 2015. Agricultural machinery. Machines are specialized and universal and machine complexes. Methods of operational and technological assessment at the testing stage. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 14.

13. Bosiy M., Borisenko V. (2009). Application of the method of simulation modeling to determine the technical and operational indicators of sowing units. Productivity of agro-industrial production. 14. 18-23.

14. DSTU 4397-2005. Agricultural machinery. Methods of economic evaluation of equipment at the testing stage. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 16.

15. Rogovskii I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 10(3). 181-187.

16. Rogovskii I. L. (2019). Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 10(4). 145-150.

17. Rogovskii I. L. (2020). Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 11(1). 155-162.

18. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*. 18. 291-298.

19. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2014). Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. *MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin. 19(3). 179-184.

20. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2017). Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin–Rzeszów. 17(3). 93-102.

21. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2018). Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. 18(1). 105-115.

22. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Systems analysis and strategies for technical maintenance of combine harvesters and their parts. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 258. 380-390.

23. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Artificial cognitive systems in the processes of technical maintenance of combine harvesters. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 262. 353-361.

24. Rogovskii I. L. (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 258. 399-407.

25. Rogovskii I. L. (2015). Metodological performance of technological operations of restoration of working capacity of agricultural machines at limited resources. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 212(1). 314-322.

26. Rogovskii Ivan. (2016). Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. *MOTROL. Lublin*. 18(3). 155-164.

27. Rogovskii I. L. (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 11(3). 143-150.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ МАШИН ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ, ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В. О. Борисенко

Аннотация. В статье изложены результаты исследований по обоснованию выбора оптимальных комплексов машин по показателям технико-технологической, экономической и экологической эффективности. Оптимизация комплексов машин в растениеводстве проводится для каждой технологической операции по эксплуатационным показателям машин соответствии с техническими характеристиками машин с учетом природных и технологических условий производства работ. В статье рассмотрены обоснования выбора посевного агрегата на базе имитационного моделирования работы агрегата в течение рабочей смены. В результате моделирования получено значение технико-эксплуатационных показателей сеялок: производительности и расхода топлива, на основе которых определяют показатели экономической и экологической эффективности.

Ключевые слова: расход топлива, эффективность технико-технологическая, экономическая, экологическая, имитационное моделирование, оптимизация комплексов машин, производительность технико-технологическая.

SUBSTANTIATION OF CHOICE OF OPTIMAL MACHINE COMPLEXES ACCORDING TO INDICATORS OF TECHNICAL-TECHNOLOGICAL, ECONOMIC AND ECOLOGICAL EFFICIENCY

V. O. Borisenko

Abstract. The article presents the results of research to substantiate the choice of optimal machine complexes in terms of technical and technological, economic and environmental efficiency. Optimization of machine complexes in crop production is carried out for each technological operation according to the operational indicators of machines in accordance with the technical characteristics of machines, taking into account the natural and technological conditions of work. In the article the substantiation of the choice of the sowing unit on the basis of simulation modeling of work of the unit during working shift is considered. As a result of modeling the value of technical and operational indicators of seeders is received: productivity and fuel consumption on the basis of which indicators of economic and ecological efficiency are defined.

Key words: fuel consumption, technical and technological efficiency, economic, ecological, simulation modeling, optimization of machine complexes, technical and technological productivity.

В. О. Борисенко ORCID 0000-0002-8742-146X.

