

инновационных идей молодых ученых. – С-Пб.: С-Пб. гос. аграр. универ, 2012. – С. 248–251.

17. ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 629-85) Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы. Введ. 1987-01-07. – М.: Из-дво стандартов. 1986. – 5 с.

18. Мотоблок Зубр JR-Q78, JR-Q79: руководство по эксплуатации. – К.: Простосад. – 86 с.

19. Шкарівський Г.В. Про експлуатаційну масу енергозасобів / Г.В. Шкарівський, Р.Г. Шкарівський // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 2, т. 3. – Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nvtdau>.

Приведены результаты исследований тяговых свойств мотоблока тяжелого класса на бетоне.

Мотоблок, тяговое усилие, бетон, экспериментальные исследования.

The results of investigations of traction properties of heavy-duty two-wheel tractor on concrete.

Walk-behind tractor, traction, concrete, experimental research.

УДК 631.363.21

АНАЛІЗ УМОВ РУЙНУВАННЯ ЗЕРНИНИ ПРИ УДАРНОМУ КОНТАКТІ З ЛОПАТКОЮ

В.О. Соломка, О.В. Соломка, кандидати технічних наук

В статті розглянуті умови руйнування зернини при ударній взаємодії з жорстко закріпленою лопаткою, визначена енергія руйнування та кут відбиття подрібнених часток, що дозволило обґрунтувати теоретично можливу продуктивність роботи подрібнювача.

Зерно, лопатка, подрібнення зерна, параметри, умова подрібнення, аналітичні залежності.

Постановка проблеми. Для визначення теоретично обґрунтованої продуктивності роботи подрібнювачів, що працюють за принципом удару, виникла необхідність в аналізі умов руйнування зернових матеріалів під дією робочих органів, в першу чергу, жорстко закріплених на осі обертання.

© В.О. Соломка, О.В. Соломка, 2014

Подрібнення зернових матеріалів на частки фіксованих розмірів з мінімально можливим вмістом пиловидної фракції є найбільш важливою та енергоємною операцією технологічного процесу виробництва концентрованих кормів та комбікормів. Енергоємність подрібнення зернових компонентів становить від 40 до 70% загальних витрат енергії на процес приготування комбікормів [4] і залежить від способу подрібнення та фізико-механічних властивостей сировини, в першу чергу показників міцності та вологості. Ці показники суттєво впливають на конструкцію, параметри та режими роботи подрібнювачів і залежать від типу зернового матеріалу, сортових особливостей, кліматичних умов вирощування, вологості та інших факторів.

Аналіз останніх досліджень. Подрібнення зернових матеріалів з метою їх подальшого використання для приготування комбікормів або концентрованих кормів здійснюють, в основному, машинами ударної дії, які характеризуються високим ступенем подрібнення і відносно низькою енергоємністю, що в декілька разів менша, ніж в машинах, які працюють за іншими принципами (щоківі, конусні, вальцеві, жорнові подрібнювачі і т.д.). Аналіз попередніх досліджень [1, 2, 3] показав, що зусилля руйнування зерна ударом значно менше, ніж стисканням, причому при прикладенні сили вздовж зернини опір руйнуванню менший, ніж при поперечній дії. Суттєву роль відіграють і розміри зерна: збільшення розмірів зернини в межах сорту підвищує опір його руйнуванню. Підвищення вологості зерна знижує опір роздавлювання при стисканні, збільшуючи залишкову (пластичну) деформацію. У кукурудзи, навпаки, при збільшенні вологості до 25% опір зерна руйнуванню зростає, а при подальшому збільшенні вологості – падає [2].

Значний вклад в розвиток теорії подрібнення внесли В.П. Горячкін, В.І. Сироватка, С.В. Мельников, Г.М. Кукта, І.І. Ревенко, О.М. Пилипенко та ряд інших вчених. Але питання впливу фізико-механічних властивостей зернових матеріалів на розміри часток після подрібнення ударом та на питому енергоємність процесу потребують подальших досліджень.

Мета досліджень. Підвищити ефективність процесу подрібнення зернових матеріалів ударом шляхом аналізу умов їх руйнування під дією робочих органів подрібнювача.

Результати досліджень. При ударі лопаткою зернина може відбитися від неї цілою, або подрібненою на частки (крихке руйнування), а у випадку пластичного удару – ковзати по її поверхні під дією відцентрової сили до сходження. Розглянемо випадок, коли зернина в результаті удару лопатки не зруйнується на частки, а залишиться цілою, а на її поверхні утворяться тріщини (рис. 1).

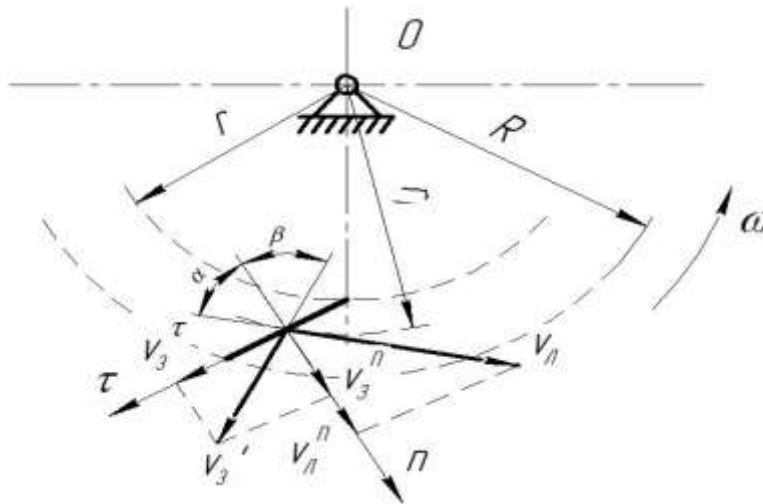


Рис. 1. Взаємодія зернини з лопаткою в подрібнювальній камері.

При зустрічі з зерниною лопатка діятиме на неї з ударним імпульсом S [5]:

$$S = \int_0^t F_d dt = m_z \cdot (V_z - v_z), \quad (1)$$

де F_d – сила удару лопатки по зернині, Н; m_z – маса зернини, кг; v_z і V_z – швидкість зернини відповідно до і після удару, м/с.

Припустивши, що поверхня лопатки ідеально гладка і жорстко встановлена під кутом α до напрямку руху, а кут відбиття зернини $\beta > \alpha$, визначимо модуль швидкості і напрям польоту зернини після удару по ній лопатки [5]:

$$V_z = v \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{1 + \varepsilon^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha}; \quad \beta = \operatorname{arcctg}(\varepsilon \cdot \operatorname{ctg} \alpha), \quad (2)$$

де V_z – швидкість зернини після удару, м/с; v_n – швидкість обертання лопатки, м/с; α – кут між нормаллю до поверхні лопатки та напрямом обертання, град.; β – кут відбиття зернини від поверхні лопатки, град.; ε – коефіцієнт відновлення зернини після удару, який визначається з довідника, або експериментальним шляхом за залежністю:

$$\varepsilon = \sqrt{h_e / h};$$

де h_e – висота відбиття зернини від поверхні, м; h_n – висота падіння зернини, м.

Враховуючи, що зернина не ідеально пружне тіло ($\varepsilon < 1$), то величина модуля її швидкості після відбиття лопаткою буде меншою від швидкості обертання лопатки, тобто $V_z < v_n$. За попередніми розрахунками, швидкість зернини після відбивання лопаткою досягає 30 м/с. Кут відбиття зернини β навпаки, буде перевищувати кут її падіння α [5]. В нашому випадку, $\beta \approx 40^\circ$.

Для спрощення дослідження процесу вважаємо, що початкова швидкість зернини в момент удару в напрямку руху лопатки відсутня ($v_{zu} = 0$), а швидкість лопатки $v_l = \omega \cdot r_i$, де ($r \leq r_i \leq R$). Тоді вираз (1) для випадку відбивання зернини лопаткою запишемо у вигляді:

$$\int_0^t F_d dt = m_z \cdot \omega \cdot r_i \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{1 + \varepsilon^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha} . \quad (3)$$

Межі інтегрування лівої частини виразу (3) визначаємо з умови швидкості с проходження звукової хвилі в пружному середовищі, яким може бути формалізована зернина:

$$c = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} , \quad (4)$$

де λ – коефіцієнт Ламе, $\lambda = K - \frac{2}{3}G$; K – модуль пружності об'ємної

деформації: $K = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{1 + \mu}{1 - 2\mu} \right) \cdot E$; G – модуль пружності зсувних

деформацій: $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)}$; μ – коефіцієнт поперечної деформації для

зерна (в розумінні коефіцієнта Пуассона).

Підставивши одержані величини у вираз (3) та враховуючи, що час t проходження хвилі в зернині – це співвідношення відстані (діаметра зернини d_{np}) до швидкості хвилі c , одержимо:

$$t = \frac{d_{np}}{c} = \frac{(5a + 6b)/30}{\sqrt{\frac{E \cdot (1 - \mu)}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu) \cdot \rho}}} , \quad (5)$$

де ρ – густина зернини; a, b – відповідно ширина і товщина зернини.

Площу поверхні зернини та її об'єм можна визначити за виразами [2]:

$$S_z = 4\pi R \cdot (l + 3R); \quad V_z = K_z a b l , \quad (6)$$

де S_z – площа поверхні зернини, m^2 ; V_z – об'єм зернини, m^3 ; a, b, l – відповідно товщина, ширина та довжина зернини, m ; $R = (5a + 6b)/60$ – приведений радіус зернини, m ; K – коефіцієнт, що враховує форму зернини.

Діаметр зернини визначаємо з залежності: $d_{np} = (5a + 6b)/30$.

Тоді, з врахуванням (5), вираз (3) запишемо у вигляді:

$$\frac{F_d \cdot (5a + 6b)/30}{\sqrt{\frac{E \cdot (1 - \mu)}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu) \cdot \rho}}} = m_z \cdot \omega \cdot r_i \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{1 + \varepsilon^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \alpha} \quad (7)$$

Умовою подрібнення зернини буде співвідношення: $F_D \geq F_{руйн.}$, де $F_{руйн.}$ – сила удару при руйнуванні зерна стиском.

З виразу (7) визначимо силу удару лопатки по зернині при руйнуванні її на частки:

$$F_D = \frac{m_3 \cdot \omega \cdot \sin}{(5a + 6b)/30} \sqrt{\frac{E \cdot (1 + \varepsilon^2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot (-\mu)}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu) \cdot \rho}} \quad (8)$$

Аналіз виразу (8) показує, що зі збільшенням кута α нахилу лопатки до напрямку її обертання сила удару лопатки по зернині зростає (рис. 2). З іншого боку, при збільшенні кута нахилу лопатки та кутової швидкості її обертання зростає вміст пиловидної фракції в подрібненому матеріалі та питома енергоємність процесу, що негативно впливає на якісні показники роботи подрібнювача.

Наведені вище твердження справедливі для умови, що зернина відбивається від лопатки не подрібненою.

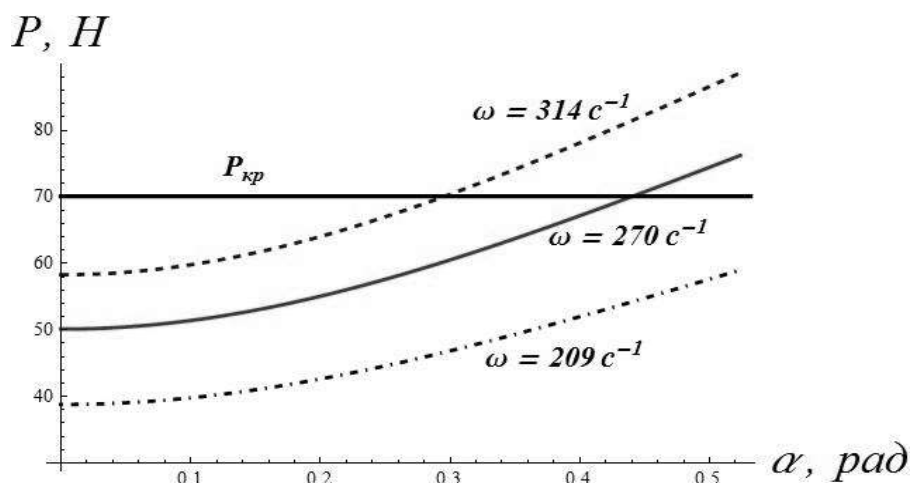


Рис. 2. Залежність сили удару лопатки по зернині від кута її нахилу при різній кутовій швидкості обертання.

Швидкість удару лопатки по зернині V_n повинна бути такою, щоб сила удару F змогла подолати пружні деформації і в пластичній деформації досягти зміцнення поверхні зернини, тому вона повинна руйнуватися на частки при ударі лопаткою. В цьому випадку можна припустити, що частки також відбиваються від лопатки аналогічно цілій зернині і для них справедливий вираз (8), або вони як пластичне тіло рухаються разом з лопаткою, переміщуючись під дією відцентрової сили з врахуванням сили тертя по її поверхні до сходження та вільного польоту в напрямку деки (решета). Вірогідність другого випадку вища, тому розглянемо його більш детально. Прийнемо, що зернина при ударі по ній лопатки подрібнювача руйнується на n часток, затративши на цей процес

енергію W_p . Враховуючи характер удару, частинки зернини набудуть швидкості V_{i_3} , яка буде направлена вздовж площини лопатки (пластичний удар), або відіб'ються від неї під кутом β , аналогічно цілій зернині (пружно-пластичний удар).

Для випадку відбивання подрібнених часток зернини вираз (8) прийме вигляд:

$$F_D = \sum_{i=1}^n m_{q_i} \cdot \frac{\omega \cdot r_i \cdot \sin \alpha}{(5a+6)/30} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot (1+\varepsilon^2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot (-\mu)}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu) \cdot \rho}} \geq F_{kp}, \quad (9)$$

де $\sum_{i=1}^n m_{q_i} \approx m_3$ – сумарна маса подрібнених часток зернини, кг.

З іншого боку, згідно з теоремою про зміну кінетичної енергії тіл при ударі [3]:

$$W_K = A_p + \frac{1}{2} \cdot \left(\sum_{i=1}^n m_{q_i} \cdot V_{i_3}^2 - m_3 \cdot v_3^2 \right), \quad (10)$$

де W_K – кінетична енергія диска з лопатками до удару; A_p – енергія (робота) руйнування зернини; m_{q_i} – маса i -ї частки подрібненої зернини, $\sum_{i=1}^n m_{q_i} \approx m_3$; m_3 – маса зернини; v_3 – швидкість зернини до удару, приймаємо $v_3 = 0$.

Розглянемо другий випадок, коли зернина, або її частки після удару не відбиваються, а рухаються по поверхні лопатки під дією відцентрової сили $F_j = \omega^2 \cdot r_i \cdot \sum_{i=1}^n m_{i_3}$, сили Коріоліса $F_k = 2\omega \dot{r}_i \sum_{i=1}^n m_{i_3}$ та сили тертя $F_T = f \omega \cdot \sum_{i=1}^n m_{i_3} \cdot (2\dot{r}_i - \omega r_i \cdot \sin \alpha)$. Переміщення часток вздовж лопатки буде здійснюватися за умови: $\omega r_i > f \cdot (2\dot{r}_i - \omega r_i \cdot \sin \alpha)$. Частки зернини будуть сходити з лопатки в момент, коли $r_i = R$.

Для визначення відносної швидкості переміщення часток зернини по лопатці (рис. 1) спроектуємо діючі сили на вісь τ і складемо диференціальне рівняння руху:

$$\sum_{i=1}^n m_{i_3} \cdot a_\tau = \sum_{i=1}^n m_{i_3} \cdot [\omega^2 \cdot r_i \cdot \cos \alpha - f \omega \cdot (2\dot{r}_i - \omega r_i \cdot \sin \alpha)], \quad (11)$$

де a_τ – прискорення переміщення часток зернини по лопатці.

Провівши відповідні перетворення, одержимо вираз для визначення відносного прискорення переміщення часток по лопатці:

$$a_\tau = \omega \cdot [\omega \cdot r_i \cdot \cos \alpha - f \cdot (2\dot{r}_i - \omega r_i \cdot \sin \alpha)]. \quad (12)$$

Швидкість сходження часток визначаємо за виразом:

$$V_{i_3} = \sqrt{(\omega R - v_r \sin \alpha)^2 + (v_r \cos \alpha)^2}, \quad (13)$$

де $v_r = \dot{r}_i$ – відносна швидкість переміщення часток зернини по лопатці.

Рішення рівняння (13) дозволить знайти значення відносної швидкості переміщення зернини, або її часток по лопатці, але воно досить громіздке, крім того, відносна швидкість переміщення часток зернини по лопатці в порівнянні зі швидкістю обертання лопатки значно менша, тому для практичних розрахунків нею можна знехтувати [3]. Приймаємо, що в момент сходження з лопатки частки зернини мають швидкість $V_{i_s} = \omega R$ і направлені вздовж поверхні лопатки в сторону деки. Радіальна складова початкової швидкості польоту часток з врахуванням втрати швидкості за рахунок їх тертя по лопатці становитиме:

$$V_{i_s} = f_o \cdot \omega \cdot R \cdot \sin \alpha, \quad (14)$$

де f_o – коефіцієнт, що враховує втрату швидкості зернини, $f_o = f \cdot (2\dot{r}_i - \omega r_i \cdot \sin \alpha)$.

Тоді, вираз (10) з врахуванням (12) запишемо у вигляді:

$$A_p = \frac{\omega^2 \cdot R}{2} \cdot m_{np} \cdot \left(1 + \frac{1}{\tan^4 \alpha} - \sum_{i=1}^n m_{q_s} \right). \quad (15)$$

З іншого боку, витрати енергії (роботи) на подрібнення зернових матеріалів С.В. Мельников пропонує визначати за виразом [6]:

$$A_p = C_1 \cdot \lg \lambda^3 + C_2 \cdot (\lambda - 1), \quad (16)$$

де C_1 і C_2 – коефіцієнти, що враховують фізико-механічні властивості зернових матеріалів; λ – ступінь подрібнення зерна, $\lambda = \frac{S_\kappa}{S_0}$, або

$\lambda = \frac{D_3}{d_i}$; S_κ і S_π – відповідно питома площа часток кінцевого продукту

помелу і площа цілих зернин до подрібнення; D_3 і d_i – приведений діаметр зернини та діаметр подрібненої частки.

Коефіцієнти C_1 і C_2 визначають з експериментальних даних. Так, для ячменю приймають $C_1 = (1,0 \dots 1,3) \cdot 10^4$ Дж/кг, а $C_2 = (0,6 \dots 0,9) \cdot 10^4$ Дж/кг. В залежності від модуля помелу ступінь подрібнення ячменю знаходиться в межах $2,3 \leq \lambda \leq 21,0$ [6].

За виразом (16) побудуємо графік зміни питомої роботи руйнування зернини ячменю від розмірів часток (рис. 3,а), а за виразом (15) – від частоти обертання диска (рис. 3,б).

Аналіз графіків показує, що енергія удару лопатки по зернині перевищує енергію, необхідну для руйнування зернини при дії динамічного навантаження, що дозволяє визначити теоретично можливу продуктивність роботи подрібнювача.

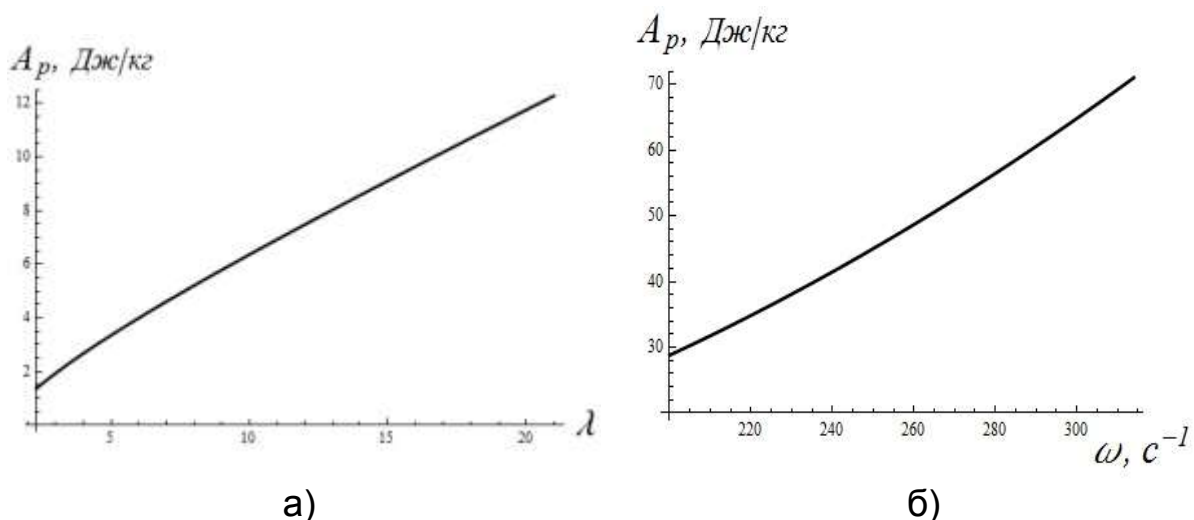


Рис. 3. Залежність питомої роботи руйнування зернини від ступеня її подрібнення λ (а) та частоти обертання диска подрібнювача (б).

Висновок. В результаті проведених аналітичних досліджень встановлено, що при виборі раціональних параметрів та режимів роботи подрібнювача зернових матеріалів з жорстко закріпленими робочими органами (лопатками) ударної дії можна визначити теоретично можливу продуктивність роботи подрібнювача.

Список літератури

1. *Механизация приготовления кормов: Справочник* // Под ред. В.И. Сыроватка – М.: Агропромиздат, 1985. – 368 с.
2. *Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів* : підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін. ; За ред. С.С. Яцуна. – К.: Мета, 2003. – 448 с.
3. К. Джонсон. *Механіка контактного взаємодія* : Пер. с англ. / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
4. Соломка В.О. Обґрунтування раціонального способу збирання насіння люцерни / В.О. Соломка // *Механізація сільськогосподарського виробництва*. – К.: НАУ, 1999. – Т. V. – С. 169–172.
5. Бутенин Н.В. *Курс теоретической механики* / Н.В. Бутенин, Я.Л. Луиц, Д.Р. Меркин. – М.: Наука, 1979. – Т. 2. – 544 с.
6. Соломка В.О. До методики дослідження властивостей зернових матеріалів / В.О. Соломка, В.В. Ткач, О.В. Соломка // *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка і енергетика АПК*. – К.: НУБіП України, 2010. – Вип. 144, ч. 5. – С. 162–170.

В статье рассмотрены условия разрушения зерна при ударном взаимодействии с жестко закрепленной лопаткой, определена энергия разрушения и угол отражения измельченных частиц, что позволило обосновать теоретически возможную производительность работы измельчителя.

Зерно, лопатка, измельчение зерна, параметры, условия измельчения, аналитические зависимости.

In paper the terms destruction of grain are considered at shock co-operating with hardly envisaged shoulder-blade, energy of destruction and corner of reflection of ground up particles are certain, that allowed to ground possible productivity of work of grinding down in theory.

Grain shovel, grain refinement parameters milling conditions, analytical dependence.

УДК 631:372

ЕНЕРГОЗАСОБИ ІНТЕГРАЛЬНОГО КОМПОНУВАННЯ: РЕАЛІЇ І НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ

Г.В. Шкарівський, кандидат технічних наук

Викладено результати аналізу розвитку інтегральної конструктивно-компонувальної схеми енергозасобів сільськогосподарського призначення.

Мобільний енергетичний засіб, компонентування, інтегральне компонентування, конструкція, розвиток.

Постановка проблеми. Мобільний енергетичний засіб (МЕЗ) є основою для створення машинно-тракторних агрегатів (МТА). Ефективність його використання у складі агрегату і обсяг технологічних операцій, які можуть бути виконані з його використанням визначають склад машинно-тракторного парку господарства, а звідси і собівартість кінцевої продукції. Останнім часом тракторобудівні підприємства істотно розширили номенклатуру своєї продукції включаючи і випуск машин не традиційних для себе конструктивно-компонувальних схем (компоновок), включаючи і інтегральну. Це внесло зміни в цінову політику підприємств і не завжди мало позитивний вплив на собівартість кінцевої продукції сільського господарства.

За таких умов актуальними є питання, які спрямовані на вивчення напрямів розвитку конструктивно-компонувальних схем МЕЗ і відповідають положенням державної цільової програми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі.

© Г.В. Шкарівський, 2014