

values of intervals between seeds and with an increase in the rate of introduction.

The best precision of plant placement in a row is provided by the Multicorn SK seeder, it has a higher performance than all other working speeds and rates. Seeders UPS-12 and SU-12 provide approximately the same accuracy, while slightly inferior to the foreign analogue.

Key words: corn for grain, seeding apparatus, seeds, seeding rate, interval between plants.

Дата надходження до редакції: 07.06.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Саарела Йоко

УДК 631.316.6

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ РОТОРА РЫХЛИТЕЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩЕЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ МАШИНЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ МИНИМАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ НА ЕГО РАБОТУ

Ю. Н. Сыромятников

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.Василенко

Обоснована форма ножа ротора почвообрабатывающей машины обеспечивающая минимальные затраты энергии на его работу. Рассмотрена работа рабочих органов ротора рыхлительно-сепарирующей почвообрабатывающей машины в трех положениях относительно почвы и сепарирующей решетки. Определены три фазы работы: от момента вхождения ножа в почву до сепарирующей решетки, момента движения ножа над сепарирующей решеткой, от момента движения ножа над сепарирующей решеткой и до выхода из почвы. Крутящий момент ротора определен расстоянием от поверхности почвы элементарной площадки, радиусом ротора, углом между направлением действия нормальной силы и перпендикуляром к радиусу вращения силы, силой трения элементарной площадки, радиусом вращения элементарной площадки.

Ключевые слова: почва, крутящий момент, работа ножа, энергия, сепарирующая решетка, ротор.

Введение. Получение высоких и стабильных урожаев зависит не только от плодородия почвы, но и от сохранения её структуры и недопущения эрозии. Современные мировые тенденции на получение экологически чистой продукции требуют отказа от химических средств борьбы с сорными растениями. Рабочие органы почвообрабатывающих машин не обеспечивают рационального воздействия на почву. Поэтому для усовершенствования процессов обработки почвы необходим комплексный подход к вопросам уменьшения разрушения рабочими органами машин и орудий структуры почвы и разработки технологических процессов, обеспечивающих совершенствование технологий выращивания сельскохозяйственных культур с целью снижения затрат на получение продукции.

Постановка задачи. При взаимодействии ножа ротора с почвой крутящий момент не является величиной постоянной и изменяется со временем. Анализ работы показал, что крутящий момент достигает наибольшей величины при максимальном погружении ножа ротора в почву. Пащенко В.Ф. с помощью метода прямого вариационного исчисления был обоснован профиль ножа, обеспечивающий минимальное значение крутящего момента только в определенных положениях [1]. Однако, полученная форма рабочей кромки ножа не обеспечивает минимальной затраты энергии на работу как отдельного ножа, так и ротора в целом. Наиболее полным показателем работы ножа ротора являются затраты

энергии на выполнение одного полного цикла, т.е. одного оборота ножа.

Анализ исследований и публикаций.

Процессы взаимодействия рабочих органов с почвой исследовали ученые: В.П. Горячкин, П.М. Василенко, Т.М. Синеоков, В.И. **Ветохин**, В.А. Дубровин, В.Ф. Пащенко и др

Применение активных рабочих органов в почвообрабатывающих машинах позволяет за один проход агрегата обеспечить высокое качество обработки почвы. Как правило, в таких машинах применяется комбинация рабочих органов [2, 3].

Роторные рабочие органы обеспечивают достаточно хорошее измельчение комочков почвы в поверхностном слое и в сравнении с рабочими органами борон и культиваторов оставляют на поле после своего прохода меньше микронеровностей.

Однако широкого распространения почвообрабатывающие машины с активными рабочими органами не получили из-за большой энергоёмкости и ненадежности в эксплуатации [4, 5]. Это объясняется тем, что затраты энергии на отбрасывание почвы ножами ротора составляют от 30 до 70% общих затрат в зависимости от глубины обработки почвы [6, 7].

Применение на почвообрабатывающих машинах активно-пассивных рабочих органов позволяет улучшить качество крошения пласта почвы с одновременным снижением энергетических затрат. Активные рабочие органы крошат

пласт почвы, пассивные при этом обеспечивают его подпор. Такие рабочие органы при установке одного впереди другого обеспечивают снижение крутящего момента на привод ротора и тягового сопротивления лемеха на 20...40% [8].

В таком случае на привод ротора почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины расходуется около 20% общих затрат энергии. Одним из возможных вариантов снижения энергоемкости процесса работы роторных рабочих органов является совершенствование геометрической формы ножей ротора [9, 10, 11].

Цель статьи. Изыскать форму ножа ротора почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины обеспечивающих минимальные затраты энергии на его работу.

Основной материал. На нож ротора дей-

ствует нормальная сила давления почвы, сила трения почвы о его режущую кромку, сила трения о боковую поверхность. Для определения крутящего момента на привод одного ножа ротора воспользовались результатом известных исследований. [12]. Величина элементарного крутящего момента ротора определяется, расстоянием от поверхности почвы элементарной площадки, радиуса ротора, угла между направлением действия нормальной силы и перпендикуляром к радиусу вращения силы, силы трения элементарной площадки, радиусом вращения элементарной площадки [13].

Задача сводится к нахождению значений коэффициентов, определяющих профиль ножа ротора. Взяв частные производные и приравняв их нулю, получим систему уравнений:

$$\frac{\partial M_{0i}}{\partial C_i} = \int_{x_0}^{x_1} \left(1 + tg^2\theta\right)^{\frac{1}{2}} \left\{ \begin{aligned} & q(1+z')^{\frac{1}{2}}(tg^2\theta-1) \frac{\partial \rho}{\partial C_i} + \\ & \left[(1+z')^{\frac{1}{2}} \left(\frac{t^2 V}{M} tg^2\theta - 1 \right) \frac{\partial q}{\partial C_i} + \right. \\ & \left. + \rho \left[z' \left(\frac{t^2 V}{M} tg^2\theta - 1 \right) \times \right. \right. \\ & \left. \left. + q \left((1+z')^{\frac{1}{2}} \frac{\partial z'}{\partial C_i} + (1+z')^{\frac{1}{2}} \frac{t^2 V}{M} \frac{\partial tg\theta}{\partial C_i} \right) \right] \right\} dx = 0 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Где $i = \overline{1,2,3}$.

$$\frac{\partial \rho}{\partial C_i} = \frac{z' \frac{\partial z}{\partial C_i} - R \sin \alpha_1 \frac{\partial x}{\partial C_i}}{\sqrt{R^2 - 2R(z \sin \alpha_1 + x \cos \alpha_1) + z^2 + x^2}},$$

$$\frac{\partial q}{\partial C_i} = -k(n-1)h^{n-2} \frac{\sin(\alpha_T + \alpha_1) + k_1 \cos(\alpha + \alpha_1)}{\sqrt{1+k^2}} \frac{\partial \rho}{\partial C_i},$$

$$\frac{\partial tg\theta}{\partial C_i} = \left\{ \begin{aligned} & \left[z'(R \sin \alpha_1 - z) + R \cos \alpha_1 - x \right] \left[R \cos \alpha_1 - x \right] \frac{\partial z}{\partial C_i} + \frac{\partial z'}{\partial C_i} \left[\right] - \\ & - R z \sin \alpha_T \left[z'(R \cos \alpha_1 - x) - R \sin \alpha_1 + z \right] \frac{\partial z}{\partial C_i} - z' \frac{\partial z'}{\partial C_i} \end{aligned} \right\} \times$$

$$\times [z'(R \sin \alpha_1 - z) + R \cos \alpha_1 - x]^{-2},$$

$$z' = z'_0 + \frac{2x}{x_k^2} (z_k - x_k z'_0) + (x - x_k) (2xC_1 + 3xC_2 + C_3) + x^2 C_1 + x^3 C_2 + x C_3,$$

где $\frac{\partial z}{\partial C_1} = x^2(x - x_k); \quad \frac{\partial z}{\partial C_2} = x^3(x - x_k);$

$$\frac{\partial z}{\partial C_3} = x(x - x_k); \quad \frac{\partial z'}{\partial C_1} = 2x(x - x_k) + x^2;$$

$$\frac{\partial z'}{\partial C_2} = 3x^2(x - x_k) + x^3; \quad \frac{\partial z'}{\partial C_3} = (x - x_k) + x.$$

С учетом того, что процесс взаимодействия ножа с почвой можно разделить на три

фазы:

а) от момента вхождения ножа в почву до сепарирующей решетки;

б) момент движения ножа над сепарирующей решеткой;

в) от момента движения ножа над сепарирующей решеткой до выхода из почвы.

Уравнение принимает вид:

$$A = \int_{x_{n1}}^{x_{k1}} \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} dM_0 d\alpha dx + \int_{x_{n2}}^{x_{k2}} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} dM_0 d\alpha dx + \int_{x_{n3}}^{x_{k3}} \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} dM_0 d\alpha dx \quad (2)$$

где $X_{n1}, X_{n2}, X_{n3}, X_{k1}, X_{k2}, X_{k3}$ – начальные и конечные координаты линии, определяющей режущую кромку ножа ротора в трех фазах его работы;

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – начальные и конечные углы поворота ножа в трех фазах его работы.

$$B_2 = [XK_1 \sin(\alpha + \zeta) - X \cos(\alpha + \zeta) - Z \sin(\alpha + \zeta) - ZK_1 \cos(\alpha + \zeta) - R \cos \alpha + RK_1 \sin(\alpha + \zeta)]$$

Уравнение будет иметь вид:

$$A = \int_{x_{n1}}^{x_{k1}} B_1 B_2 \Big|_{\alpha_0}^{\alpha_1} dx + \int_{x_{n2}}^{x_{k2}} B_1 B_2 \Big|_{\alpha_1}^{\alpha_2} dx + \int_{x_{n3}}^{x_{k3}} B_1 B_2 \Big|_{\alpha_2}^{\alpha_3} dx \quad (3)$$

Задача исследований состоит в следующем: найти кривую, которая описывает профиль ножа ротора, обеспечивающий минимум функции

$$Z = XZ'_0 + X^2 \frac{Z_k - X_k Z'_0}{X_k^2} + X^2 (X - X_k) C_1 + X^3 (X - X_k) C_2 + X (X - X_k) C_3 \quad (4)$$

где C_1, C_2, C_3 – постоянные коэффициенты; X_k, Z_k – конечные граничные коэффициенты уравнения.

$$Z'_0 = tg(\beta + \theta)$$

После подстановки уравнения (4) в (3) за-

$$Z' = Z'_0 + 2X \frac{Z_k - X_k Z'_0}{X_k^2} + 2X(X - X_k) C_1 + X^2 C_1 + 3X^2 (X - X_k) C_2 + (X - X_k) C_3 + X C_3$$

$$\frac{\partial Z}{\partial C_1} = X^2 (X - X_k)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial C_2} = X^3 (X - X_k)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial C_3} = X (X - X_k)$$

$$\frac{\partial Z'}{\partial C_1} = 2X (X - X_k) + X^2$$

$$\frac{\partial Z'}{\partial C_2} = 3X^2 (X - X_k) + X^3$$

$$\frac{\partial Z'}{\partial C_3} = (X - X_k) + X = 2X - X_k$$

Система уравнений решалась численным методом Ньютона. Расчеты производились при следующих значениях:

$$R = 0,35 м, \quad K = 4000, \quad B = 0,03 м, \quad K_1 = -4,$$

$$f = 0,5, \quad B = -0,1, \quad l_p = 0,2 м, \quad \alpha_T = 20^\circ, \quad \zeta = 12^\circ, \quad z'_0 = 0,9.$$

Тогда уравнение (4), описывающее геометрическую форму рабочей кромки ножа ротора, обеспечивающего минимальные затраты энергии, запишется:

$$Z = 180,4458x^3 - 645,8217x^2 - 0,5575x$$

Экспериментально энергетические показатели работы рыхлительно-сепарирующей машины с 6 секциями (рис. 2.) оценивались крутящим моментом привода ротора и его тяговым сопротивлением.

Вводим обозначения:

$$B_1 = \frac{K \rho (1 + ft \theta \sqrt{1 + Z'^2})}{\sqrt{1 + tg^2 \theta}}$$

онала и проходит через две заданных граничных точки X_0, Z_0 и X_k, Z_k и выходит с начальной точки под заданным углом.

Уравнение линии будем искать в виде, удовлетворяющем условию постановки задачи.

Задача сводится к нахождению значения постоянных коэффициентов C_1, C_2, C_3 , определяющих форму ножа ротора, которая обеспечивает минимальную величину крутящего момента его привода.

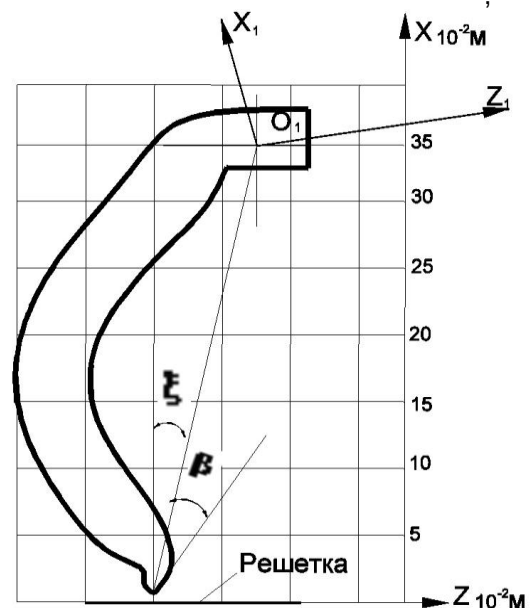


Рис. 1. Профиль рабочей части ножа ротора

Крутящий момент привода ротора определялся для ножа с обоснованным в результате проведения теоретических исследований профилем. Проведение эксперимента осуществлялось при частоте вращения ротора $2,0 \text{ с}^{-1}$ и влажности почвы 22,5 %, среднеквадратическая ошибка эксперимента составила 0,44 Нм. Крутящий момент привода ротора с обоснованной формой составил в среднем 8,41 Нм.

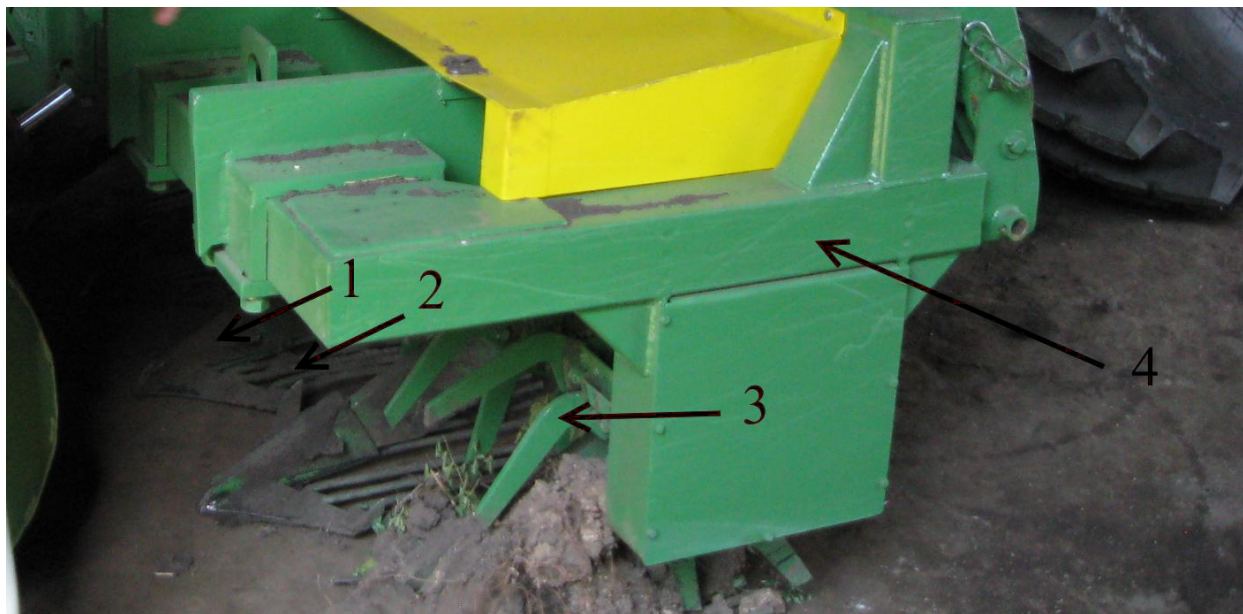


Рис. 2.Рыхлительносепарирующая почвообрабатывающая машина.

1 – подрезающая лапа; 2 – сепарирующая решетка;

3 – нож ротора с обоснованным в результате проведения теоретических исследований профилем; 4 - Рама.

Использование ножей с теоретически обоснованным профилем позволяет снизить максимальную величину крутящего момента на его привод до 20,9 Нм, среднее тяговое сопротивление почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины с шестью секциями, при влажности почвы 22,5 % и твердости $9,7 \text{ Н/м}^2$, скорости движения 2,09 м/с, частоте вращения

ротора $2,0 \text{ с}^{-1}$ и глубине обработки 0,08 м составило 800 Н.

Выводы. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что на привод ножа ротора с обоснованной формой требуется затрат энергии на 22% меньше в сравнении с ранее известной формой.

Список использованной литературы:

1. Пащенко В.Ф. Механико-технологические средства эколого-экономического усовершенствования процессов обработки почвы: дис. ... д-ра техн. наук – Х., 2005 – 335 с.
2. Панов И.М. Перспективные направления создания комбинированных почвообрабатывающих и посевных машин (обзор). / И.М.Панов, Ю.А.Кузнецов – М.: ЦНИИТЭИ, 1973. – 45 с.
3. Панов И.М. Основные пути снижения энергозатрат при обработке почвы / И.М.Панов, Н.М.Орлов // Тракторы и сельхозмашины. – 1987. – № 8. – С. 27-30.
4. Бузенков Г.М. Проблема комбинированных машин и орудий / Г.М.Бузенков // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1974. – № 10. – С. 86-97.
5. Панов И.М. Перспективные направления создания почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами (обзор). / И.М.Панов – М.: ЦНИИТЭИ, 1972. – 62 с.
6. Виноградов В.И. Взаимодействие ротационных рабочих органов с почвой / В.И.Виноградов, Ю.С.Леонтьев // Тракторы и сельхозмашины. – 1968. – № 9. – С. 29-30.
7. Стародинский Д.З. Пути снижения энергоемкости работы почвенных фрез / Д.З.Стародинский // Тракторы и сельхозмашины. – 1967. – № 4. – С. 8-12.
8. Bernacki H. Praca lednostkowa uprawowuyck massun kombinowanych / Bernacki H. // Beinletun pracs naukowo-bodacenyck. Warszawa, 1964. С. 9-63.
9. Бок Н.Б. Технологический расчет почвообрабатывающих фрез / Н.Б.Бок // Земледельческая механика. Т.10 / Под ред. В.А. Желиговского. – М.: Машиностроение, 1968. – С. 16-23.
10. Борисенко А.И. Векторный анализ и начала тензорного исчисления. 3-е изд. / А.И.Борисенко, И.Е.Таранов – М.: Высш. шк., 1966. – 252 с.
11. Попов Г.Ф. Обоснование диаметра фрез барабана, формы рабочих органов и скоростных режимов работы фрез / Г.Ф.Попов // Материалы НТС ВИСХОМ. Вып. 12. – М.: Изд. ОНТИ ВИСХОМ, 1963. – С. 129-145.
12. Пащенко В.Ф. Обоснование профиля лемеха ножа ротора комбинированной машины / В.Ф.Пащенко, В.И.Кармазин // Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні: вісн. ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Вип. 23. – Х., 2004. – С. 19-24.
13. Пащенко В.Ф. Снижение энергоемкости комбинированной машины для обработки почвы и

посева / В.Ф.Пашенко, М.И.Онишко // Механізація і електрифікація сільського господарства: Сб. науч. тр. УНІИМЭСХ. Вып. 70.–Киев, 1989. – С. 17-20.

14. Калиниченко В.И. Введение в метод конечных элементов [спец. курс]. / В.И.Калиниченко, В.И.Дорофеева, С.М.Шкробец – Х.: ХГУ, 1993. – 40 с.

Сиромятников Ю.М. Удосконалення робочих органів ротора розрихлювально-сепаруючої ґрунтообробної машини які забезпечують мінімальні витрати енергії на його роботу

Обґрунтовано форму ножа ротора ґрунтообробної машини яка забезпечує мінімальні витрати енергії на його роботу. Розглянуто роботу робочих органів ротора розрихлювально-сепаруючої ґрунтообробної машини в трьох положеннях щодо ґрунту і сепаруючої решітки. Визначено три фази роботи: від моменту входження ножа в ґрунт до сепаруючої решітки, моменту руху ножа над сепаруючою решіткою, від моменту руху ножа над сепаруючою решіткою і до виходу з ґрунту. Крутий момент ротора визначено відстанню від поверхні ґрунту елементарної площадки, радіусом ротора, кутom між напрямком дії нормальної сили і перпендикуляром до радіусу обертання сили, силою тертя елементарної площадки, радіусом обертання елементарної площадки.

Ключові слова: ґрунт, крутий момент, робота ножа, енергія, сепаруюча решітка, ротор.

Syromyatnikov Yu. N. Improvement of the rotor working parts of the ripping-separating tillage machine providing minimum energy consumption for its work

The form of the knife of the rotor of a tillage machine providing the minimum expenditure of energy for its work is substantiated. The work of the rotor working parts of the ripper-separating tillage machine in three positions relative to the soil and separating grid is considered. Three phases of work have been determined: from the moment the knife enters the soil to the separating grid, the moment the knife moves above the separation grid, from the moment the knife moves over the separating grate and to the exit from the soil. The rotor torque is determined by the distance from the surface of the soil of the elementary site, the radius of the rotor, the angle between the direction of action of the normal force and the perpendicular to the radius of rotation of the force, the friction force of the elementary area, the radius of rotation of the elementary area.

Keywords: soil, torque, knife work, energy, separating grating, rotor

Дата надходження до редакції: 30.08.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Подригало М.А.

УДК 631.1/631.3:631.5

**АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА
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 стосовно обґрунтування вибору оптимального складу машинних агрегатів при роботі їх в умовах Лісостепу України. Пропонована методика дає змогу обґрунтувати оптимальний склад ґрунто-посівних комплексів та машинних агрегатів при виконанні механізованих технологічних операцій та процесів за різними критеріями. Дана методика визначення показників використання складних машинних агрегатів дає можливість проводити обґрунтування вибору складу машинних агрегатів у виробничих умовах сільськогосподарських підприємств України.

Ключові слова: обробіток ґрунту, сівба, посівні комплекси, експлуатаційні показники, енергетичні показники, техніко-економічні показники, ефективність використання, критерії оптимізації.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Головною складовою ланкою сучасної системи землеробства є механічний обробіток ґрунту та сівба, які в основному забезпечують реалізацію потенційних можливостей зернових та інших культур.

На даному етапі землеробства великого значення набувають науково обґрунтована розробка та впровадження нових ґрунтозахисних і ресурсозберігаючих технологій, застосування

яких дозволяє поліпшити структурність ґрунту, підвищити його стійкість проти ерозії, а також скоротити строки та енергетичні витрати при реалізації.

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.