

УДК 631.95:631.431.7
AGRIS U10

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА В ТЕХНОЛОГИИ

©Панасюк А. Н., SPIN-код: 3531-7084, д-р техн. наук,
Дальневосточный научно-исследовательский институт механизации
и электрификации сельского хозяйства, г. Благовещенск, Россия, alex28rus@list.ru
©Демко А. Н., г. Благовещенск, Россия

CALCULATION OF ENERGY AND AGRO-ECOLOGICAL RATIONALITY OF USING ENERGY MEANS IN TECHNOLOGY

©Panasyuk A., SPIN-code: 3531-7084, Dr. habil., Far Eastern Research Institute
of Mechanization and Electrification of Agriculture, Blagoveshchensk, Russia
©Demko A., Blagoveshchensk, Russia

Аннотация. Приняты критерии, оценивающие применяемое в агрегате энергетическое средство по степени реализации заложенной мощности в режиме рабочего хода, который отвечает одновременно современным требованиям ресурсосбережения и высокой производительности. Но для получения желаемого значения удельной производительности, при вычислении мощности необходимо задаваться либо рабочей скоростью, либо шириной захвата, либо обоими параметрами, т. е. — чистой производительностью. Для расчета критерия энергетической эффективности нового агрегата использовалась методика, основанная на том, что для каждого энергосредства на определенном почвенном фоне найдется оптимальное значение тягового сопротивления, при котором тяговый КПД достигнет максимума. Такая методика позволяет рассчитать рациональное энергетическое средство для выполнения полевых работ в технологиях растениеводства с высокой энергетической эффективностью и с учетом экологических последствий от техногенного воздействия на агроценоз.

Abstract. Criteria are adopted that evaluate the energy tool used in the unit according to the degree of realization of the installed capacity in the working stroke mode, which simultaneously meets the modern requirements of resource saving and high performance. But to obtain the desired value of the specific productivity, when calculating the power, it is necessary to specify either the operating speed or the capture width or both parameters, that is, the net performance. To calculate the criterion of energy efficiency of the new unit, a method was used, based on the fact that for each power unit on a certain soil background there is an optimal value of traction resistance at which the traction efficiency reaches a maximum. This technique allows us to calculate a rational energy tool for performing field work in crop production technologies with high energy efficiency and taking into account the environmental consequences of the anthropogenic effect on agrocenosis.

Ключевые слова: методика, ресурсосбережение, энергетическое средство, производительность.

Keywords: technique, resource conservation, energy tool, performance.

Технологии интенсивного земледелия базируются на трех основных принципах:

–прибыльность и конкурентоспособность;

–энергосбережение, основанное на адаптированных видах агрегатов;

–сохранение и восстановление природных ресурсов (почвенного плодородия) с максимальным выходом продукции растениеводства на 1 мм осадков и 1 °С тепла.

Поэтому методы использования средств механизации в технологиях растениеводства должны обладать свойством разнообразия воздействий на выполнение производственного процесса, а применяемые для этих целей подходы к оценке сводить к минимуму ущерб, наносимый агроценозу и потерями урожая от антропогенной нагрузки [1].

В качестве критерия, оценивающего применяемое в агрегате энергетическое средство по степени реализации заложенной мощности в режиме рабочего хода, примем максимум удельной чистой производительности на единицу затрачиваемой энергии.

$$P_N = \frac{B_p v_p}{N_e^H \xi_N} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где P_N — удельная производительность, м²/Дж;

N_e^H — эффективная мощность двигателя, Вт;

ξ_N — коэффициент использования номинальной мощности двигателя.

Выбор такого критерия оптимизации режима рабочего хода агрегата, отвечает одновременно современным требованиям ресурсосбережения и высокой производительности [3].

При этом должны соблюдаться условия:

$$\delta \leq \delta_q \leq \delta_n;$$

$$v \leq v_q \leq v_n;$$

где δ_q ; δ_n — допустимое и номинальное значение буксования;

v_q ; v_n — допустимая и номинальная скорости движения.

Но существует некоторая неопределенность при выборе энергетического агрегата для получения желаемого значения удельной производительности. При вычислении мощности необходимо задаваться либо рабочей скоростью, либо шириной захвата, либо обоими параметрами, т. е. — чистой производительностью. Но из этого же следует, что одинаковой производительности можно достичь при работе на высоких скоростях и небольшой ширине захвата или на малых скоростях с большой шириной захвата агрегата.

В условиях интенсификации технологии для расчета критерия энергетической эффективности нового агрегата воспользуемся методикой, основанной на том, что для каждого энергосредства на определенном почвенном фоне найдется оптимальное значение тягового сопротивления, при котором тяговый КПД достигнет максимума. В интенсивных технологиях предпочтительно применять тягово-приводные агрегаты.

Представим тяговый КПД тягово–приводного агрегата в виде:

$$\eta_{\text{тяг}} = \frac{\varphi_{\text{кр}} \cdot G_T \cdot v_p}{N_{e(\text{тяг})}} = \frac{\varphi_{\text{кр}} \cdot G_T \cdot v_p}{N_e^H \cdot \xi_N \cdot e_N} = \frac{\varphi_{\text{кр}} \cdot v_p}{\mathcal{E}_T \cdot e_N}; \quad (2)$$

где G_T — вес энергосредства, Н;

$\varphi_{\text{кр}}$ — коэффициент использования веса;

\mathcal{E}_T — энергонасыщенность трактора, Вт/Н.

e_N — коэффициент, учитывающий долю мощности, идущую на тягу.

$$\epsilon_N = \frac{N_{e(\text{тяг})}}{N_e^H \xi_N}. \quad (3)$$

Поскольку в аспекте рассматриваемой проблемы нас интересует агрофильность применяемого движителя для представления изменения тягово-цепных в свойств энергетического средства построим теоретическую потенциальную тяговую характеристику в безразмерных координатах $\eta_{\text{дв}} = f(\varphi_{\text{кр}})$.

$$\eta_{\text{дв}} = \left(1 - \frac{f}{\varphi_{\text{дон}}}\right) (1 - \delta(\varphi_{\text{кр}})) \quad (4)$$

Выбор КПД движителя основан на том, что $\varphi_{\text{дон}}$ соответствует предельно допустимому буксованию по агротехническим требованиям, а буксование, в свою очередь, связано с коэффициентом использования веса $\varphi_{\text{кр}}$, [2].

$$\varphi = \varphi_{\text{кр}}(\delta) + f(q_{\text{ср}}; h_{\text{max}}; F_{\text{он}}) \quad (5)$$

где $f(q_{\text{ср}}; h_{\text{max}}; F_{\text{он}})$ - функция изменения коэффициента сопротивления качению от среднего давления, глубины колеи и площади опорной поверхности движителя.

От КПД движителя легко перейти к тяговому КПД ($\eta_{\text{тяг}}$). Таким образом, КПД движителя связывает конструктивно-режимные параметры и тягово-цепные свойства энергосредства.

На характеристике дополнительно нанесем кривую безразмерных скоростей u_p , как отношение текущего значения рабочей скорости к расчетной, развиваемой при номинальном тяговом усилии и соответствующем $\varphi_{\text{кр}}$.

Алгоритм дальнейших действий следующий:

- по эмпирическим формулам находим буксование в зависимости от $\varphi_{\text{кр}}$.
- рассчитываем КПД буксования (η_b) и КПД самоперемещения (η_f)
- задаваясь диапазоном основных рабочих скоростей, определяем минимальную и максимальную скорости и, соответственно, диапазон изменения коэффициента использования веса.

–рассчитываем весовые и мощностные параметры энергетического средства по известным зависимостям и ограничениям теории трактора.

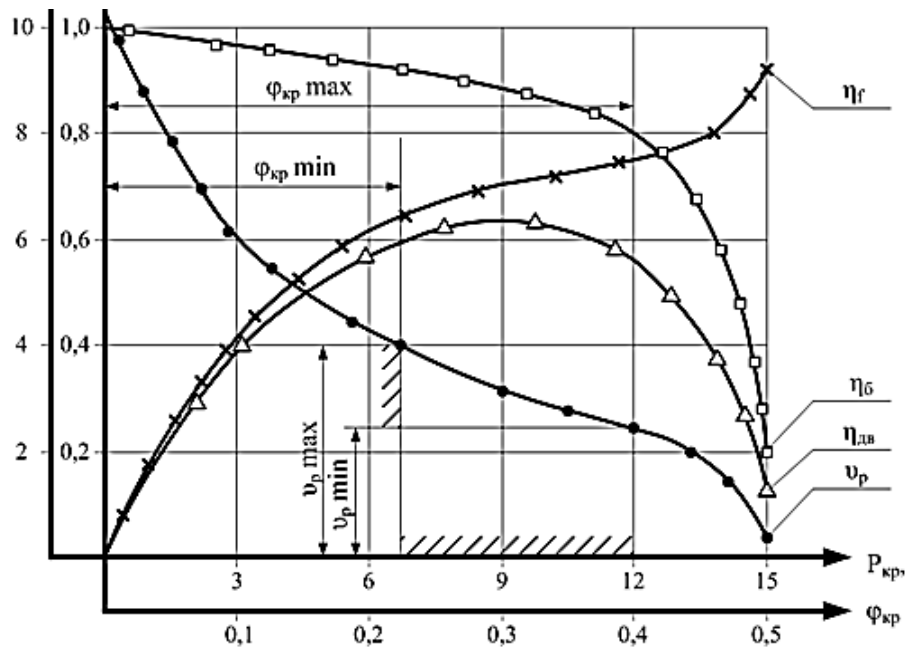


Рисунок 1. Теоретическая потенциальная тяговая характеристика на примере трактора класса 1, 4.

Для выбора оптимального сочетания рабочей скорости и ширины захвата для работы энергосредства с высоким тяговым КПД и максимальными значениями удельной чистой производительности на единицу затрачиваемой энергии возможно решение компромиссной задачи.

Представим мощностной баланс тягово–приводного агрегата в виде:

$$N_e^H \cdot \xi_N = N_{в\oм} + N_{т\яг}, \quad (6)$$

$$N_{в\oм} = B_p v_p \cdot \alpha_N, \quad (7)$$

где α_N — удельная мощность на единицу подачи, $\frac{Вт}{м^2/с}$.

Для горизонтального участка мощность двигателя, идущая на тягу, определится:

$$N_{т\яг} = \frac{K_v(т\яг)}{\eta_{т\p}(1-\delta)} B_p v_p + \frac{G_T f_T}{\eta_{т\p}(1-\delta)} v_p, \quad (8)$$

Тогда

$$N_e^H \cdot \xi_N = \alpha_N B_p v_p + \frac{K_v(т\яг)}{\eta_{т\p}(1-\delta)} B_p v_p + \frac{G_T f_T}{\eta_{т\p}(1-\delta)} v_p, \quad (9)$$

Или

$$N_e^H \cdot \xi_N - \frac{G_T f_T}{\eta_{т\p}(1-\delta)} v_p = \alpha_N B_p v_p + \frac{K_v(т\яг)}{\eta_{т\p}(1-\delta)} B_p v_p. \quad (10)$$

Представим решение последнего уравнения в виде системы двух уравнений

$$\left. \begin{aligned} N_e^H \cdot \xi_N - \frac{G_T f_T}{\eta_{т\p}(1-\delta)} v_p &= y_1 \\ v_p B_p \left(\alpha_N + \frac{K_v(т\яг)}{\eta_{т\p}(1-\delta)} \right) &= y_2 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Выразим буксование через коэффициент использования веса с помощью эмпирической формулы [3]:

$$\delta = \frac{a\varphi_{кр}}{\beta - \varphi_{кр}}, \quad (12)$$

где a и β — эмпирические коэффициенты, зависящие от агрофона

Найдем геометрическое решение системы уравнений:

–при $v_p = 0$; буксование также равно нулю, $y_1 = \xi_N N_e^H$;

–при $y_1 = 0$; $\varphi_{кр} = 0$; $v_p = \frac{N_k}{G_{тf}}$, где $N_k = \eta_{тр} N_e^H \xi_N$.

Удельное тяговое сопротивление определяется:

$$K_v = a(k_0 + \zeta v_p^2), \quad (13)$$

поэтому, второе уравнение системы представляет собой кубическую параболу при начальных условиях:

$$v_p = 0; y_2 = 0;$$

Используя значения v_p и $\varphi_{кр}$ удельной материалоемкости и удельном сопротивлении рабочей машины решим систему уравнений графически при изменении ширины захвата рабочей машины. Таким образом, совместное геометрическое решение уравнений y_1 и y_2 позволяет найти чистую производительность ($B_p v_p$) и оптимальное сочетание конструктивно–режимных параметров агрегата.

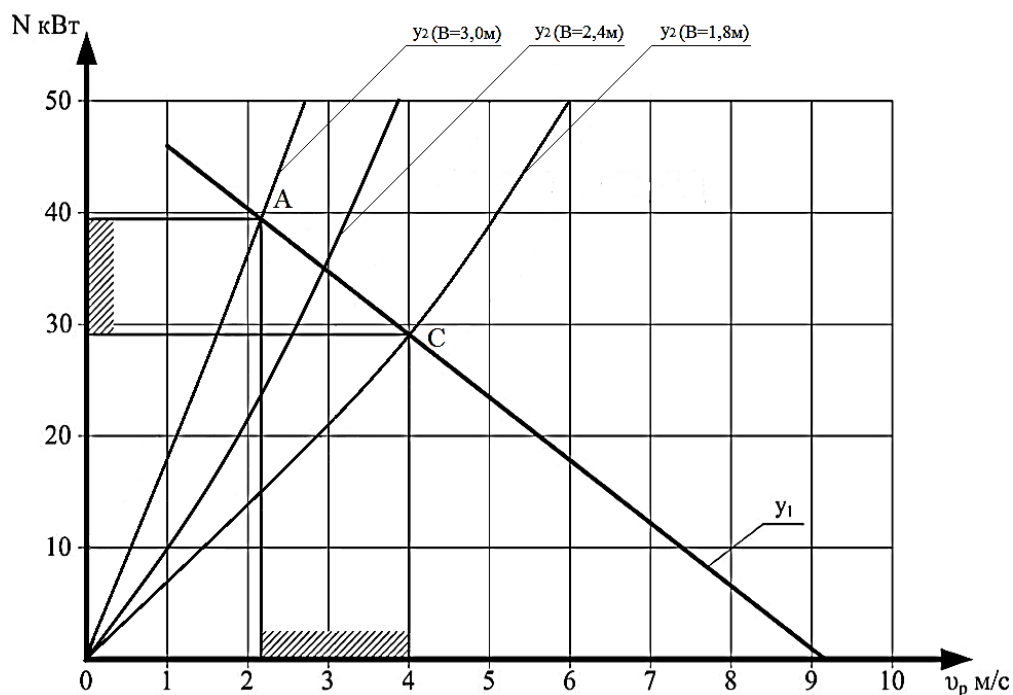


Рисунок 2. Графическое решение задачи оптимального сочетания конструктивно–режимных параметров агрегата на примере трактора класса 1, 4.

Степень соблюдения агротехнических требований на технологические операции, оптимальных агросроков, качества работ, экологичности, энергетической и эксплуатационно-технологической эффективности энергетического средства в агрегате соответственно оценивается показателями:

–уровень качества выполнения работ — Y_K , непосредственно характеризующий агрофильность движителей (плотность и твердость почвы по следу — $\rho_{сл}$ и $H_{сл}$, глубина следа — $h_{сл}$) и способность почвы к самовосстановлению физико-механических характеристик, измененных при воздействии движителей;

–уровень экологичности технологических процессов — $Y_{ЭК}$, оценивающий общее и техногенное воздействие агрегатов на агроценоз и безопасный предел уплотняющего воздействия на почву;

–уровень агрегатной функциональности — Y_{Φ} оценивающий возможность агрегатирования со всей номенклатурой машин в технологии;

–уровень обеспеченности оптимальных агросроков и агротехнической проходимости — Y_A ;

–уровень эксплуатационной эффективности — $Y_{Э}$;

–уровень энергетической эффективности — Y_E оценивающий реализацию номинального тягового и скоростного диапазонов.

Так как на уровне технологической адаптивности влияют одновременно несколько факторов, для оценки тесноты связи методом корреляционно-регрессионного анализа построена множественная регрессионная модель, отражающая степень влияния на них отдельных измерителей свойств агрегатов. Мера тесноты связи оценивалась парными коэффициентами корреляции и коэффициентами детерминации.

Уравнения регрессии имеют вид:

Уровень обеспеченности оптимальных агросроков:

$$Y_A = 59,6\eta_{движ} + 32,4\xi_N + 31,2\xi_B + 6,77k_{см};$$

Уровень качества работ:

$$Y_K = 18,6k + 16,1k_H = 11,9\eta_{движ} + 5,79k_p;$$

Уровень эксплуатационной эффективности ($Y_{Э}$):

$$Y_{Э} = 10,8\eta_{движ} + 8,06\xi_N + 7,44k_{см} + 4,12\xi_B;$$

Уровень агрегатной функциональности (Y_{Φ}):

$$Y_{\Phi} = 139\varepsilon_{э} + 52,1k_{кэ} = 14,9k_n + 5,74\eta_m;$$

Уровень энергетической эффективности (Y_E):

$$Y_E = 35,1\eta_f + 22,8\eta_{\delta} + 21,4\eta_{ВОМ} + 3,08\eta_{энерг};$$

Уровень экологичности ($Y_{ЭК}$):

$$Y_{ЭК} = 14,9k_{\lambda} + 10,6\eta_{энерг} + 6,75\eta_{\delta} + 1,25k_p;$$

Где $\eta_{движ}$ — КПД движителя, ξ_N — коэффициент использования номинальной мощности, ξ_B — коэффициент использования ширины захвата, $k_{см}$ — коэффициент использования времени смены, k_k — обобщенный коэффициент на местные условия, k_H — коэффициент повышения твердости почвы, k_p — коэффициент повышения плотности почвы, $\varepsilon_{э}$ — коэффициент эксплуатации, $k_{кэ}$ — коэффициент комбинаторной эффективности, k_n — запаса проходимости, η_m — коэффициент непроизводительных потерь, η_f — КПД, учитывающий потери на самопередвижение, η_{δ} — КПД, учитывающий потери на буксование, $\eta_{ВОМ}$ — КПД ВОМ, $\eta_{энерг}$ — энергетический КПД, k_{λ} — коэффициент распределения нагрузки по мостам энергосредства.

Такой подход позволяет рассчитать рациональное энергетическое средство для выполнения полевых работ в технологиях растениеводства с высокой энергетической эффективностью и с учетом экологических последствий от техногенного воздействия на агроценоз.

Список литературы:

1. Панасюк А. Н., Кашбулгаянов Р. А., Липкань А. В. Методика оценки функционально-экологической эффективности движителей машин в зональных условиях // Итоги координации научно-исследовательских работ по сое за 2011-2014 годы: сб. научн. ст. по материалам координационного совещания по сое зоны Дальнего Востока и Сибири. Благовещенск: ФГБНУ ВНИИ сои, ФГБНУ ДальНИИМЭСХ, 2015. С. 21-28.

2. Панасюк А. Н. Сравнительная оценка тракторов по критерию эффективности применяемого движителя // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2013. №2. С. 93-96.

3. Самсонов В. А., Заигиев А. А., Лачуга Ю. Ф., Дидмашидзе О. Н. Основы теории мобильных сельскохозяйственных агрегатов. М.: Колос, 2000. 247 с.

References:

1. Panasyuk, A. N., Kashbulgayanov, R. A., & Lipkan, A. V. (2015). Metodika otsenki funktsional'no-ekologicheskoi effektivnosti dvizhitelei mashin v zonal'nykh usloviyakh [Methods of estimation of functional and environmental efficiency of propulsion machinery in zonal conditions]. In: *Itogi koordinatsii nauchno-issledovatel'skikh rabot po soe za 2011-2014 gody: sb. nauchn. st. po materialam koordinatsionnogo soveshchaniya po soe zony Dal'nego Vostoka i Sibiri* [Results of coordination of research work on soybeans for 2011-2014]. Blagoveshchensk, VNIИ soi, DalNIIMESKh, 21-28. (in Russian).

2. Panasyuk, A. N. (2013). Sravnitel'naya otsenka traktorov po kriteriyu effektivnosti primenyaemogo dvizhitelya [Comparative estimation of tractors as to mover performance criterion]. *Sibirskii vestnik selskokhozyaistvennoi nauki*, (2), 93-96. (in Russian).

3. Samsonov, V. A., Zaigiev, A. A., Lachuga, Yu. F., & Didmashidze, O. N. (2000). Osnovy teorii mobil'nykh sel'skokhozyaistvennykh agregatov [Fundamentals of the theory of mobile agricultural units]. Moscow, Kolos, 247. (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 11.10.2018 г.*

*Принята к публикации
16.10.2018 г.*

Ссылка для цитирования:

Панасюк А. Н., Демко А. Н. Расчет энергетической и агроэкологической целесообразности применения энергетического средства в технологии // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №11. С. 159-165. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/panasyuk> (дата обращения 15.11.2018).

Cite as (APA):

Panasyuk, A., & Demko, A. (2018). Calculation of energy and agro-ecological rationality of using energy means in technology. *Bulletin of Science and Practice*, 4(11), 159-165. (in Russian).