ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 631.372

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВTHE METHOD OF CALCULATION MACHINE-TRACTOR AGGREGATES'
ENERGY EFFICIENCYН.И. Джаббаров¹, доктор технических наукВ.А. Эвиев², доктор технических наукН.Г. Очиров³, кандидат технических наукN.I. Jabbarov¹, V.A. Eviev², N.G. Ochirov³¹ ФГБНУ "Институт агроинженерных и экологических проблем
сельскохозяйственного производства", г. Санкт-Петербург² ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет», г. Элиста³ ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет», г. Магадан¹ Federal State Budget Scientific Institution «Institute of Agroengineering
and Environmental Problems of Agricultural Production», Saint-Petersburg² Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Kalmyk State University», Elista³ Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «North-Eastern State University»,
Magadan

В статье представлена методика расчета энергетической эффективности машинно-тракторных агрегатов (МТА) с учетом вероятностного характера внешних факторов. Также предложена математическая модель для определения коэффициента энергоэффективности МТА. При определении коэффициента энергоэффективности МТА учитываются оптимальное и текущее значения затрат энергии на технологический процесс. Оптимальное значение затрат энергии на технологический процесс должно соответствовать максимуму коэффициента полезного действия (КПД) трактора. Текущее значение затрат энергии на технологический процесс соответствует фактическому значению КПД трактора при работе МТА на заданном агрофоне.

The method of calculation machine-tractor aggregates' (MTA) energy efficiency is presented in this article taking into account the probabilistic nature of external factors. Also a mathematical model for determining the coefficient of energy efficiency of MTA is proposed. Optimal and current values of power consumption of technological process are considered at determination of coefficient of energy efficiency of MTA. The optimum value of power consumption of technological process is defined at the maximum of efficiency (efficiency) of the tractor. The current value of power consumption of technological process corresponds to the actual efficiency of the tractor while MTA is working on a given soil fertility.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коэффициент энергетической эффективности МТА, технологический процесс, энергоёмкость технологического процесса, КПД трактора.

Key words: machine-tractor aggregate, coefficient of energy efficiency of MTA, technological process, energy intensity of technological process, efficiency of tractor.

Введение. Эффективное использование МТА возможно только при полной реализации его потенциальных возможностей. Однако, как показывают практика и результаты исследований ученых, потенциальные энергетические возможности тракторов в условиях рядовой эксплуатации используются не в полной мере. Особенно это характерно для энергонасыщенных тракторов. Основной причиной снижения производительности является недогрузка двигателя из-за нерационального комплектования МТА.

Существующие методики решения задач по комплектованию агрегатов носят детерминированный характер и не учитывают вероятностного характера внешних факторов.

В статье предлагается новая методика расчета коэффициента энергетической эффективности МТА и выполняемых ими технологических процессов.

Предложенная методика позволяет не только рационально скомплектовать МТА, но и существенно дополняет оценку энергоэффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур и позволяет:

- определить фактические значения коэффициентов энергоэффективности технических средств, применяемых в настоящее время в растениеводстве;
- прогнозировать коэффициенты энергоэффективности разрабатываемых новых технических средств;
- разработать и создать энергоэффективные технические средства.

Материалы и методы. Многочисленные исследования ученых, в том числе [4, 6, 7, 5, 8], посвящены определению и оценке энергоемкости технологических процессов, энергозатрат на работу различных МТА. В известных и опубликованных результатах научных исследований при оценке энергоэффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур применяют коэффициент энергетической эффективности R , который представляет собой отношение полученной энергии в виде продукции к затраченной на технологию энергии в целом. В основном известные работы, в том числе [4, 6, 7, 5, 8], при определении энергетических показателей оценки МТА и технологий предусматривают применение детерминированных моделей, которые не учитывают вероятностные условия функционирования МТА.

Известные методики позволяют определить уровень энергетической эффективности технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Для определения коэффициента энергетической эффективности R необходимо вычислить затраты энергии на каждый технологический процесс в отдельности. В итоге, величина энергии, затраченной на производство продукции E , представляет собой сумму энергоемкости всех технологических операций в технологии, то есть:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i . \quad (1)$$

Анализ показывает, что энергоэффективность технологии производства продукции зависит от энергоэффективности технологических процессов и коэффициента полезного действия технических средств.

Объектами исследований служили технологические процессы и технические средства в растениеводстве.

Предметом исследования являются показатели оценки энергетической эффективности технологических процессов и технических средств.

Разработанные математические модели получены с применением теоретических методов моделирования на основе изучения процессов, протекающих в процессе выполнения технологических операций.

Результаты и обсуждение. Анализ исследований показывает, что до сих пор не разработана методика определения коэффициента энергетической эффективности МТА и, соответственно, отдельно взятых технологических операций (или процессов).

В свою очередь коэффициент энергоэффективности технологического процесса $K_{Т.пр.}$ зависит от коэффициентов энергоэффективности технических средств $K_{Т.ср.}$,

эффективности использования удобрений, семян, пестицидов и т.д. (технологических материалов) – $K_{Т.М.}$, использования естественного плодородия почвы – $K_{П.П.}$.

Функциональную зависимость перечисленных показателей можно представить в виде:

$$R = f(K_{Т.ПР.}) \quad \text{и} \quad K_{Т.ПР.} = f(K_{Т.СР.}; K_{Т.М.}; K_{П.П.}). \quad (2)$$

Кроме показателя, характеризующего рациональное использование техногенной энергии, остальные перечисленные факторы в принципе являются управляемыми.

Значения коэффициентов использования удобрений, семян, ядохимикатов и т.д. - $K_{Т.М.}$ и естественного плодородия почвы - $K_{П.П.}$ зависят от водно-воздушного и теплового режимов, а также режима питания растений, способов обработки почвы (материалов).

В процессе определения коэффициента энергоэффективности $K_{Т.ПР.}$ технологического процесса необходимо учитывать коэффициент энергетической эффективности $K_{Т.СР.}$ соответствующего технического средства (или МТА), коэффициента полезного действия (КПД) трактора η_T , а также коэффициент эффективного использования семян, минеральных или органических удобрений, ядохимикатов и т.д.

Значение коэффициента эффективного использования семян, минеральных или органических удобрений, ядохимикатов и т.д. в большой степени зависит от способов и приемов обработки почвы, посева и внесения удобрений, пестицидов и других факторов.

В принципе, как показывает анализ, показатели эффективности и значимости технологического процесса должны охватывать параметры и показатели эффективности МТА (или технических средств в целом), агротехнические показатели качества их работы, технологических материалов.

Необходимо обоснование системы применения удобрений, ядохимикатов, обоснование годовых норм их внесения под сельскохозяйственные культуры с учетом зональных условий их возделывания. Подобная зональная система должна быть обоснована при утверждении норм и способов посева семян.

Применительно к обработке почвы, без внесения удобрений и пестицидов, коэффициент энергоэффективности технологического процесса $K_{Т.ПР.}$ имеет функциональную связь с коэффициентом энергоэффективности МТА:

$$K_{Т.ПР.} = f(K_{Т.СР.}). \quad (3)$$

Энергоэффективность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур представляет собой решение вопросов рационального использования энергетических ресурсов, увеличение производства сельскохозяйственной продукции при сохранении исходных затрат энергии. При этом увеличение коэффициента энергоэффективности технологических процессов и технологий обеспечивается путём снижения потерь энергии и повышения КПД МТА, применяемых в технологиях технологических материалов (удобрений, семян, ядохимикатов и т.д.), способов обработки почвы, а также рационального использования естественного плодородия почвы.

В целом увеличение значения коэффициента энергоэффективности означает наиболее максимальное накопление потенциала энергосберегающих мероприятий в со-

вокупности с рациональным использованием энергоресурсов. Высокое значение коэффициента энергоэффективности технических средств и технологических процессов свидетельствует о переходе уровня развития растениеводства на более высокую ступень. При этом фактически получаемые коэффициенты использования энергии приближаются к потенциальному (максимально возможному) коэффициенту энергетической эффективности технологий.

Процесс определения, анализа и оценки энергоэффективности МТА вполне возможно осуществить с помощью разработанных нами математических моделей.

Размер годового энергетического эффекта различных машинно-тракторных агрегатов определяется по формуле [1, 2]:

$$\bar{\mathcal{E}}_r^* = (\mathcal{E}_{i,n} - \bar{\mathcal{E}}_i^*) \cdot \bar{W}_q^* \cdot t_z, \quad (4)$$

где $\mathcal{E}_{i,n}$ – нормативное (или базовое) значение затрат энергии на технологический процесс, МДж/га; $\bar{\mathcal{E}}_i^*$ – оптимальное значение затрат энергии на технологический процесс, МДж/га; $\bar{W}_q^*$ – оптимальное значение производительности МТА, га/ч; t_z – зональная годовая загрузка машинно-тракторного агрегата, ч.

Математическая модель (4) позволяет прогнозировать размер годового энергетического эффекта использования МТА в течение сезона его эксплуатации по сравнению с отечественными или зарубежными аналогами, а также нормативными данными. Но предложенная математическая модель не позволяет оценить уровень энергоэффективности МТА, по сравнению с потенциальной энергетической возможностью используемых энергетических средств (тракторов).

Для оценки уровня энергетической эффективности МТА с учетом потенциальной энергетической возможности тракторов предлагается использовать коэффициент энергетической эффективности $K_{T.CP}$ МТА.

Коэффициент энергетической эффективности МТА $K_{T.CP}$ можно определить из выражения:

$$K_{T.CP} = \frac{E_i^{OPT}}{E_i^{TEK}}, \quad (5)$$

где E_i^{OPT} – оптимальное значение энергоемкости (или затрат энергии) технологического процесса, соответствующее максимуму КПД трактора на конкретном условии его функционирования, МДж/га; E_i^{TEK} – затраты энергии на технологический процесс, соответствующие текущему значению КПД трактора, МДж/га.

Оптимальное значение энергоемкости технологического процесса E_i^{OPT} , соответствующее максимуму КПД трактора в конкретном условии его работы, определяется по формуле:

$$E_i^{OPT} = [g_1(\alpha_1 + f_1) + g_3(\kappa_1 + f_3) + g_k(\kappa_k + f_k)] \bar{W}_q^{*-1} + g_y \bar{W}_q^{*-1} + g_{yn} \bar{W}_q^{*-1}. \quad (6)$$

Затраты энергии на технологический процесс, соответствующие текущему (или фактическому) значению КПД трактора в конкретном условии его работы (МДж/га), можно определить по формуле:

$$E_i^{TEK} = [g_T(\alpha_T + f_T) + g_3(\kappa_3 + f_3) + g_K(\kappa_K + f_K)]\bar{W}_q^{-1} + g_y\bar{W}_q^{-1} + g_{yn}\bar{W}_q^{-1}, \quad (7)$$

где $E_i^{ОПТ}$ – оптимальное значение энергоёмкости i -го технологического процесса, МДж/га; E_i^{TEK} – затраты энергии на технологический процесс, соответствующие фактическому значению КПД трактора на заданном агрофоне его работы, МДж/га; g_T – погектарный расход топлива, кг/ч; α_T – теплосодержание топлива, МДж/кг; κ_3 , κ_K – коэффициент перевода 1 кВт·ч в 1 МДж ($\kappa_3 = 3,6$) и 1 ккал в 1 МДж ($\kappa_K = 0,00419$); f_T , f_3 и f_K – коэффициенты, учитывающие дополнительные энергозатраты на производство топлива (МДж/кг), электроэнергии (МДж/кВт·ч) и тепла (МДж/ккал); g_3 и g_K – расход электрической энергии (кВт·ч) и тепла (ккал/ч); g_y – условная часть энергозатрат, пропорциональная расходу материалов при выполнении технологического процесса; g_{yn} – условно постоянная часть топливно-энергетических затрат; $\bar{W}_q^*$ – оптимальное значение математического ожидания производительности технического средства (СХА), соответствующее максимальному значению КПД η_T^{max} энергетического средства (трактора), га/ч; $\bar{W}_q$ – среднее значение математического ожидания производительности технического средства (МТА), соответствующее текущему значению КПД трактора в конкретном условии его функционирования, МДж/га.

Условная часть энергозатрат g_y , пропорциональная расходу материалов при выполнении технологического процесса, определяется из известной формулы [4]:

$$g_y = \alpha_o q_a T_{o.g}^{-1}, \quad (8)$$

где α_o – энергетический эквивалент (удельные затраты энергии на производство определенного вида технологического материала), МДж/кг; q_a – удельный расход семян, удобрений, пестицидов и т.п., кг/га; $T_{o.g}$ – срок действия технологического материала, лет (для органических удобрений 3 года, для семян, минеральных удобрений и ядохимикатов 1 год).

Условно-постоянную часть энергозатрат g_{yn} можно определить по соотношению:

$$g_{yn} = E_{ж} + E_T + E_M + E_c, \quad (9)$$

где $E_{ж}$ – энергозатраты живого труда, МДж/ч; E_T , E_M и E_c – энергоёмкость соответственно энергетического средства (или трактора), машины и сцепки [4].

Оптимальное значение производительности $\bar{W}_q^*$ МТА, соответствующее максимальному значению КПД η_T^{max} энергетического средства (трактора), определяется по формуле [2, 3]:

-с учётом ширины захвата агрегата:

$$\bar{W}_q^* = 0,1 \cdot B_p \cdot \bar{V}_p^* \cdot \tau, \quad (10)$$

- с учётом эффективной мощности двигателя:

$$\bar{W}_\tau^* = 0,36 \cdot \eta_T^{\max} \cdot \tau \cdot K_a^{-1} \cdot \bar{N}_e^*, \quad (11)$$

- с учётом тяговой мощности трактора:

$$\bar{W}_\tau^* = 0,36 \cdot \tau \cdot K_a^{-1} \cdot \bar{N}_{кр}^*, \quad (12)$$

где B_p – рабочая ширина захвата агрегата, м; $\bar{V}_p^*$ – оптимальное значение скорости МТА, соответствующее максимальному значению КПД $\eta_T^{\max}$ трактора, м/с; τ – коэффициент использования времени смены; $\eta_T^{\max}$ – максимальное значение КПД трактора на заданном агрофоне; K_a – удельное сопротивление МТА, кН/м; $\bar{N}_e^*$ – оптимальное значение эффективной мощности двигателя, соответствующее $\eta_T^{\max}$; $\bar{N}_{кр}^*$ – оптимальное значение потребной (или тяговой) мощности трактора, соответствующее $\eta_T^{\max}$.

Оптимальное (или рациональное) значение потребной (тяговой) мощности $\bar{N}_{кр}^*$, обеспечивающее максимум КПД трактора $\eta_T^{\max}$, имеет функциональную связь с тяговым сопротивлением $\bar{P}_{кр}^*$ и скоростью движения $\bar{V}_p^*$ сельскохозяйственного агрегата:

$$\bar{N}_{кр}^* = \bar{P}_{кр}^* \cdot \bar{V}_p^*, \quad (13)$$

где $\bar{P}_{кр}^*$ – тяговое сопротивление МТА, соответствующее $\bar{N}_{кр}^*$ и $\eta_T^{\max}$, кВт; $\bar{V}_p^*$ – оптимальное значение скорости движения МТА, соответствующее $\bar{N}_{кр}^*$ и $\eta_T^{\max}$, м/с.

Предложенный коэффициент $K_{T.CP.}$ обеспечивает оценку энергоэффективности МТА, позволяет установить величину резерва неиспользованной энергии трактора и разработать эксплуатационно-технологические мероприятия по повышению энергетической эффективности МТА.

В процессе разработки и проектирования прогнозные значения коэффициента $K_{T.CP.}$ позволяют разработать конструктивно-технологические мероприятия и создать или формировать такие машинно-тракторные агрегаты, которые обеспечивали бы их энергоэффективность, соответственно и технологических процессов.

Коэффициент энергоэффективности технических средств $K_{T.CP.}$ позволяет дать объективную оценку уровня использования потенциальной энергетической возможности тракторов сельскохозяйственного назначения.

Заключение. В качестве показателя энергетической эффективности технических средств (или МТА) предложен коэффициент энергоэффективности $K_{T.CP.}$. Коэффициент энергоэффективности технических средств $K_{T.CP.}$ позволяет дать объективную оценку уровня использования потенциальной энергетической возможности тракторов сельскохозяйственного назначения и разработать конструктивно-технологические мероприятия по повышению энергетической эффективности технических средств в растениеводстве.

В процессе разработки и проектирования тракторов и сельскохозяйственных машин прогнозные значения коэффициента $K_{T.CP.}$ позволяют разработать конструктивно-технологические мероприятия и создать (или сформировать) такие МТА, которые обеспечивали бы их энергоэффективность, соответственно, и технологических процессов.

Предложенный коэффициент энергоэффективности $K_{T.CP.}$ характеризует уровень использования потенциальной энергетической возможности тракторов сельскохозяйственного назначения.

Библиографический список

1. Джабборов, Н.И. Эффективность использования техники по топливно-энергетическим затратам [Текст] / Н.И. Джабборов, В.А. Эвиев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 4. – С. 26-28.
2. Джабборов, Н.И. Научные основы энерго-технологической оценки и прогнозирования эффективности использования мобильных сельскохозяйственных агрегатов [Текст] / Н.И. Джабборов – Душанбе: Изд. «Дониш», 1995. – 286 с.
3. Джабборов, Н.И. Методика оценки энергетической эффективности технологических процессов и технических средств в растениеводстве [Текст] / Н.И. Джабборов, В.А. Эвиев, Д.С. Федькин. – СПб; Элиста: Изд-во КалмГУ, 2016. – 96 с.
4. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве [Текст]. – М.: ВИМ, ЦНИИМЭСХ, ВИЭСХ, 1995. – 96 с.
5. Паршин, В.А. Биоэнергетическая оценка технологий возделывания сельскохозяйственных культур [Текст] : монография / В.А. Паршин, М.М. Оконов, Т.И. Бакинова. – Элиста: АПП «Джангар», 1997. – 160 с.
6. Трубилин, И.Т. Биоэнергетическая оценка агротехнических приемов и ресурсосберегающих технологий в растениеводстве [Текст] / И.Т. Трубилин, Н.Г. Малюга и др. – Краснодар, 1995. – 65 с.
7. Энергетическая оценка технологии возделывания сельскохозяйственных культур [Текст]: методические указания к дипломной и курсовой работам по растениеводству / Г.А. Медведев, А.Ф. Иванов и др. – Волгоград: Волгоградская ГСХА, 1994. – 24 с.
8. Юнусов, Г.С. Энергетическая оценка энергонасыщенных тракторов с блочно-модульными агрегатами [Текст] / Г.С. Юнусов // Тракторы и сельхозмашины. – 2005. – № 4. – С. 13-14.

Reference

1. Dzhabborov, N. I. Jefferktivnost' ispol'zovaniya tehniki po toplivno-jenergeticheskim zatra-tam [Tekst] / N. I. Dzhabborov, V. A. Jeviev // Traktory i sel'skohozyaj-stvennye mashiny. - 2005. - № 4. - S. 26-28.
2. Dzhabborov, N. I. Nauchnye osnovy jenergo-tehnologicheskoy ocenki i prognozirovaniya]fferktivnosti ispol'zovaniya mobil'nyh sel'skohozyajstvennyh agregatov [Tekst] / N. I. Dzhabborov - Dushanbe: Izd. "Donish", 1995. - 286 s.
3. Dzhabborov, N. I. Metodika ocenki jenergeticheskoy jefferktivnosti tehnologicheskikh pro-cessov i tehnikeskikh sredstv v rastenievodstve [Tekst]/ N. I. Dzhabborov, V. A. Jeviev, D. S Fed'kin. - SPb; Jelista: Izd-vo KalmGU, 2016. - 96 s.
4. Metodika jenergeticheskogo analiza tehnologicheskikh processov v sel'skohozyajstvennom proizvodstve [Tekst]. - M.: VIM, CNIIMJESX, VI}SX, 1995. - 96 s.
5. Parshin, V. A. Biojenergeticheskaya ocenka tehnologij vzdelyvaniya sel'skohozyaj-stvennyh kul'tur [Tekst] : monografiya / V. A. Parshin, M. M. Okonov, T. I. Bakinova. - Jelista: APP "Dzhangar", 1997. - 160 s.
6. Trubilin, I. T. Biojenergeticheskaya ocenka agrotehnikeskikh priemov i resursosberegay-uschih tehnologij v rastenievodstve [Tekst] / I. T. Trubilin, N. G. Malyuga i dr. - Krasnodar, 1995. - 65 s.
7. Jenergeticheskaya ocenka tehnologii vzdelyvaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Tekst]: metodicheskie ukazaniya k diplomnoj i kursovoj rabotam po rastenievodstvu / G. A. Medvedev, A. F. Ivanov i dr. - Volgograd: Volgogradskaya GSXA, 1994. - 24 s.

******* ИЗВЕСТИЯ *******

№ 2 (50), 2018

**НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

8. Yunusov, G. S. Jenergeticheskaya ocenka jenergonasyschennyh traktorov s blochno-modul'nymi agregatami [Tekst] / G. S. Yunusov // Traktory i sel'hozmashiny. - 2005. - № 4. - S. 13-14.

E-mail: aviev@yandex.ru