



МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ТОПЛИВНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Арженовский А.Г.,
канд. техн. наук

Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, ул. Ленина, 21, г. Зерноград, Ростовская область, 347740, Российская Федерация, e-mail: argenowski@mail.ru

Одно из важнейших направлений повышения эффективности сельскохозяйственного производства – совершенствование методов и средств определения основных показателей машинно-тракторных агрегатов (МТА). Каждая из частей МТА (двигатель, трактор и сельскохозяйственная машина) обладает своими энергетическими характеристиками, сочетание которых и создает тот или иной режим его работы. Вопросы качественной эксплуатации МТА можно решить только при рассмотрении взаимодействия всех трех основных его частей. Поэтому для улучшения технико-экономических показателей МТА большое значение имеет разработка методов определения параметров агрегатов. Установление взаимосвязи между отдельными параметрами агрегата и определение их величины при помощи приборов позволяют решать практические вопросы, связанные с улучшением работы МТА: выбор наиболее производительных составов агрегатов и режимов их работы; техническое обоснование норм выработки и расхода ГСМ; обеспечение контроля за техническим состоянием двигателей, тракторов и сельскохозяйственных машин, правильностью их регулировок. Наибольший интерес представляют параметры, характеризующие динамические и экономические качества МТА: динамические качества двигателя и его топливная экономичность; динамические качества трактора и его топливная экономичность; тяговое сопротивление машин в агрегате. Представили оперативные методы определения энергетических и топливно-экономических показателей, основанные на анализе параметров переходных (динамических) режимов разгона элементов МТА при мгновенном увеличении подачи топлива. Установили, что методы позволяют получить регуляторную характеристику двигателя и тяговую характеристику трактора, а также определить тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины в эксплуатационных условиях без применения дорогостоящего оборудования, существенных затрат средств и времени на подготовку и проведение измерений.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат; регуляторная характеристика двигателя; тяговая характеристика трактора; тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины.

■ **Для цитирования:** Арженовский А.Г. Методы определения энергетических и топливно-экономических показателей машинно-тракторных агрегатов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №6. С. 36-40.

METHODS OF DETERMINATION OF POWER AND FUEL-ECONOMIC RATES OF MACHINE AND TRACTOR UNITS

Arzhenovskiy A.G.,
Ph. D. (Eng.)

Azov-Black Sea State Engineering Institute, Don State Agrarian University, Lenin St., 21, Zernograd, Rostov Region, 347740, Russian Federation, e-mail: argenowski@mail.ru

One of the most important tendencies of increase in agricultural industry efficiency is improvement of methods and means for determination of the main parameters of the machine and tractor units (MTU). Every part of the MTU (an engine, a tractor and an agricultural machine) has its own power characteristics which combination makes one or the other mod of its operation. High-quality operation of MTU can be possible after study interaction of all these three main parts. So development of the methods of determination of the unit parameters makes a big difference for improvement of technical and economic parameters of the MTU. Determination of connection between the separate parameters of the unit and the value of them using devices make it possible to solve practical problems connected with improvement of



the MTU operation: selection of the more productive combination of the units and their working modes; determination of the technically reasonable production rate and consumption of the fuels and lubricants oils; control of the technical condition of the engines, tractors and agricultural machines, their correct adjustment. The parameters characterizing the dynamic and economic qualities of the MTU are most important: ability rating of the engine and its fuel efficiency; ability rating of the tractor and its fuel efficiency; tractive resistance of the machines in the unit. The operational methods of determination of the power and fuel-economic rates based on the analysis of the parameters of the transition (dynamic) modes of acceleration of the MTU at the instant increase of fuel supply are represented in the research. Due to these methods the acquisition of the regulatory characteristic of an engine, the tractive characteristic of a tractor and find the draft of the agricultural machine during operation are possible. In this case no need expensive equipment using, essential expenditure of finances and time for preparation and carrying out of measurement.

Keywords: Machine and tractor unit; Regulatory characteristic of an engine; Tractive characteristic of a tractor; Tractive resistance of an agricultural machine.

For citation: Arzhenovskiy A.G. Methods of determination of power and fuel-economic rates of machine and tractor units. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2017; 6: 36-40. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-6-36-40. (In Russian)

Теории двигателя, трактора и сельскохозяйственных машин в значительной степени развиваются самостоятельно, и каждая из них рассматривает лишь некоторые вопросы теории агрегатов. Между тем сельскохозяйственные работы выполняет только машинно-тракторный агрегат (МТА) [1]. Каждая из частей МТА обладает своими энергетическими характеристиками, сочетание которых и создает тот или иной режим его работы. В связи с этим вопросы качественной эксплуатации МТА можно решить только при рассмотрении взаимодействия всех трех основных его частей. Для улучшения технико-экономических показателей МТА большое значение имеет разработка методов определения параметров агрегатов [2-4].

Выявление взаимосвязи между отдельными параметрами агрегата и определение величины этих параметров с помощью приборов позволяют решать практические вопросы, связанные с улучшением работы МТА: выбор наиболее производительных составов агрегатов и режимов их работы; установление технически обоснованных норм выработки и расхода ГСМ; обеспечение контроля за техническим состоянием двигателей, тракторов и сельскохозяйственных машин, правильностью их регулировок и т.д.

Наибольший интерес представляют параметры, характеризующие динамические и экономические качества МТА:

- динамические качества двигателя и его топливная экономичность;
- динамические качества трактора и его топливная экономичность;
- тяговое сопротивление машин в агрегате.

Определение динамических качеств и топливной экономичности двигателя согласно ГОСТ 18509-88 сводится к снятию его регуляторной характеристики. Она представляет собой зависимость рабочих показателей двигателя (эффективной мощности g_e ,

крутящего момента M_k , часового G_t и удельного расходов топлива) от частоты вращения коленчатого вала.

Определение динамических качеств и топливной экономичности трактора согласно ГОСТ 7057-81 сводится к снятию его тяговой характеристики, отражающей зависимость рабочих показателей трактора (тяговой мощности $N_{кр}$, скорости V , часового G_m и удельного $g_{кр} = f(P_{кр})$ расходов топлива, буксования) от нагрузки на различных передачах на данном почвенном фоне [5]. Тяговое сопротивление машин в агрегате определяют согласно ГОСТ 52777-2007 в зависимости от их типа (навесные, полунавесные или прицепные) – прямым (посредством универсального тензометрического звена) или косвенным измерением.

Измерение параметров, характеризующих динамические и экономические качества МТА, требует дорогостоящего оборудования (тормозной стенд, динамометрическая лаборатория, тензометрическое звено для динамометрирования и т.д.), а также существенных затрат средств и времени на подготовку и проведение. Поэтому выполнение данных работ возможно лишь в условиях машиноиспытательных станций.

Цель исследований – совершенствование методов определения энергетических и топливно-экономических показателей МТА, позволяющих снизить трудоемкость измерений в условиях эксплуатации.

Материалы и методы. В данной работе предложены оперативные методы определения энергетических и топливно-экономических показателей, основанные на анализе параметров переходных (динамических) режимов разгона элементов МТА (двигателя, трактора и сельскохозяйственных машин) при мгновенном увеличении подачи топлива.

Результаты и обсуждение. При резком увеличении подачи топлива в двигателе возникает пере-

ходный процесс разгона [6, 7]. В это время определяют значения углового ускорения коленчатого вала на всем диапазоне угловых скоростей с последующим вычислением значений крутящего момента и мощности (без наддува) двигателя по формулам:

$$M_k = I_d (d\omega / dt), \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (1)$$

$$N_{\text{бн}} = I_d (d\omega / dt) \cdot \omega, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где I_d – действительный момент инерции движущихся масс двигателя, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$(d\omega / dt)$ – угловое ускорение коленчатого вала, $\text{рад}/\text{с}^2$;

ω – угловая скорость коленчатого вала, $\text{рад}/\text{с}$.

Для определения действительного момента инерции двигателя используют маховик с известным моментом инерции, соединяющийся с трактором через ВОМ.

Исследуемый двигатель последовательно разгоняют без этого маховика и с ним, определяют соответствующие значения углового ускорения коленчатого вала на номинальном режиме. Затем вычисляют действительный приведенный момент инерции двигателя:

$$I_d = I_{\text{м}}^{\text{пр}} \cdot \frac{(d\omega / dt)_2}{(d\omega / dt)_1 - (d\omega / dt)_2}, \quad (3)$$

где $I_{\text{м}}^{\text{пр}}$ – момент инерции дополнительного маховика, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

$(d\omega / dt)_1, (d\omega / dt)_2$ – угловые ускорения коленчатого вала на номинальном режиме при разгоне двигателя без маховика и с маховиком соответственно, $\text{рад}/\text{с}^2$.

Для дизельных двигателей с газотурбонагнетателями значения мощности корректируются с учетом давления наддува:

$$N_e = \alpha \cdot N_{\text{бн}}^2 + \beta \cdot N_{\text{бн}} \cdot p_n + c, \quad (4)$$

где α – коэффициент при квадратичном члене уравнения;

$N_{\text{бн}}$ – мощность двигателя с неработающим турбонаддувом, Вт;

β – коэффициент взаимосвязи;

p_n – давление турбонаддува, Па;

c – свободный член уравнения.

Запись параметров движения коленчатого вала осуществляется при полной загрузке двигателя с одновременной фиксацией изменения давления наддува $p_n = f(n)$ на соответствующих интервалах. Полная загрузка двигателя обеспечивается разгоном трактора на высшей передаче. Совмещая полученную зависимость $p_n = f(n)$ с зависимостью $N_{\text{бн}} = f(n)$, полученной в режиме свободного разгона, определяют зависимость $N_e = f(n)$.

При вычислении топливо-экономических показателей исследуемого двигателя используют зависимость часового расхода $G_T = f(n)$ топливного насоса высокого давления (ТНВД) двигателя на стен-

де для проверки и регулировки топливного оборудования. Зависимость часового расхода от частоты вращения коленчатого вала двигателя выражается формулой:

$$G_{\text{м}} = \frac{60 \cdot Q \cdot n_n \cdot \rho}{10^6 \cdot i_{\text{ц}}}, \quad (5)$$

где Q – объем поданного топлива всеми секциями ТНВД за 1000 циклов, см^3 ;

n_n – частота вращения вала ТНВД, $\text{об}/\text{мин}$;

ρ – плотность топлива, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$i_{\text{ц}}$ – количество циклов ($i_{\text{ц}} = 1000$).

Совмещая зависимость $G_T = f(n)$ с полученной ранее закономерностью $N_e = f(n)$ в одном диапазоне частот вращения коленчатого вала на равных интервалах, находим значения удельного расхода топлива при соответствующих частотах вращения коленчатого вала двигателя, $\text{г}\cdot\text{ч}/\text{Вт}$:

$$g_e = \frac{G_{\text{м}} \cdot 1000}{N_e}. \quad (6)$$

Определив удельный расход топлива на необходимом диапазоне частот вращения коленчатого вала двигателя, получаем зависимость $g_e = f(n)$.

По результатам разгона двигателя без маховика и с ним, а также разгона трактора на высшей передаче строят его регуляторную характеристику ($N_e, M_k, G_T, g_e = f(n)$).

Определение динамических качеств и топливной экономичности трактора. При движении трактора в ходе снижения подачи топлива достигают частоты вращения коленчатого вала, соответствующей минимально-устойчивой скорости равномерного прямолинейного движения [8]. Мгновенно увеличивают подачу топлива до максимальной. При разгоне трактора измеряют значения угловых скоростей, ускорений коленчатого вала двигателя и путеизмерительного колеса на заданной передаче и соответствующем почвенном фоне. Дополнительно в тех же условиях измеряют значения угловых ускорений путеизмерительного колеса при разгоне трактора с дополнительной (эталонной) массой. Из уравнения движения разгона трактора без нагрузки определяют тяговое (крюковое) усилие, которое может развить трактор, Н:

$$P_{\text{кр}} = M_T \cdot (dV / dt)_{\text{xx}}, \text{ Н} \quad (7)$$

где M_T – приведенная масса трактора, кг;

$(dV / dt)_{\text{xx}}$ – ускорение трактора при разгоне без нагрузки, $\text{м}/\text{с}^2$.

Из уравнений движения разгона трактора без нагрузки и с дополнительной (эталонной) массой рассчитывают приведенную массу трактора, кг:

$$M_{\text{м}} = \frac{M_{\text{э}} \cdot ((dV / dt)_{\text{э}} + g \cdot f)}{(dV / dt)_{\text{xx}} - (dV / dt)_{\text{э}}}, \quad (8)$$



где $(dV/dt)_{\text{эт}}$ – ускорение трактора при разгоне с эталонной массой, м/с^2 ;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

f – коэффициент перекачивания трактора.

Ускорение трактора при его разгоне без нагрузки, а также догруженного эталонной массой связано с угловым ускорением путеизмерительного колеса следующими зависимостями:

$$(dV/dt)_{\text{xx}} = (d\omega/dt)_{\text{xx}} \cdot r_{\text{пк}}, \text{ м/с}^2; \quad (9)$$

$$(dV/dt)_{\text{эт}} = (d\omega/dt)_{\text{эт}} \cdot r_{\text{пк}}, \text{ м/с}^2, \quad (10)$$

где $(d\omega/dt)_{\text{xx}}$, $(d\omega/dt)_{\text{эт}}$ – угловое ускорение путеизмерительного колеса при разгоне трактора без нагрузки и с дополнительной (эталонной) массой соответственно, рад/с^2 ;

$r_{\text{пк}}$ – радиус путеизмерительного колеса, м.

Скорость трактора на заданной передаче определяют из выражения:

$$V = \omega_{\text{пк}} \cdot r_{\text{пк}}, \quad (11)$$

где $\omega_{\text{пк}}$ – угловая скорость путеизмерительного колеса, рад/с .

Буксование трактора определяется по формуле:

$$\delta = \frac{\omega_{\text{вк}} - \omega_{\text{пк}}}{\omega_{\text{вк}}} \cdot 100\%, \quad (12)$$

где $\omega_{\text{вк}}$ – угловая скорость ведущего колеса (звездочки), рад/с .

Угловая скорость ведущего колеса связана с угловой скоростью коленчатого вала двигателя трактора зависимостью:

$$\omega_{\text{вк}} = \frac{\omega_{\text{кв}}}{i_{\text{тп}}}, \text{ рад/с}, \quad (13)$$

где $\omega_{\text{кв}}$ – угловая скорость коленчатого вала двигателя трактора, рад/с ;

$i_{\text{тп}}$ – общее передаточное число трансмиссии на заданной передаче.

Тяговая мощность на заданной передаче равна:

$$N_{\text{кр}} = P_{\text{кр}} V, \text{ Вт}. \quad (14)$$

Топливо-экономические показатели определяют посредством фиксации цикловой подачи топлива топливного насоса в режиме максимальной подачи на стенде для проверки и регулировки топливного оборудования по зависимостям (5) и (6).

На результатах разгона трактора без нагрузки

и с дополнительной (эталонной) массой основана его тяговая характеристика на различных передачах на данном почвенном фоне ($N_{\text{кр}}$, V , $G_{\text{т}}$, $g_{\text{кр}} = f(P_{\text{кр}})$).

Определение тягового сопротивления рабочих машин. При движении трактора без нагрузки за счет снижения подачи топлива достигают частоты вращения коленчатого вала, соответствующей максимальному крутящему моменту [9]. Мгновенно увеличивают подачу топлива до максимальной. При достижении номинальной частоты вращения коленчатого вала двигателя во время разгона трактора измеряют угловое ускорение путеизмерительного колеса. Аналогично определяют угловое ускорение путеизмерительного колеса при разгоне трактора с дополнительной (эталонной) массой и рабочей машиной. Из уравнений движения разгона трактора без нагрузки и с рабочей машиной вычисляют сопротивление рабочей машины:

$$P_{\text{с}} = M_{\text{т}}(dV/dt)_{\text{xx}} - M_{\text{т}}(dV/dt)_{\text{раб}} - M_{\text{схм}}(dV/dt)_{\text{раб}}, \quad (15)$$

где $M_{\text{схм}}$ – приведенная масса рабочих машин, кг;

$(dV/dt)_{\text{раб}}$ – ускорение трактора при разгоне с рабочей машиной, м/с^2 .

Приведенную массу трактора вычисляют из уравнений движения разгона трактора без нагрузки и с эталонной массой по формуле (8).

Ускорение трактора при его разгоне с рабочей машиной определяют аналогично зависимостям (9) и (10):

$$(dV/dt)_{\text{раб}} = (d\omega/dt)_{\text{раб}} \cdot r_{\text{пк}}, \text{ м/с}^2, \quad (16)$$

где $(d\omega/dt)_{\text{раб}}$ – угловое ускорение путеизмерительного колеса при разгоне трактора с сельскохозяйственной машиной, рад/с^2 .

По результатам разгона трактора с рабочей машиной, а также без нагрузки и с эталонной массой определяют сопротивление рабочей машины.

Вывод. Предложенные методы позволяют получить регуляторную характеристику двигателя, тяговую характеристику трактора, а также определить тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины в эксплуатационных условиях без применения дорогостоящего оборудования, существенных затрат средств и времени на подготовку и проведение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A. Lobachevskii Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production. *SAE Technical Papers*. 2015: 1-4.
2. Izmailov A., Shevtsov V., Lavrov A., Godzhaev Z., Pryadkin V. Application of the universal tire characteristic

for estimating the maximum pressure of a pneumatic tractor wheel on the ground. *SAE Technical Papers*. 2015-September.

3. Измайлов А.Ю., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Елизаров В.П., Лобачевский Я.П., Сорокин Н.Т., Гурылев Г.С., Савельев Г.С., Сизов О.А., Шевцов В.Г. Концепция модернизации сельскохозяйственных тракторов и тракторного

парка России на период до 2020 года. М.: ВИМ, 2012. 67 с.

4. Лачуга Ю.Ф., Горбачев И.В., Ежевский А.А., Измайллов А.Ю., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Бабченко В.Д., Бейлис В.М., Голубкович А.В., Гришин А.П., Евтюшенков Н.Е., Жалнин Э.В., Жук А.Ф., Колесникова В.А., Левина Н.С., Личман Г.И., Марченко Н.М., Марченко Л.А., Марченко О.С., Михеев В.В. и др. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. М.: 2012. Т. 1. Растениеводство. 303 с.

5. Lobachevskii Y., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizing power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers. *SAE Technical Papers*. 2017; January: 18-24.

6. Арженовский А.Г., Асатурян С.В. Определение энергетических и топливно-экономических показателей

тракторного двигателя // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2010. №7. С. 25-26.

7. Щетинин Н.В., Казаков Д.В., Арженовский А.Г., Мальцев Д.О. К определению энергетических показателей тракторов в эксплуатационных условиях на переходном режиме // *Физико-технические проблемы создания новых технологий в АПК*: Сборник научных трудов по материалам 4-ой Российской научно-практической конференции. Ставрополь, 2007. С. 194-197.

8. Патент РФ №2612950. Способ определения сопротивления рабочих машин / Арженовский А.Г., Асатурян С.В., Чичилов И.И., Черемисин Ю.М., Дагдидян А.А., Должиков В.В. 2017. Бюл. N8.

9. Патент РФ №2620983. Способ определения сопротивления рабочих машин / Арженовский А.Г., Асатурян С.В., Чичилов И.И., Черемисин Ю.М., Дагдидян А.А., Должиков В.В. 2017. Бюл. N16.

REFERENCES

1. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A. Lobachevskii Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production. *SAE Technical Papers*. 2015: 1-4. (In English)

2. Izmailov A., Shevtsov V., Lavrov A., Godzhaev Z., Pryadkin V. Application of the universal tire characteristic for estimating the maximum pressure of a pneumatic tractor wheel on the ground. *SAE Technical Papers*. 2015. (In English)

3. Izmaylov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Elizarov V.P., Lobachevskiy Ya.P., Sorokin N.T., Gurylev G.S., Savel'ev G.S., Sizov O.A., Shevtsov V.G. Kontseptsiya modernizatsii sel'skokhozyaystvennykh traktorov i traktornogo parka Rossii na period do 2020 goda [Concept of modernization of agricultural tractors and tractor fleet in Russia for the period until 2020]. Moscow: VIM, 2012: 67. (In Russian)

4. Lachuga Yu.F., Gorbachev I.V., Ezhevskiy A.A., Izmaylov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Babchenko V.D., Beylis V.M., Golubkovich A.V., Grishin A.P., Evtyushenkov N.E., Zhalnin E.V., Zhuk A.F., Kolesnikova V.A., Levina N.S., Lichman G.I., Marchenko N.M., Marchenko L.A., Marchenko O.S., Mikheev V.V., et al. Sistema mashin i tekhnologii dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machines and technologies for complex mechanization and automation of agricultural production for the period until 2020]. V. 1. Rasteniyevodstvo. Moscow,

2012: 303. (In Russian)

5. Lobachevskii Y., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizing power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers. *SAE Technical Papers*. 2017; January: 18-24. (In English)

6. Arzhenovskiy A.G., Asaturyan S.V. Determination of power and fuel-economic rates of a tractor engine. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2010; 7: 25-26. (In Russian)

7. Shchetin N.V., Kazakov D.V., Arzhenovskiy A.G., Mal'tsev D.O. To determination of power characteristics of tractors in service conditions at transition mode. *Fiziko-tekhnicheskie problemy sozdaniya novykh tekhnologiy v APK: Sbornik nauchnykh trudov po materialam 4-oy Rossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Stavropol', 2007: 194-197. (In Russian)

8. Patent RF №2612950. Sposob opredeleniya soprotivleniya rabochikh mashin [Way of determination of resistance of operating machines]. Arzhenovskiy A.G., Asaturyan S.V., Chichilanov I.I., Cheremisin Yu.M., Dagldiyan A.A., Dolzhikov V.V. 2017. Byul. N8. (In Russian)

9. Patent RF N2620983. Sposob opredeleniya soprotivleniya rabochikh mashin [Way of determination of resistance of operating machines]. Arzhenovskiy A.G., Asaturyan S.V., Chichilanov I.I., Cheremisin Yu.M., Dagldiyan A.A., Dolzhikov V.V. 2017. Byul. N16. (In Russian)

Критерии авторства. Автор несет ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The author is responsible for information and plagiarism avoiding.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.