

элементов точного земледелия, а позволяет решить целый ряд проблем, с которыми сталкивается современное аграрное производство.

Посевные площади требуют постоянного контроля. Но взирая на то, что из поверхности невозможно оценить весь масштаб ситуации на полях - необходимо использовать аэрофотосъемку.

БПЛА могут показывать не только картинку с высоты, но и выполнять точные замеры полей, собирать информацию для расчета вегетационных индексов, строить электронные карты, во многом дополнять информацию, которая получена с помощью техники или спутников.

**Ключевые слова:** аграрное производство, системы точного земледелия, беспилотные летательные аппараты, аэрофотосъемка, электронные карты, дроны.

### **Nazarenko O.G. The opportunity of using drones in precision farming systems and in agrarian production in generally**

Today, there is a mass use of technologies of exact agriculture of Ukraine. This scientific concept is based on the new view of agriculture, in which the field has many heterogeneities: in relief, agrochemical content of nutrients, soil composition, etc.

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) cannot only be one of the elements of accurate farming, but allows solving a number of problems that modern agricultural production faces.

Crop areas require constant monitoring. But, looking at the fact, that it is impossible to assess the entire scale of the situation on the fields from the surface, it is necessary to use aerial photography.

UAVs can show not only a picture from a height, but also perform accurate field measurements, collect information for calculating vegetation indices, build electronic maps, in many ways supplement information that is obtained with the help of technology or satellites.

**Key words:** agrarian production, precision farming systems, unmanned aerial vehicles, aerial photography, electronic maps, drones.

Дата надходження до редакції: 25.09.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Ревенко І.І.

УДК 631.1/631.3:631.5

### **МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ПОСІВНИХ КОМПЛЕКСІВ**

**Г. І. Барабаш**, к.т.н., доцент

**О. В. Таценко**, ст. викладач

Сумський національний аграрний університет

В запропонованій статті наведені методичні підходи по визначенню техніко-експлуатаційних показників нових вітчизняних посівних комплексів, по яких ще відсутня в літературних джерелах інформація щодо вихідних даних. Дана методика дає можливість проводити аналітичні дослідження по використанню сучасних посівних комплексів. В даній статті також наведені результати моделювання впливу розмірів поля на показники їх використання посівних комплексів.

**Ключові слова:** сівба, посівні комплекси, методика, потужність, швидкість руху, продуктивність, витрата палива, показник рівня використання.

**Постановка проблеми.** Технологічні процеси по обробітку ґрунту та сівбі є основними складовими частинами зональних науково обґрунтованих систем землеробства. Особливо важливе значення він набуває в сучасних умовах, коли істотно погіршилось ресурсне забезпечення аграрних підприємств [3].

Традиційно техніко-експлуатаційні показники використання машинних агрегатів в рослинництві визначаються, виходячи з того, що за довідковими даними по питомому опору робочих органів машин які експлуатуються в певних ґрунтово-кліматичних умовах, та відомими тяговими зусиллями тракторів вибирають необхідну передачу, завантажуючи таким чином двигун трактора до оптимального значення, але в межах певного діапазону агротехнічно допустимих швидкостей

[1,2,4]. Але на даний момент ситуація помінялась. Інформація що до згаданих показників відсутня через те, що офіційно лабораторно-польові дослідження або не проводяться або інформація про це відсутня.

Щоб вийти з такого становища пропонується дещо інший шлях: довіритись виробникам машин, які стверджують, що для ефективного використання сільськогосподарської машини потрібен трактор певної потужності, як це в нашому прикладі: для використання посівного комплексу Сіріус – 10 необхідно мати трактор з потужністю двигуна 300 к.с. (220 кВт). Найбільше для цієї ролі підходить трактор Беларусь МТЗ – 3022 ДЦ-1 виробництва Гомсільмаш. Потужність його двигуна – 222 кВт. Умовно його можна віднести до 5 класу тяги. Він може агрегувати посівний ком-

плекс в діапазоні швидкостей 8 – 10 км/год., при якій забезпечується найбільш якісна робота посівного комплексу.

Маючи це на увазі можна аналітичним шляхом визначити питомий опір робочих органів посівного комплексу.

#### Аналіз результатів останніх досліджень.

Проблема вивчення і вдосконалення існуючих систем і комплексів машин в Україні не нова і нею займалися на протязі значного періоду часу. Перші періоди досліджень даної проблеми пов'язані із становленням рівня механізації сільськогосподарського виробництва. Першим дослідником, який у своїх працях заклав методичні основи визначення кількості машин та організації їх використання був академік Свірцевський Броніслав Станіславович. Він визначив такі основні показники ефективності використання парку на той час: середнє річне число роботи трактора; площа, яку обслуговує один трактор; площа, яку обробляє одна машина; процент механізації; показник витрати палива [5].

Вченими Крамаровим В.С., Савченком М.З., Натанзоном І.Й. та іншими продовжено розробку основних техніко-експлуатаційних параметрів з урахуванням особливостей виробничих умов та технологічного комплексу робіт, які впливають на комплектування трактор-них агрегатів й ефективність їх використання, а також уперше розроблено зональні нормативи потреби в машинах на 100 га орної площі й вартості однієї години роботи машин [5].

Останні періоди наукових досліджень по даній тематиці направлені на визначення раціональної структури затрат для виконання технологічних процесів через обґрунтування складу машинних агрегатів та режимів їх роботи. У роботах М.К. Діденка, В.Д. Гречкосія, І.І Мельника, С.М. Бондаря [5] розроблена методика, яка дає змогу визначити раціональні структури машинних агрегатів для виконання технологічних процесів в системах технологій виробництва продукції рослинництва. Обґрунтування раціональних складів і режимів роботи машинних агрегатів повинно спиратися на систему математичних моделей, які відтворюють взаємозалежність між умовами роботи і вимогами до технологічних процесів.

Аналітичні дослідження стосовно оцінки ефективності роботи посівних комплексів в залежності від розмірів поля в умовах Лісостепу Сумської області не проводились.

**Формулювання цілей статті та мета досліджень.** Вони полягають в тому, щоб надати методичні підходи по визначенню техніко-експлуатаційних та енергетичних показників використання посівних комплексів в залежності від розмірів полів, що дасть можливість в подальшому обрентувати вибір одного із альтернативних агрегатів по необхідних критеріях.

Теоретичні передумови визначення показ-

ників використання посівних комплексів.

Визначимо, скільки потужності витрачає трактор на своє пересування,  $N_f^T$ . кВт:

$$N_f^T = 10^{-3} * m_e * g * f * V_p / 3.6. \quad (1)$$

де:  $m_e$  – маса трактора експлуатаційна, кг.  
 $m_e = 11500$  кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$f$  – коефіцієнт опору перекоценню;

$V_p$  – робоча швидкість агрегату, прийнята для розрахунків, км/год.  $V_p = 8$  км/год.

При русі машини на пневматичних шинах по злуценій стерні  $f = 0,10$ .

Після розрахунків  $N_f^T = 25,1$  кВт.

Потужність, що затрачається на пересування посівного комплексу в транспортному положенні  $N_f^{ПК}$  при повному завантаженні бункерів, кВт:

$$N_f^{ПК} = 10^{-3} * (m_k + m_n + m_d) * g * f * V_p / 3.6, \quad (2)$$

де:  $m_k$ ,  $m_n$ ,  $m_d$  – маса відповідно посівного комплексу конструкційна, маса насіння в бункері максимальна, маса добрив в бункері максимальна, кг.

Із довідкової літератури  $m_k = 13260$  кг. При місткості насіннєвого бункера  $5,25$  м<sup>3</sup> та об'ємній масі насіння пшениці  $800$  кг/м<sup>3</sup>  $m_n = 4200$  кг. При місткості тукового бункера  $3,48$  м<sup>3</sup> та об'ємній масі добрив  $1000$  кг/м<sup>3</sup>  $m_d = 3480$  кг.

Після підрахунків  $N_f^{ПК} = 45,6$  кВт.

Потужність, що затрачається на привід в дію пневматичних систем сівалок  $N_{пс} = 5$  кВт.

Втрати потужності на привід механізмів трансмісії трактора  $N_{мп}$ :

$$N_{мп} = N_e^H * (1 - \eta_{мп}), \quad (3)$$

де:  $N_e^H$  – номінальна ефективна потужність двигуна, кВт.  $N_e^H = 222$  кВт;

$\eta_{мп}$  – ККД трансмісії  $\eta_{мп} = 0,95$ .

Після підрахунків  $N_{мп} = 11,0$  кВт.

Втрати потужності на подолання підйому трактора,  $N_i^{TP}$ :

$$N_i^{TP} = 10^{-3} * m_e * g * i * V_p / 3.6, \quad (4)$$

де:  $i$  – схил місцевості. Для розрахунків приймемо  $i = 0,03$ .

Після підрахунків  $N_i^{TP} = 7,5$  кВт.

Втрати потужності на подолання підйому посівним комплексом,  $N_i^{ПК}$ :

$$N_i^{ПК} = 10^{-3} * (m_k + m_n + m_d) * g * i * V_p / 3.6 \quad (5)$$

Після підрахунків  $N_i^{ПК} = 13,7$  кВт.

Таким чином, на подолання опору робочих органів посівного комплексу залишається,

$$N_{po} = N_e^H * \eta_{мп} - N_f^T - N_f^{ПК} - N_{пс} - N_{мп} - N_i^{TP} - N_i^{ПК} \quad (6)$$

Після підрахунків  $N_{po} = 103$  кВт.

Загальний опір робочих органів  $R_{po}$  буде дорівнювати:

$$R_{po} = 3,6 * N_{po} / V_p \quad (7)$$

Після підрахунків  $R_{po} = 46,4$  кН.

Тоді питомий опір робочих органів посівного комплексу  $k$  буде дорівнювати:

$$k = R_{po} / b_k \quad (8)$$

де:  $b_k$  – конструкційна ширина захвату агрегата, м.  $b_k = 10$  м.

Після підрахунків  $k = 4,6$  кН/м. Таке значення питомого опору є цілком прийнятним. Це підтверджується тим, що питомий опір стрільчастих лап культиватора дорівнює  $1,4 \dots 2,6$  кН/м, котка –  $0,5 \dots 0,6$  кН/м, сошників дискових –  $1,0 \dots 1,4$  кН/м. Такі робочі органи передбачені конструкцією посівного комплексу. При швидкості руху агрегата не більше  $5$  км/год. початковий опір  $k_0 = 4,5$  кН/м.

Продуктивність посівного комплексу за одну годину основного часу,  $\omega_0$  га/год.:

$$\omega_0 = 0,1 * b_p * V_p, \quad (9)$$

де:  $b_p$  – робоча ширина захвата агрегату, м;

Робоча ширина захвата посівного агрегату дорівнює конструктивній ширині захвата комплексу, тобто  $b_p = b_k = 10$  м.

Продуктивність за одну годину основного часу буде дорівнювати  $\omega_0 = 8$  га/год.

Продуктивність за 1 год. змінного часу,  $\omega_{зм}$ , га/год.:

$$\omega_{зм} = \omega_0 * t, \quad (10)$$

де:  $t$  – коефіцієнт використання часу зміни;

$$t = \frac{T_p}{T_{зм}}, \quad (11)$$

де:  $T_p$  – тривалість чистої (основної) роботи, год.;

$T_{зм}$  – загальна тривалість роботи агрегату на полі, год.

$$T_p = \frac{F}{\omega_0}, \quad (12)$$

де:  $F$  – площа поля, га.

$$T_{зм} = T_p + T_{пов} + T_{обс} + T_{вок}, \quad (13)$$

де:  $T_{пов}$  – тривалість холостих поворотів, год.;

$T_{обс}$  – тривалість технологічного обслуговування в загінці, пов'язаного з заправкою сівалок насінням та добривами, год.;

$T_{вок}$  – тривалість відпочинку, виконання особистих потреб та контролю за якістю сівби, год.;

$$T_{пов} = \frac{l_x}{10^3 * V_x} (n_x^{ог} + n_x^{пс}), \quad (14)$$

де:  $l_x$  – довжина одного холостого повороту, м;

$V_x$  – швидкість руху на поворотах, км/год.;

$n_x^{ог}$  – кількість холостих поворотів на основних гонах;

$n_x^{пс}$  – кількість холостих поворотів на поворотних смугах.

Швидкість руху на поворотах можна прийняти  $V_x = 7$  км/год.

$$l_x = 7 * R_0 + 2 * e, \quad (15)$$

де:  $R_0$  – радіус повороту агрегату, м;

$e$  – довжина виїзду агрегату, м.

$$R_0 = 1,1 * b_k \quad (16)$$

$R_0 = 11$  м

$$e = 0,7 * (l_t + l_c) \quad (17)$$

де:  $l_t$ ,  $l_c$  – відповідно кінематична довжина трактора і посівного комплексу, м.

Для трактора  $l_t = 3,1$  м. Для посівного комплексу  $l_c = 13,8$  м

Тоді  $e = 11,8$  м;  $l_x = 100,6$  м.

Посівні агрегати, як правило, здійснюють розворот по схемі «бокова петля». Тоді мінімальна ширина поворотної смуги  $E_{min}$  визначається за виразом:

$$E_{min} = 2 * R_0 + 0,5 * d_a \quad (18)$$

де:  $d_a$  – ширина посівного комплексу, м.  $d_a = 10,5$  м.

Після підрахунків  $E_{min} = 27,2$  м.

Ширина поворотної смуги повинна бути кратною парній кількості проходів, але не менше від розрахункової:  $E = 40$  м.

$$n_x^{ог} = \frac{L}{B_p} - 1, \quad (19)$$

де:  $L$  – довжина поля, м.

$$n_x^{пс} = \frac{2 * E}{B_p}, \quad (20)$$

$$T_{обс} = n_3^H * t_3^H + n_3^A * t_3^A, \quad (21)$$

де:  $n_3^H$ ,  $n_3^A$  – відповідно кількість заправок насінням та добривами;

$t_3^H$ ,  $t_3^A$  – відповідно тривалість однієї заправки насінням та добривами, год.

$$n_3^H = \frac{F * Q_H}{m_n}, \quad (22)$$

де:  $Q_H$  – норма висіву насіння, кг/га;  $Q_H = 200$  кг/га;  $m_n = 4200$  кг.

$$n_3^H = 0,048 * F$$

$$n_3^A = \frac{F * Q_d}{m_d}, \quad (23)$$

де:  $Q_d$  – доза внесення добрив, кг/га;  $Q_d = 100$  кг/га;  $m_d = 3480$  кг.

$$n_3^A = 0,029 * F$$

При механізованій заправці:  $t_{3H} = 20$  хв. =  $0,3$  год.  $t_{3D} = 30$  хв. =  $0,5$  год.

Тривалість відпочинку, виконання особистих потреб та контроль за якістю сівби складає близько  $3 \dots 4\%$  від робочого часу, тобто

$$T_{вок} = 0,035 * T_p.$$

Змінна продуктивність,  $W_{зм}$  (га):

$$W_{зм} = \omega_{зм} * t_{зм} \quad (24)$$

Коефіцієнт робочих ходів,  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{L_p}{L_p + L_x}, \quad (25)$$

де:  $L_p$ ,  $L_x$  – відповідно загальна довжина робочих та холостих ходів, км.

$$L_p = \frac{F * 10}{B_p} \quad (26)$$

$$L_x = \frac{l_x (n_x^{ог} + n_x^{пс})}{10^3}, \quad (27)$$

Погектарна витрата палива,  $G_{за}$  (кг/га):

$$G_{за} = \frac{G_p * T_p + G_x * T_x + G_3 * T_3}{F}, \quad (28)$$

де:  $G_p$ ,  $G_x$ ,  $G_3$  – відповідно погодинні витрати палива двигуном під навантаженням, на холо-

стих поворотах, на зупинках, кг/год.;  
 $T_p, T_x, T_3$  - відповідно тривалість чистої роботи (під навантаженням), холостих ходів, зупинок, год.

$$G_p = \frac{g * N_{EH} * \eta}{1000}, \quad (29)$$

де:  $g$  – питомі витрати палива двигуном, г/кВт\*год.  $g = 248$  г/кВт\*год.

$\eta$  – нормативний коефіцієнт завантаження двигуна;  $\eta = 0,95$ .

$$G_x = 0,3 * G_p \quad (30)$$

$$G_3 = 0,1 * G_p \quad (31)$$

Коефіцієнт рівня використання посівного агрегату,  $\eta_e$ :

$$\eta_e = \eta * \tau * \beta, \quad (32)$$

де:  $\beta$  – коефіцієнт використання ширини захвата робочої машини.

Для посівних агрегатів  $\beta = 1,0$ .

Повна питома енергоємність технологічної операції,  $A_n$  ( $\frac{Дж}{га}$ ):

$$A_n = H_n * G_{2a}, \quad (33)$$

де:  $H_n$  – питома теплота згоряння палива, Дж/кг.

Для дизельного палива  $H_n = 4,166 * 10^7$  Дж/кг = 41,66 МДж/кг.

**Результати досліджень.** Розглянемо і продемонструємо наші твердження на наступному прикладі.

Для розрахунків по визначенню показників використання посівного комплексу Сіріус – 10 прийємо різні рівні розмірів полів, які характерні для умов Лісостепу Сумської області: 75, 150, 225 га квадратної форми.

Результуючі показники наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

### Основні техніко-експлуатаційні показники використання посівного комплексу

Показники	Одиниці виміру	Розміри полів, га		
		75	150	225
Продуктивність за одну годину основного часу	га/год.	8,0	8,0	8,0
Коефіцієнт використання часу зміни	-	0,69	0,72	0,73
Продуктивність за одну годину змінного часу	га/год.	5,52	5,76	5,84
Погектарна витрата палива	кг/га	7,0	6,8	6,7
Коефіцієнт рівня використання посівного агрегату	-	0,66	0,68	0,69
Енергоємність технологічної операції	МДж/га	292	283	279

### Висновки.

1. Оскільки в довідковій літературі відсутня інформація що до питомого опору робочих органів посівного комплексу, то можна скористатись іншими даними, які можна розглядати як суму питомих опорів робочих органів простих машин, маючи на увазі їх більші значення.

2. Збільшення розміру полів, які оброб-

ляються і засіваються посівними комплексами, призводить до покращення їх техніко-експлуатаційних показників: продуктивність агрегату збільшується, а погектарна витрата палива зменшується. Так збільшення розміру поля з 75 га до 150 га збільшує продуктивність агрегату на 5,8 %, а витрату палива зменшує на 4,3 %.

### Список використаної літератури:

1. Методика розробки операційної технології механізованих польових робіт / Г. І. Барабаш, В. М. Зубко, О. Г. Барабаш, Т. В. Хворост. – Суми: ТОВ "Друкарський дім "Папірус", 2016. – 130 с.
2. Діденко М. К. Експлуатація машинно-тракторного парку / Микола Кирилович Діденко. – Київ: Вища школа, 1983. – 447 с. – (5-е видання, перероблене і доповнене).
3. Марченко В.В., Котко І.Г., Опалко В.І. Технології та технічні засоби сівби при мінімальному і нульовому обробітку // Аграрна техніка. – 2009. – № 1. – С. 20.
4. Машиновикористання в землеробстві / [В.Ю. Ільченко, Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос та ін.]; за ред. В.Ю. Ільченко і Ю.П. Нагірного. – К.: Урожай, 1996. – 384 с.
5. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу / [Мельник І.І., Гречкосій В.Д., Марченко В.В., Михайлович Я.М., Мельник В.І., Надточій О.В.]; за ред. І. І. Мельника. – Київ: Видавничий центр НАУ, 2004. – 85 с.

### Барабаш Г.И., Таценко А.В. Методические подходы к определению технико-эксплуатационных показателей использования посевных комплексов

В предлагаемой статье приведены методические подходы по определению технико-эксплуатационных показателей новых отечественных посевных комплексов, по которым еще отсутствует в литературных источниках информация о выходных данных. Данная методика дает возможность проводить аналитические исследования по использованию современных посевных комплексов. В данной статье также приведены результаты моделирования влияния размеров поля на показатели использования посевных комплексов.

**Ключевые слова:** посев, посевные комплексы, методика, мощность, скорость движения, производительность, расход топлива, показатель уровня использования.

**Barabash G. I., Tatsenko O. V. The methodological approaches to determination of technical and operational indicators use of sowing complexes**

The proposed article provides methodological approaches for determining the technical and operational indices of new domestic sowing complexes, for which information in the source data is not yet available in literary sources. This method makes it possible to conduct analytical studies on the use of modern crop complexes. In the given article also the results simulation influence of field sizes on indicators use of sowing complexes are presented.

The traditionally, technical and operational indicators use of machine aggregates in crop production are determined, based on the fact that based on the reference data on the resistivity of the working bodies machines operated in certain soil and climatic conditions, and the known tractive efforts of tractors choose the required transmission, thus loading the tractor engine to the optimum value, but within a certain range of agrotechnically acceptable speeds. But at the moment the situation has changed. The information on these indicators is not available because officially field studies are either not conducted or information is missing.

The problem studying and improving existing systems and machine complexes in Ukraine is not new and it was engaged in a considerable period of time. The first periods of the research this problem are connected with the formation the level mechanization of agricultural production.

The recent periods scientific research on this topic are aimed at determining the rational structure of costs for the implementation technological processes through substantiation the composition machine aggregates and their modes of operation.

The rationale for rational compositions and modes operation machine aggregates should be based on a system of mathematical models that reproduce the interdependence between the working conditions and the requirements for technological processes.

The purpose of the work is to provide methodological approaches for determining the technical and operational and energy indicators use of sowing complexes, depending on the size of the fields, which will allow to further arrange the choice one of the alternative aggregates according to the necessary criteria.

The increasing the size of the fields that are cultivated and sowed with crop complexes leads to an improvement of their technical and operational performance: the unit's productivity increases, while the incremental fuel consumption decreases.

**Keywords:** sowing, sowing complexes, methodology, power, speed, productivity, fuel consumption, level of use.

Дата надходження до редакції: 17.08.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Ревенко І.І.

УДК 531.663

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗЕРНИНИ ТА СТАЛЕВОЇ ПЛАСТИНИ**

**В. Ф. Сіренко**, к.т.н., доцент

**В. М. Зубко**, к.т.н., доцент

**Т. В. Кузіна**, аспірантка

Сумський національний аграрний університет

Метою даної статті є вивчення можливості повного врахування розподілу механічної енергії при ударі. У пропонованій статті, велика увага приділяється аналітичній оцінці процесу ударної контактної взаємодії тіл.

Використано рівняння Герца для пружної деформації матеріалів.

**Ключові слова:** удар, енергетичний баланс, коефіцієнт відновлення швидкості, коефіцієнт розподілу втраченої енергії, аналітична залежність.

Проведений аналіз механіко-технологічних властивостей співударяємих тіл (зернина-сталь) показав їх значну відмінність.

До рівняння енергетичного балансу включені складові:

- величини кінетичної енергії зернини при підльоті до перешкоди у вигляді металевої пластинки та під час ударного гальмування до повної зупинки;

- потенційні енергії пружної деформації стисненого матеріалу та втрати енергії.

Підтверджено енергетичний зміст коефіцієнта відновлення швидкості при ударі.

Втрата енергії на дисипацію розглядається як невикористана частка від повної пружної енергії. Співвідношення між цими складовими енергетичного балансу визначається на основі використання коефіцієнта відновлення швидкості.

Для врахування особливостей різних фізичних моделей втрат механічної енергії при явищі удару запроваджено коефіцієнт розподілу частин втраченої енергії між першою та другою фазами удару.

Отримана аналітична залежність величин поточної та максимальної деформації зернини від часу із врахуванням втрат енергії на остаточні