

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННОСТИ ПАХОТНОГО МТА НА БАЗЕ КОЛЕСНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА**

**Введение.** Эффективность современных сельскохозяйственных тракторов во многом зависит от правильного соотношения мощности двигателя и массы трактора. Именно эти два параметра определяют энергонасыщенность трактора. В процессе эксплуатации трактора энергонасыщенность является переменной величиной, это связано с необходимостью повышения технико-экономических и тягово-энергетических показателей. Для этого применяют балластирование трактора, которое для каждой модели трактора оговаривается в его технической характеристике. Именно благодаря балластированию можно при минимальных затратах изменять энергонасыщенность, повысить производительность, снизить буксование колес, а также добиться уменьшения погектарного расхода топлива.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Энергонасыщенность современных зарубежных тракторов находится в диапазоне 1,0...2,1 кВт/кН [1]. Зарубежные производители, выпускающие трактора предусматривают возможность их последующего балластирования до 50% и более от конструктивной массы, что существенно изменяет энергонасыщенность трактора, которая во многом влияет на производительность.

Поэтому энергонасыщенность колесных тракторов находится в достаточно широком диапазоне 0,9...2,3 кВт/кН, что создает необходимость поиска рационального соотношения мощности двигателя и эксплуатационного веса при проектировании трактора [1]. Колесные тракторы производства стран СНГ тяговой концепции имеют энергонасыщенность в пределах 1,4...1,7 кВт/кН [2].

**Цель и постановка задачи.** Целью данной работы является поиск рациональной энергонасыщенности пахотного МТА на базе колесного трактора с позиций получения максимальной производительности на основе поля градиентов. Поиск рациональной энергонасыщенности рассмотрен на примере колесных тракторов производства ХТЗ.

**Определение рациональной энергонасыщенности пахотного МТА.** Математическая модель поиска рациональной энергонасыщенности колесного трактора с позиций получения максимальной производительности за час чистого времени основывается на варьировании мощностью двигателя и весом трактора.

В общем случае в качестве энергетической установки можно принять дизельный двигатель, который работает в номинальном режиме, при угловой скорости коленчатого вала двигателя  $\omega = \omega_{\text{ном}}$ , причем для данного типа двигателя угловую скорость можно принять равной 220 рад/с.

Переменными параметрами в данном алгоритме является вес трактора ( $G$ ) и мощность двигателя ( $N_e$ ):

$$\begin{aligned} N_e &= \text{var}; \\ G &= \text{var}. \end{aligned} \tag{1}$$

Основные тяговые параметры колесного трактора в агрегате с плугом определя-

ются по известным методикам [1,3]. Далее определяется ширина захвата плуга из условий полной загрузки двигателя с использованием формулы В.П. Горячкина:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^2 P_{ki} - \sum_{i=1}^2 f_i \cdot G_i - f_n \cdot G_n}{k \cdot h \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon}{k} \cdot V^2\right)}, \quad (2)$$

где  $P_{ki}$  – касательные силы тяги мостов;

$G_i$  – вес трактора, приходящийся на соответствующий мост;

$f_i$  – коэффициент сопротивления качению соответствующего моста;

$G_n$  – вес плуга;

$f_n$  – коэффициент, характеризующий потери на передвижение плуга;

$k, \varepsilon$  – коэффициенты, характеризующие сопротивление пласта деформации (удельное сопротивление почвы), форму рабочей поверхности корпуса плуга и технологические свойства почвы;

$h, V$  – глубина вспашки и скорость движения трактора.

Производительность МТА, га/ч:

$$S = 0,36 \cdot B \cdot V. \quad (3)$$

Энергонасыщенность трактора, кВт/кН:

$$E = \frac{N_e}{G}. \quad (4)$$

Наиболее целесообразное направление изменения веса и мощности двигателя по критерию максимального приращения производительности МТА можно определить с использованием градиента и его компонентов:

$$\text{grad } S = \frac{\partial S}{\partial G_{\text{отн}}} \cdot \vec{e}_G + \frac{\partial S}{\partial N_{\text{отн}}} \cdot \vec{e}_{N_d} \quad (5)$$

где  $G_{\text{отн}}$  – относительное изменение веса трактора;

$N_{\text{отн}}$  – относительное изменение мощности тракторного двигателя:

$$G_{\text{отн}} = \frac{\Delta G}{\max(G)}; \quad N_{\text{отн}} = \frac{\Delta N}{\max(N)}. \quad (6)$$

Угол направления вектора-градиента определяется соотношением:

$$\varphi = \text{arctg} \left( \frac{\frac{\partial S}{\partial N_{\text{отн}}}}{\frac{\partial S}{\partial G_{\text{отн}}}} \right) \quad (7)$$

Построение поля градиентов и его компонентов по переменным  $G$  и  $N$  позволяет выявить области рационального изменения параметров.

**Анализ результатов математической модели.** Для расчета были выбраны исходные данные колесных тракторов ХТЗ-150К-09 и ХТЗ-17221. Вес варьировался от 70 до 120 кН, а мощность двигателя от 90 до 200 кВт.

Расчеты показывают, что для получения максимального прироста производительности и получения рациональной энергонасыщенности необходимо изменять мощность двигателя и вес трактора в пределах зон, где это целесообразно. Так установлено, что существуют зоны, в которых производительность колесного трактора будет, уменьшаться с увеличением мощности или сцепного веса (см. рис 1).

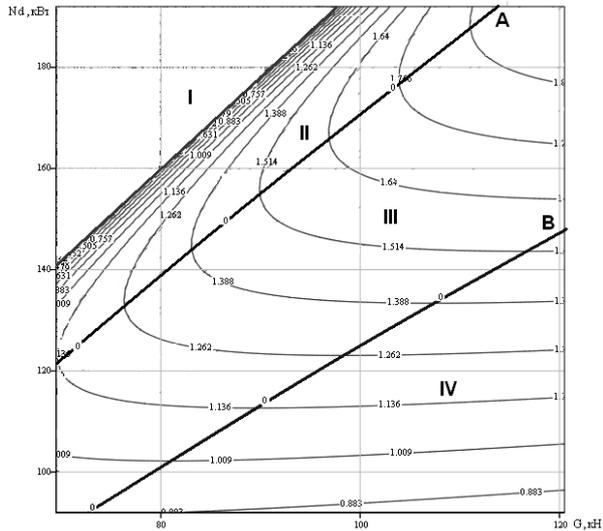


Рис. 1. Зоны, определяющие прирост производительности трактора ХТЗ-150К-09

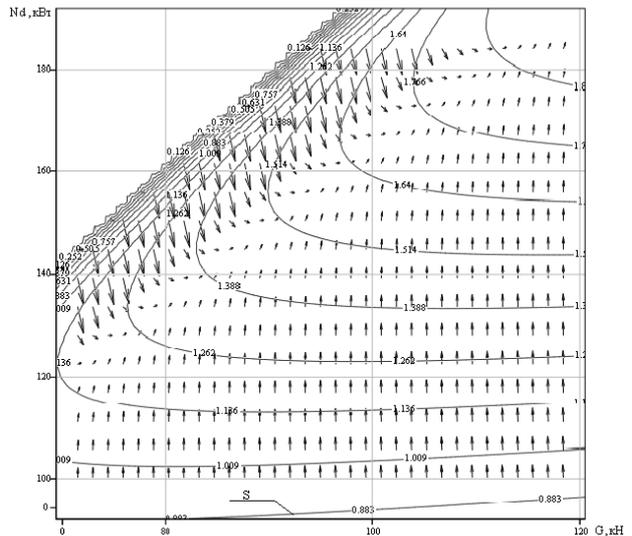


Рис. 2. Поле градиентов производительности

На рис. 1 показана линия **A**, которая представляет собой нулевое значение компонента градиента  $\partial S/\partial N$  и соответствует максимальной производительности трактора при соответствующем весе. Дальнейшее увеличение мощности нецелесообразно, так как приводит к снижению производительности. Линия **A** является границей области **II** и **III** поля параметров. Область **I** соответствует зоне, в которой трактор не работает, так как в процессе увеличения мощности двигателя при постоянном весе трактора буксование колес увеличивается до 100%.

В области **II** прирост производительности возможен при снижении мощности двигателя трактора и увеличении его веса. Линия **B** представляет собой нулевое значение компонента градиента  $\partial S/\partial G$  и соответствует максимальной производительности трактора при соответствующей мощности двигателя.

В области **III** прирост производительности возможен при совместном увеличении мощности двигателя и веса трактора.

Область **IV** соответствует зоне, в которой эксплуатационный вес трактора превышает необходимое значение и дальнейшее увеличение веса трактора становится нецелесообразным, поэтому для получения максимальной производительности в этой области необходимо увеличивать мощность двигателя и уменьшать вес трактора.

Рациональное изменение параметров трактора с позиций получения максимального прироста производительности предлагается производить в соответствии с градиентом производительности по мощности и весу трактора (см. рис. 2).

Направление вектора-градиента показывает, при каком соотношении изменения параметров происходит наибольший прирост производительности, а величина (модуль) вектора характеризует количественный прирост производительности. Если двигаться из какой-то начальной точки, модернизируя трактор с конкретным весом и мощностью двигателя, в поле градиентов получится траектория модернизации трактора с позиций наибольшего прироста производительности при наименьшем изменении его парамет-

ров. Данная траектория будет иметь вид кривой, которая зависит от начальных конструктивных параметров трактора.

Поверхность производительности, которая получена для конкретных значений веса и мощности двигателя, представляет собой ячеистую поверхность (рис. 3). Расчет модернизации начинается с узловой точки, соответствующей начальным параметрам трактора, и, в соответствии с углом градиента в этой точке, делается один шаг модернизации по градиенту. При этом получаем следующую точку в поле ячейки (точка **I**) поверхности углов градиента, а узловые точки поверхностей производительности и углов градиента совпадают. Угол градиента в точке **I** можно определить по известным значениям угла градиента в узловых точках ячейки, которой принадлежит точка **I**, воспользовавшись линейной интерполяцией.

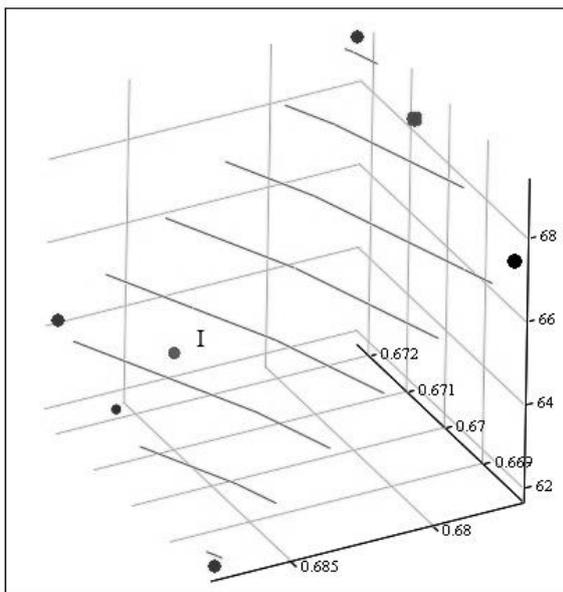


Рис. 3. Ячеистая поверхность углов градиента с расчетной точкой **I**

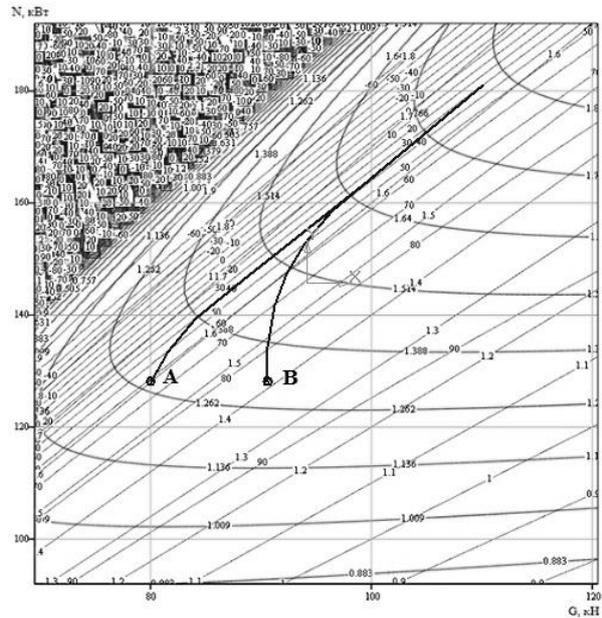


Рис.4. Траектории модернизации тракторов по градиенту производительности

Таким образом, проделав ряд шагов получаем траекторию модернизации трактора по условию наибольшего прироста производительности на каждом шаге модернизации при варьировании весом и мощностью двигателя.

В качестве примера приведены две траектории модернизации трактора, которые представлены на рис. 4. Траектория **A** принадлежит трактору ХТЗ-150К-09 с шинами 21,3 R 24, мощностью двигателя 128,7 кВт и весом 80 кН. Траектория **B** соответствует трактору ХТЗ-17221 с шинами 21,3 R 24, мощностью двигателя 128,7 кВт и весом 89 кН. Поверхность производительности имеет перегиб, который говорит о том, что для каждого веса трактора существует предельная мощность двигателя, превышение которой нецелесообразно поскольку приводит к снижению производительности. Траектории модернизации асимптотически приближаются к линии **A** (рис. 1) нулевого значения компонента градиента  $\partial S/\partial N$ , которая, в свою очередь характеризует предельную способность данной ходовой системы реализовывать мощность двигателя. Поэтому траектории обоих тракторов сходятся в одну линию **A** и показывают, что для шин 21,3 R 24 на первой передаче предельной или рациональной энергонасыщенностью является значение 1,65 кВт/кН, превышение которого нецелесообразно для выполнения тяговых технологий, в частности вспашки. Поэтому для рассматриваемых тракторов ХТЗ-150К-09 (энергонасыщенность 1,61 кВт/кН) и ХТЗ-17221 (энергонасыщенность 1,45 кВт/кН) можно повышать мощность для достижения энергонасыщенности 1,65 кВт/кН.

**Выводы:**

1. Предложенный метод определения рациональной энергонасыщенности по критерию наибольшего прироста производительности позволяет определить траектории модернизации трактора с использованием поля градиентов.

2. Существуют области соотношения мощности двигателя и веса трактора, в которых прирост производительности возможен при уменьшении одного из параметров и одновременном увеличении второго. В эти области попадают трактора переразмеренные по мощности двигателя или весу.

3. Получаемые с использованием предложенного метода траектории модернизации тракторов при достаточно большом изменении параметров асимптотически приближаются к нулевой линии значения компонента градиента  $\partial S/\partial N$ , которая, в свою очередь характеризует предельную способность данной ходовой системы реализовывать мощность двигателя.

4. Для выполнения наиболее энергоемкой операции – вспашки тракторами семейства ХТЗ с шинами 21,3 R 24 на первой передаче рациональной является энергонасыщенность 1,65 кВт/кН.

5. Наиболее близкой к рациональной является энергонасыщенность трактора ХТЗ-150К-09. Трактор ХТЗ-17221 имеет завышенный вес по отношению к мощности двигателя, его энергонасыщенность близка к нижней границе рекомендуемой энергонасыщенности тракторов тяговой концепции 1,4 кВт/кН, [3].

**Литература:** 1. Самородов В.Б., Ребров А.Ю. Развитие классических методов тягового расчета трактора с учетом основных технико-экономических показателей МТА // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автомобіле- і тракторобудування. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2008. – № 58. – С. 11–20. 2. Кутьков Г.М. / Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. – М.: Колос, 2004. – 504 с.: илл. 3. Самородов В.Б., Ребров А.Ю. Энергонасыщенность и технико-экономические показатели колесных сельскохозяйственных тракторов // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автомобіле- і тракторобудування. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 58. – С. 11–20.

**Bibliography (transliterated):** 1. Samorodov V.B., Rebrov A.Ju. Razvitie klassicheskikh metodov tjagovogo rascheta traktora s uchetom osnovnyh tehniko-jekonomicheskikh pokazatelej MTA // Visnik NTU "HPI". Zbirnik naukovih prac'. Tematichnij vipusk: Avtomobile- i traktorobuduvannja. – Harkiv: NTU "HPI". – 2008. – № 58. – S. 11–20. 2. Kut'kov G.M. / Traktory i avtomobili. Teorija i tehnologicheskie svojstva. – M.: Kolos, 2004. – 504 s.: ill. 3. Samorodov V.B., Rebrov A.Ju. Jenergonasywennost' i tehniko-jekonomicheskie pokazateli kolesnyh sel'skohozjajstvennyh traktorov // Visnik NTU "HPI". Zbirnik naukovih prac'. Tematichnij vipusk: Avtomobile- i traktorobuduvannja. – Harkiv: NTU "HPI". – 2010. – № 58. – S. 11–20.

О.Ю. Ребров, В.Б. Самородов, В.В. Кучков

**ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ЕНЕРГОНАСИЧЕНОСТІ ОРНОГО МТА НА БАЗІ КОЛІСНОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ТРАКТОРА**

Наведена методика визначення раціональної енергонасиченості орного МТА на базі колісного трактора з точки зору отримання максимального приросту продуктивності на основі поля градієнтів продуктивності.

O.Yu. Rebrov, V.B. Samorodov, V.V. Kuchkov

**RATIONAL ENERGY SATURATION DEFINITION OF PLOWING MACHINERY-TRACTOR UNIT BASED ON A WHEELED AGRICULTURAL TRACTOR**

This article presents a method for determining a rational energy saturation of plowing machinery-tractor unit based on a wheeled agricultural tractor according to viewpoint of maximize performance gains, based on the gradient performance field.