

УДК 631.3:629.114.2  
© 2012

*В.К. Сербій*

УкрНДІПВТ  
ім. Л. Погорілого

\* *Науковий керівник —  
член-кореспондент НААН  
А.С. Кушнарьов*

## **ПОБУДОВА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ\***

*Розглянуто методику розрахунку операційно-технологічних карт з використанням супутникових знімків полів і бази даних рельєфу Землі на основі імітаційного моделювання. Доведено невідповідність даних, наведених у технологічних картах і довідниках нормативів, дійсним значенням експлуатаційно-технологічних показників роботи агрегату в конкретних польових умовах.*

На ринку сільськогосподарської техніки України представлено велику кількість різних сільськогосподарських машин і тракторів. Одним із перспективних напрямів виробництва конкурентоспроможної і високорентабельної продукції [1] є максимальне використання можливостей кожного машинно-тракторного агрегату (МТА) способом розрахунку дійсних значень його експлуатаційно-технологічних показників і вибору оптимальних режимів роботи, що забезпечить економію паливно-мастильних матеріалів та одночасно збільшить його продуктивність.

**Метою досліджень** є підвищення ефективності функціонування машинно-тракторних агрегатів на основі космічних фотознімків полів.

**Аналіз останніх публікацій та досліджень.** Над проблемами підвищення ефективності функціонування машинно-тракторних агрегатів працювали такі вчені, як П.М. Василенко, Л.В. Погорілий, Г.Л. Баранов, А. С. Кушнарьов, Д. Г. Войтюк, А. Т. Лебедев, Б.С. Свірщевський, М.Є. Фере, Б.А. Літварьов, Ю.К. Кіртбая, С.А. Іофінюв, Ф.С. Завалишин, К.С. Орманджі та багато інших. Їхні праці присвячено удосконаленню організації виконання сільськогосподарських операцій, розробці і застосуванню нових конструкційних схем, кінематичних і технологічних параметрів робочих органів машин. Вагомий внесок у визначення точнішого розрахунку експлуатаційно-технологічних показників агрегату і вибору режиму його роботи зробили А.А. Зангієв, В.І. Пастухов, О.Г. Соловейчик, В.І. Кравчук. Аналіз досліджень методик з отримання дійсного значення продуктивності для конкретних польових умов показав, що недостатньо приділено уваги врахуванню конфігурації поля, раціональному вибору напрямку руху машинно-тракторного агрегату та рельєфу [2].

**Результати досліджень.** Функціональну структуру математичної моделі розрахунку операційних технологій, головним елементом якої є імітаційна модель роботи агрегату, наведено на рис. 1.

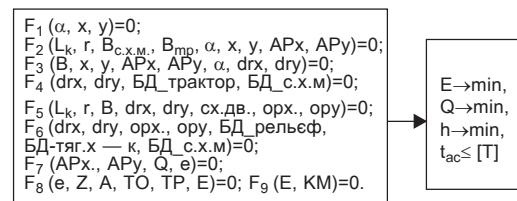
Для полегшення створення математичної моделі процес функціонування агрегату розділили на менші підпроцеси, а саме: визначення ширини розворотної смуги й побудова активної зони; побудова робочих ходів; побудова холостих ходів; інтерполяція висот; методика розрахунку агрегату і вибору його режимів роботи.

Розглянемо математичні моделі цих підпроцесів.

1. Для дослідження процесу формування активної зони вивчався вплив конструкційних параметрів агрегату на ширину розворотної смуги (рис. 2). З'ясовано, що ширина розворотної смуги — функція виду:

$$E=f(L_k, r, B, P_g), \quad (1)$$

де  $L_k$  — кінематична довжина агрегату, м;  $r$  — радіус повороту агрегату, м;  $B$  — ширина агрегату, м;  $P_g$  — кут атаки агрегату, град.



**Рис. 1. Склад функціональної структури математичної моделі розрахунку операційних технологій:**  $F_1$  — вибір напрямку руху агрегату;  $F_2$  — побудова активної зони;  $F_3$  — побудова робочого ходу;  $F_4$  — побудова холостого ходу;  $F_5$  — оптимізація робочих ходів;  $F_6$  — розрахунок експлуатаційно-технологічних показників;  $F_7$  — розрахунок приведеної витрати пального;  $F_8$  — розрахунок приведених енергетичних затрат;  $F_9$  — ранжування і складання технологічного набору машин за критерієм найменших приведених витрат;  $Q$  — витрати пального;  $E$  — приведені енергетичні затрати;  $h$  — інтегральний показник оцінки ефективності організації виробничого процесу, який виконує агрегат;  $T$  — технологічний агротрок

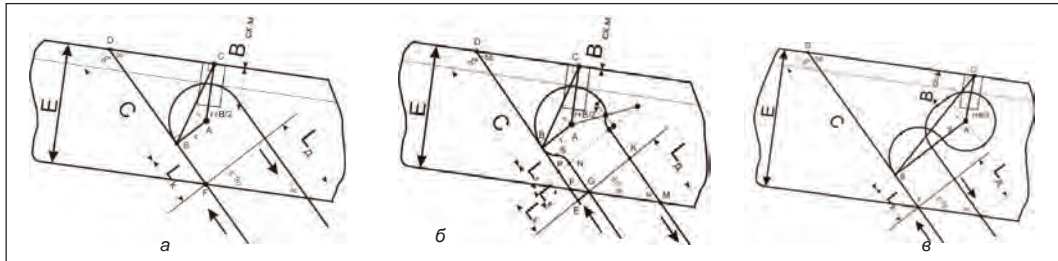


Рис. 2. Типи виконуваних поворотів: а – безпетльовий; б – петльовий; в – поворот типу «вісімка»

Отримано залежності для наведених на рис. 2 схем руху агрегату.

Побудова активної зони (рис. 3) полягала у відбитті розворотних смуг для всіх сторін поля, з якими є перетин робочого ходу  $R_{хл}P_{n-1}P_n$ .

2. Як відомо, кількість полів з ідеально прямокутною формою неістотна, оскільки переважають поля зі складною, різною конфігурацією.

Для побудови робочих ходів (рис. 3) використовують такий алгоритм:

2.1. Побудова описаного прямокутника в напрямку руху агрегату.

2.2. Розрахунок координат відрізків, побудованих у напрямку руху агрегату з кроком, що дорівнює ширині сільгоспмашини, в ділянці описаного прямокутника.

2.3. Відсікання кінців відрізка, які виходять із зони робочої ділянки.

3. Координати опорних точок холостого ходу потрібні для визначення режиму роботи агрегату під час розвороту й оптимізації типу виконаного повороту. Координати точок визначалися за допомогою формул повороту осей.

4. Для інтерполяції висотних точок скористаємося припущенням просторової автокореляції, що точки, розташовані близько одна від одної, матимуть більш близькі значення, ніж ті, які віддалені одна від одної.

За формулою кригінгу знаходимо значення висоти [4, 5]:

$$Z = \sum_{i=1}^n p_i \cdot Z_i, \quad p = G^{-1} \cdot g, \quad (2)$$

де  $Z_i$  — значення висоти  $i$ -ї опорної точки,  $m$ ;  $p_i$  — вага  $i$ -ї опорної точки;  $G^{-1}$  — зворотна матриця  $G$  значень дисперсій;  $g$  — векторна матриця значень дисперсій.

5. Оцінку ефективності роботи складеного агрегату визначали за критерієм найменших приведених енергетичних затрат:

$$E(\text{ПММ, ЧТ, А, ТОІТР}) \rightarrow \min. \quad (3)$$

Методика динамічного аналізу роботи агрегату полягала в реєстрації зміни дотичної сили, докладеної до колеса трактора під час руху,

$$P_k = K_{уд} \cdot B \pm \sigma \cdot z \pm (M_{тпр} + M_{с.х.м}) \cdot \sin(\alpha) - M_{тпр} \cdot f \cdot \sin(\alpha) \quad (4)$$

і визначенні на ділянці довжини із заданим кроком інтерполяції за тяговими характеристиками трактора: погодинної витрати пального  $g = f(P_k)$  і швидкості агрегату  $u = f(P_k)$ . З урахуванням цього визначався час проходження цієї ділянки  $dt = dS/v$  і витрати пального на цій ділянці  $dg = g \cdot dt$ .

Імітаційна модель функціонування МТА перевірена у виробничих умовах на дослідних полях УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. За результатами випробувань середня похибка в оцінці ефективності агрегату становить 2,4%.

Було проведено комп'ютерні експерименти й порівняння значень продуктивності, взятих з довідника нормативів і технологічної карти для вирощування цибулі-ріпки, для однакових агрегатів. Наведені значення виявилися неоднаковими і відрізнялися один від одного, а саме: на 21,3% — для оранки агрегатом Т150К+ПЛН-5-35; на 83,7 — для боронування агрегатом Т150К+БЗТС — 1; на 18,1% — для культивування агрегатом Т150К+КПСР — 4 (див. таблицю).

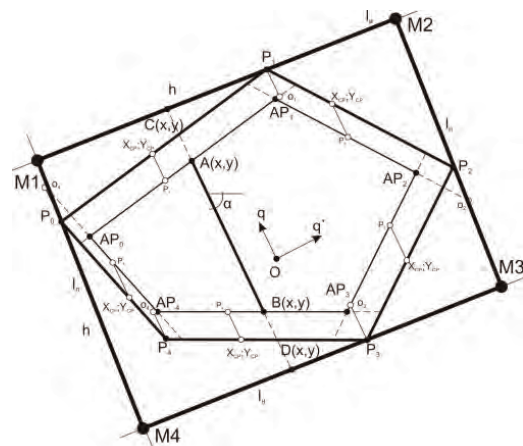


Рис. 3. Побудова робочого ходу агрегату та активної зони

**Порівняння показників роботи агрегату для поля площею 10 га**

Технологічна операція	Агрегат	Експлуатаційно-технологічні показники								
		Технологічна карта				Модель			Норматив	
		людська праця, люд.-год	ПММ, кг	W, га/см	відхилення від моделі, %	людська праця, люд.-год	ПММ, кг	W, га/см	W, га/см	відхилення від моделі, %
Оранка	T150K+ПЛН-5-35	10,44	139	6,9	-26	8,02	125,1	8,7	5,69	-52,9
Боронування	T150K+БЗТС-1,0	0,7	15	99,3	-21,6	0,58	9,7	120,7	53	-127,7
Культивація	T150K+КПСР-4,0	1,54	24	45,6	+1,5	1,56	26,3	44,9	38,6	-16,3

З наведених офіційних даних видно, що значення змінної продуктивності одного й того самого агрегату на одній і тій самій операції різні в кожному джерелі.

Розв'язати цю проблему можна, використавши імітаційну модель роботи агрегату для конкретних польових умов. Моделювання було проведено на полі площею 10 га. Отримані значення відрізняються від результатів, змодельо-

ваних завдяки імітаційній моделі. Для оранки і боронування відхилення від моделі по технологічній карті становить 22–26%, за довідником нормативів — 53% і вище, тоді як для культивування по технологічній карті відхилення — 1,5%, а за нормативом — 16,3%. Це означає, що дані, наведені в довіднику нормативів і технологічній карті, не завжди відповідають дійсності і лише за деякими операціями правильні.

### Висновки

Методика розрахунку операційних технологій розроблена на основі супутникової інформації, отриманої способом фотографування поверхні і рельєфу Землі космічними апаратами з використанням радарної інтерферометричної зйомки SRTM3 [6]. Експлуатаційно-технологічні показники роботи МТА ге-

неруються розробленою імітаційною моделлю функціонування агрегату.

На відміну від нормативного способу, імітаційна модель створює цифровий прототип агрегату і прив'язує його конструкційні і тягові характеристики до конкретних польових умов.

### Бібліографія

1. Колесник Г.О. Планування оптимального складу машинно-тракторного парку/Г.О. Колесник, Л.Н. Піддубна, П.І. Голубенко. — К.: Урожай, 1977. — 144 с.
2. Матеріали 6-й міжнародної науково-практичної конференції. Екологія і сільськогосподарська техніка. — Т. II. — СПб., 2009. — 325 с.
3. Совертков П.И. Штриховка замкнутого мно-

- гоугольника/П.И. Совертков, Д.Н. Хохлов//Учебная мастерская, 2003. — 127 с.
4. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике/М.Я. Выгодский. — М.: Наука, 1962. — 485 с.
5. ARCGIS 9 Geostatistical analyst. Руководство пользователя. — Esri, 2001.
6. [http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2\\_1/SRTM3/](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/)