

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-568264>

Оригинальное исследование



Концепция применения энергонасыщенных тракторов как модульных универсальных энерготехнологических средств

А.В. Сидорова¹, А.В. Лавров², М.В. Сидоров³¹ Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, Курск, Российская Федерация;² Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;³ Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, Калуга, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Повышение энергонасыщенности трактора, как основной закономерности развития его технического уровня, ведет к перерастанию трактора-тягача в трактор с запасом мощности, позволяющей применять трактор для привода рабочих органов сельскохозяйственных машин с одновременной их тягой.

Цель работы — обоснование применения модульных универсальных энерготехнологических средств, как одного из перспективных способов повышения эффективности использования сельскохозяйственного МТА на базе энергонасыщенных тракторов.

Методы. Методика определения мощности и веса технологического модуля, необходимых для перевода трактора из предыдущего в следующий более высокий тяговый класс.

Результаты. Для достижения предельной по сцеплению силы тяги на крюке при переходе в следующий более высокий тяговый класс необходимо, чтобы энергонасыщенность трактора с технологическим модулем соответствовала энергонасыщенности (1,59...1,65 кВт/кН), а сам трактор, к которому подсоединяется технологический модуль обладал энергонасыщенностью 2,0...2,41 кВт/кН, а при переходе на два тяговых класса — 3.3...3.5 кВт/кН.

Заключение. Применение технологического модуля является одним из перспективных способов решения проблемы балластирования и повышения эффективности использования сельскохозяйственного МТА на базе энергонасыщенного трактора второго поколения.

Ключевые слова: энергонасыщенность трактора; балластные грузы; технологический модуль; мощность двигателя.

Как цитировать:

Сидорова А.В., Лавров А.В., Сидоров М.В. Концепция применения энергонасыщенных тракторов как модульных универсальных энерготехнологических средств // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 5. С. 413–421. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-568264>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-568264>

Original Study Article

The concept of using energy-packed tractors as modular universal energy-technological units

Anastasia V. Sidorova¹, Alexander V. Lavrov², Maxim V. Sidorov³

¹ Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russian Federation;

² Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

³ Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), Kaluga, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The increase in the power/weight ratio of a tractor, as the main regularity of the development of its technical level, leads to the outgrowth of the truck tractor into a tractor with the power reserves making the tractor to be used for actuation working bodies of agricultural machines with their simultaneous traction.

AIMS: Justification of the use of modular universal energy-technological units as one of the promising ways to increase the efficiency of using agricultural machine-tractor unit based on energy-packed tractors.

METHODS: The method of determining the power and weight of a technological module required to upgrade the tractor from the previous to the next, higher drawbar category.

RESULTS: To achieve the maximum drawbar force during the upgrade to the next, higher drawbar category, it is necessary that the power/weight ratio of the tractor with a technological module corresponds to the power/weight ratio range of 1.59...1.65 kW/kN, and the tractor itself, to which the technological module is connected, has the power/weight ratio of 2.0...2.41 kW/kN, and when upgrading to two drawbar categories — 3.3...3.5 kW/kN.

CONCLUSIONS: The use of the technological module is one of the promising ways to solve the problem of ballasting and to increase the efficiency of using agricultural machine-tractor unit based on an energy-packed tractor of the second generation.

Keywords: power/weight ratio; ballast loads; technological module; engine power.

To cite this article:

Sidorova AV, Lavrov AV, Sidorov MV. The concept of using energy-packed tractors as modular universal energy-technological units. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(5):413–421. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-568264>

Received: 31.07.2023

Accepted: 15.09.2023

Published online: 15.11.2023

ВВЕДЕНИЕ

В стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения на период до 2030 года отмечено, что процесс консолидации сельскохозяйственной отрасли ведет к увеличению спроса на тракторы средней (от 100 до 200 л.с.) и большой мощности (свыше 200 л.с.).

В обозримом будущем реализация прироста мощности тракторного двигателя за счет увеличения рабочих скоростей машинно-тракторного агрегата (МТА) останется ограниченной агротребованиями. Второй путь повышения производительности МТА связан с увеличением тягового усилия трактора, которое приводит к значительному увеличению сцепного веса трактора, так как имеется жесткая связь мощности двигателя и его массы [1]. Таким образом повышение энергонасыщенности трактора, как основной закономерности развития его технического уровня, ведет к перерастанию трактора-тягача в трактор с запасом мощности, позволяющей применять его для привода рабочих органов сельскохозяйственных машин с одновременной их тягой [1]. Все более реальными становятся перспективы широкого применения сельскохозяйственного трактора в качестве мобильного источника энергии и эволюционного перехода от тяговой к тягово-энергетической концепции трактора [2].

Для реализации «избыточной» мощности энергонасыщенных тракторов многие зарубежные и отечественные производители применяют балластирование с целью увеличения тягового усилия трактора, идя по рассмотренному второму пути повышения производительности МТА. Чугунные балласты закрепляются на остовах или ведущих колесах трактора. Балластирование стало необходимым способом искусственного увеличения веса трактора и понижения его энергонасыщенности для увеличения тягового усилия вследствие ограничения скорости выполнения технологических работ. При работе с орудиями, обладающими высоким тяговым сопротивлением применение балласта позволяет более точно подобрать тяговое усилие трактора, а если не требуется высокая сила тяги, то рекомендуется использовать трактор без балласта.

В свою очередь на тракторах средней (от 100 до 200 л.с.) и особенно большой мощности (свыше 200 л.с.) применяют балластные грузы, которые составляют до половины массы самого трактора [1]. Демонтаж таких значительных масс вызывает на практике определенные неудобства и сложности, поэтому применение балласта на энергонасыщенном тракторе переводит его в трактор следующего тягового класса лишая его универсальности и приводя к дополнительным расходам топлива на перемещение ненужного балласта [3].

Балластирование как способ повышения сцепного веса возможно не только за счет балластных грузов, но и также при использовании веса рабочих орудий

и емкостей с технологическим материалом при навешивании их на весьма перспективные «интегральные» тракторы. Одним из первых представителем таких тракторов является трактор ЛТЗ-155 [4], созданный на Липецком тракторном заводе, который в свое время сделал прорыв в тракторостроение. Аналогичные тракторы были разработаны немецким концерном Daimler-Benz «MB-trak» с формулой 4K46 [5] и английской фирмы JCB серии «Fastrac» [6]. Тракторы имели передние и задние колеса одинакового размера с равномерным распределением массы между ними. Тракторы фирмы «Fendt» отличались большим (на 12-14%) сцепным весом на задние колеса за счет меньшего диаметра передних колес. Интегральные тракторы решали проблему реализации повышенной мощности двигателя за счет увеличения сцепного веса, но при этом как и при балластировании, увеличение нагрузки на колеса трактора приводила к нарушению физико-механических свойств почвы и как следствие к снижению урожайности [7].

Одним из возможных путей дальнейшего развития тракторостроения — это использование принципов модульного построения, обеспечивающих создание элементной базы сельхозмашиностроения и адаптивности к технологическим переналадкам МТА [2]. При модульном построении основное тяговое усилие формируется ведущими колесами технологической части МТА за счет избыточной мощности энергонасыщенного трактора при этом активизируется вес всего МТА.

Первым шагом модульного построения МТА может быть использование с энергонасыщенным трактором технологического модуля, который, имея ведущие колеса, позволяет навешивать на себя сельскохозяйственные машины используя часть их веса в качестве сцепного веса, а также при необходимости дополнительный балласт. Как отмечается в работах [8, 9] ведущие колеса такого технологического модуля могут обеспечить прирост тягового усилия до 2 раз. Такой способ комплектования трактора позволяет повысить его универсальность и использовать один трактор в двух смежных тяговых классах, что в свою очередь позволяет устранить отсутствие трактора определенного тягового класса и одновременно сократить номенклатуру имеющихся тракторов [1].

Интересный опыт был получен ВИМом на базе трактора МТЗ-52 с использованием третьего отсоединяемого ведущего моста с приводом от синхронного ВОМ трактора [10]. Однако, из-за недостаточной энергонасыщенности трактора МТЗ-52, было отмечено уменьшение рабочей скорости до 27%, хотя и получено увеличение номинального тягового усилия на 62%. Этот недостаток был решен в экспериментальных образцах МЭС-200 и МЭС-300.

Липецким тракторным заводом был изготовлен опытный МЭС-200, который агрегатировался с сельхозмашинами, предназначенными для тракторов класса 3. Сменная производительность энергетического модуля

МЭС-200 объединенного с технологическим модулем повысила производительность трактора второго тягового класса на 35...37%, погектарный расход топлива на вспашке был ниже на 17%. Энергетический модуль МЭС-300 созданный на Харьковском тракторном заводе при использовании технологического модуля агрегатировался с сельхозмашинами, предназначенными для тракторов тягового класса 5. Это позволило повысить сменную производительность на 68,0%, а расход топлива снизить не менее чем на 43,9% в сравнении с серийным трактором Т-150К [11, 12].

Таким образом, повышение энергонасыщенности трактора, как основной закономерности развития его технического уровня, ведет к перерастанию трактор-тягача в трактор тягово-энергетической концепции (мобильное энергетическое средство) с расширением его универсальности и функциональных возможностей. Одним из перспективных направлений является формирование МТА по модульному принципу на базе энергонасыщенных тракторов, обладающего двумя уровнями мощности двигателя, снабженных технологическим модулем с одним или несколькими ведущими мостами и гидронавесным устройством (рис. 1), позволяющим использовать часть веса сельхозмашин в качестве сцепного веса, а также при необходимости дополнительный балласт [13].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обосновать применение модульных универсальных энерготехнологических средств как одного из перспективных способов повышения эффективности

использования сельскохозяйственного МТА на базе энергонасыщенного трактора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Номинальную эксплуатационную мощность двигателя трактора тяговой концепции принято рассчитывать по формуле:

$$N_{н.э} = \frac{(P_{кр.н} + P_f) v_{тр.н}}{\eta_{тр} (1 - \delta_{н.к})}, \quad (1)$$

где $P_{кр.н}$ — значение номинального тягового усилия трактора, кН; P_f — сила сопротивления качению трактора, кН; $v_{тр.н}$ — действительная скорость движения трактора при номинальном тяговом усилии, м/с; $\eta_{тр}$ — механический КПД трансмиссии трактора; $\delta_{н.к}$ — допустимое значение буксования колес заднего ведущего моста.

Следует отметить, что зависимость (1) справедлива для определения номинальной эксплуатационной мощности двигателя только для тракторов формулы 4К2. Для тракторов, имеющих колесную формулу 4К4 или 6К6 необходимо учитывать буксование колес всех мостов трактора так как буксование колес по отдельным осям неодинаково и зависит от конструктивно заданного кинематического несоответствия в их приводе [14].

Учитывая изложенное, в работе [15] предлагается определять номинальную эксплуатационную мощность двигателя как сумму мощностей, потребляемых отдельными мостами трактора:

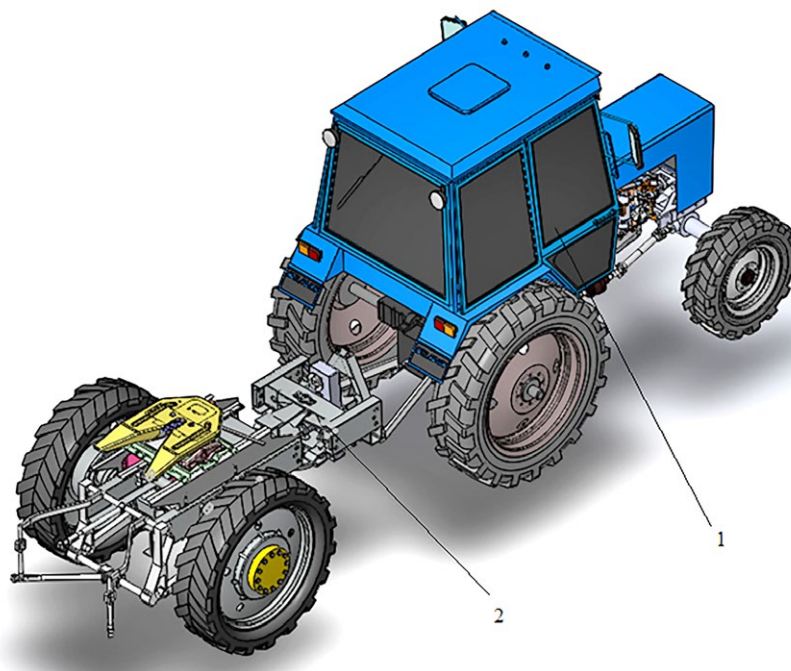


Рис. 1. Модульное энерготехнологическое средство: 1 — энергонасыщенный трактор, 2 — технологический модуль.
Fig. 1. A modular energy-technological unit: 1 — an energy-packed tractor, 2 — a technological module.

$$N_{\text{н.э}} = \frac{\sum_{j=1}^N (P_{\text{кр.}j} + P_{fj}) v_{\text{тр.н}}}{\sum_{j=1}^N \eta_{\text{тр.}j} k_{Nj} (1 - \delta_{\text{н.}j})}, \quad (2)$$

где $P_{\text{кр.}j}$ и P_{fj} — значение силы тяги и сила сопротивления качению колес j -го моста трактора, кН; k_{Nj} — коэффициент передачи мощности, учитывающий долю мощности, передаваемую через j -й мост; $\eta_{\text{тр.}j}$ — механический КПД отдельной ветви трансмиссии j -го моста; $\delta_{\text{н.}j}$ — буксование колес j -го моста.

Для расчетов значение силы тяги можно принять, исходя из тягового класса трактора, а силу сопротивления качению трактора можно определить при известном значении коэффициента буксования трактора на данном агрофоне. Тогда числитель примет такой же вид, как и выражении (1)

$$(P_{\text{кр.н}} + P_f) v_{\text{тр.н}}. \quad (3)$$

Выражение (2) содержит в знаменателе — сумму механических потерь мощности в трансмиссии и потерь на буксование с учетом передачи доли мощности через j -й мост и может быть заменено следующим произведением:

$$\sum_{j=1}^N \eta_{\text{тр.}j} k_{Nj} (1 - \delta_{\text{н.}j}) = \eta_{\text{тр}} (1 - \delta_{\text{н}}), \quad (4)$$

где $\eta_{\text{тр}}$ — механический КПД трансмиссии многоосного трактора; $\delta_{\text{н}}$ — допустимое значение буксования многоосного трактора в целом.

В специальной литературе отсутствует определение допустимого значения буксования многоосного трактора в целом и при испытаниях согласно ГОСТ 30745-2001 (ИСО 789-9-90) определяется значение буксования задних ведущих колес.

Для определения допустимого буксования многоосного трактора необходимо учитывать доли передаваемой мощности на привод ведущих колес трактора:

$$1 - \delta_{\text{н}} = \sum_{j=1}^n [(1 - \delta_{\text{н.}j}) \cdot k_{Nj}], \quad (5)$$

где k_{Nj} — коэффициент передачи мощности, учитывающий долю мощности, передаваемую через j -й мост; $\delta_{\text{н.}j}$ — буксование колес j -го моста.

Коэффициент передачи мощности, учитывающий долю мощности, передаваемую через j -й мост определим, как:

$$k_{Nj} = \frac{N_{\text{н.э.}j}}{N_{\text{н.э}}}, \quad (6)$$

где $N_{\text{н.э.}j}$ — доля эффективной мощности двигателя, передаваемой отдельно на j -й мост.

Для определения доли эффективной мощности двигателя, передаваемой отдельно на j -й мост, воспользуемся известной зависимостью номинального тягового усилия трактора от его веса:

$$P_{\text{кр.н}} = \varphi_{\text{кр.н}} G_{\text{тр}}, \quad (7)$$

где $G_{\text{тр}}$ — вес трактора, обеспечивающий условия сцепления движителей с почвой при достижении трактором заданного тягового усилия на лущеной стерне зерновых культур нормальной влажности с буксованием не более допустимого $\delta_{\text{н}}$ стандартом; $\varphi_{\text{кр.н}}$ — коэффициент использования веса трактора при номинальном тяговом усилии и работе на лущеной стерне.

Значение номинального тягового усилия трактора можно представить, как сумму тяговых усилий, создаваемых каждым мостом:

$$P_{\text{кр.н}} = \sum_{j=1}^n P_{\text{кр.н.}j}, \quad (8)$$

где $P_{\text{кр.н.}j}$ — тяговое усилие, создаваемое j -м мостом.

Отсюда номинальная тяговая мощность трактора с учетом его действительной скорости движения равна:

$$P_{\text{кр.н}} v_{\text{тр.н}} = \sum_{j=1}^n (P_{\text{кр.н.}j} v_{\text{тр.н}}). \quad (9)$$

С учетом выражения (7):

$$\varphi_{\text{кр.н}} G_{\text{тр}} v_{\text{тр.н}} = \sum_{j=1}^n (\varphi_{\text{кр.н}} G_{\text{тр.}j} v_{\text{тр.н}}). \quad (10)$$

Учитывая выражения (6) и (10) получим:

$$k_{Nj} = \frac{N_{\text{н.э.}j}}{N_{\text{н.э}}} = \frac{N_{\text{кр.н.}j}}{N_{\text{кр.н}}} = \frac{\varphi_{\text{кр.н}} G_{\text{тр.}j} v_{\text{тр.н}}}{\varphi_{\text{кр.н}} G_{\text{тр}} v_{\text{тр.н}}} = \frac{G_{\text{тр.}j}}{G_{\text{тр}}} = \lambda_j, \quad (11)$$

где λ_j — коэффициенты нагрузки j -го колеса.

С учетом выражений (5) и (11) имеем:

$$1 - \delta_{\text{н}} = \sum_{j=1}^n [(1 - \delta_{\text{н.}j}) \cdot \lambda_j]. \quad (12)$$

Таким образом выражение (2) можно представить в следующем виде:

$$N_{\text{н.э}} = \frac{(P_{\text{кр.н}} + P_f) v_{\text{тр.н}}}{\eta_{\text{тр}} \sum_{j=1}^n [(1 - \delta_{\text{н.}j}) \cdot \lambda_j]}. \quad (13)$$

Для повышения универсальности колесных тракторов путем использования их с сельскохозяйственными машинами, предназначенными для тракторов разных тяговых классов, необходимо что бы колесный трактор мог развивать несколько номинальных тяговых усилий, соответствующих разным тяговым классам. Это

возможно достичь согласно выражению (7) путем изменения веса трактора. Для перехода трактора в более высокий тяговый класс необходимо увеличить его вес на разность между весом трактора верхнего тягового класса и весом трактора нижнего тягового класса:

$$\Delta G_{\text{тр}} = G_{\text{тр.в}} - G_{\text{тр.н}}, \quad (15)$$

где $G_{\text{тр.в}}$ и $G_{\text{тр.н}}$ — вес трактора соответственно верхнего тягового класса и нижнего тягового классов.

Эксплуатационный вес трактора для нижнего и верхнего тяговых классов определяем по формулам соответственно:

$$G_{\text{тр.н}} = \frac{P_{\text{кр.н.н}}}{\varphi_{\text{кр.н}}}, \quad (16)$$

$$G_{\text{тр.в}} = \frac{P_{\text{кр.н.в}}}{\varphi_{\text{кр.МЭС}}}, \quad (17)$$

где $P_{\text{кр.н.в}}$ и $P_{\text{кр.н.н}}$ — номинальные тяговые усилия трактора, соответствующие верхнему и нижнему тяговым классам.

Необходимый вес для перехода в более высокий тяговый класс, как было рассмотрено выше, может быть дополнен балластом или применением третьего моста (технологического модуля) [1]. При использовании технологического модуля, полученный вес по формуле (15) будет его эксплуатационным весом. В конструкции технологического модуля может быть выполнен с более низким весом и дополнен до необходимого значения балластом. Таким образом, эксплуатационный вес технологического модуля задается из условия возможности перехода трактора в верхний тяговый класс трактора тягово-энергетической концепции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведем расчет по предлагаемой методике мощности двигателя трехосного трактора сформированном на базе двухосного трактора тягового класса 1,4 согласно (13):

- для двухосного трактора класса 1.4

$$N_{\text{н.э.тр}} = \frac{(14,0 + 4,79) \cdot 2,5}{0,79} = 59,63 \text{ кВт};$$

- для трехосного трактора на базе двухосного трактора класса 1.4 с третьим подкатным мостом (технологическим модулем)

$$N_{\text{н.э.МЭС}} = \frac{(20,0 + 6,07) \cdot 2,5}{0,77} = 84,66 \text{ кВт}.$$

Проведем расчет по предлагаемой методике веса и массы тракторов нижнего и верхнего тяговых классов, и веса технологического модуля при переходе

от нижнего к верхнему тяговому классу на примере трактора тягового класса 1,4.

Эксплуатационный вес трактора для нижнего тягового класса 1,4 согласно выражению (16):

$$G_{\text{тр.н}} = \frac{P_{\text{кр.н.н}}}{\varphi_{\text{кр.н}}} = \frac{14}{0,392} = 35,71 \text{ кН},$$

где $P_{\text{кр.н.н}}$ — нижнее номинальное тяговое усилие трактора, $P_{\text{кр.н}} = 14 \text{ кН}$; $\varphi_{\text{кр.н}}$ — коэффициент использования веса колесного трактора при номинальном тяговом усилии и работе на луценой стерне.

Эксплуатационный вес трактора для верхнего тягового класса 2 при использовании технологического модуля согласно выражению (17) рассчитывается согласно:

$$G_{\text{тр.в.МЭС}} = \frac{P_{\text{кр.н.в}}}{\varphi_{\text{кр.МЭС}}} = \frac{20}{0,4} = 50,0 \text{ кН},$$

где $P_{\text{кр.н.в.МЭС}}$ — верхнее значение номинального тягового усилия МЭС, $P_{\text{кр.н.в.МЭС}} = 20 \text{ кН}$; $\varphi_{\text{кр.МЭС}}$ — коэффициент использования веса трактора с третьим мостом (технологическим модулем).

Максимальный вес технологического модуля:

$$G_{\text{ТМ}} = G_{\text{тр.в.МЭС}} - G_{\text{тр.н}} = 50,0 - 35,71 = 14,29 \text{ кН}.$$

Максимальная масса технологического модуля:

$$m_{\text{ТМ}} = 10^3 \frac{G_{\text{ТМ}}}{g} = \frac{14,29}{9,81} = 1456 \text{ кг}.$$

Результаты расчетов мощности двигателя и массы колесных тракторов в различных комплектациях приведены в таблицах 1 и 2.

Если учитывать, что масса технологического модуля складывается из массы самого технологического модуля и части массы сельскохозяйственной машины, установленной на технологическом модуле, то потери на сопротивление качению всего МТА на базе трактора с технологическим модулем будут значительно меньше чем у МТА на базе трактора тяговой концепции.

Результаты проведенных расчетов показывают, что для достижения предельной по сцеплению силы тяги на крюке при переходе в следующий более высокий класс тяги необходимо, чтобы энергонасыщенность трактора с технологическим модулем соответствовала энергонасыщенности трактора к которому подсоединяется технологический модуль (1,59...1,65 кВт/кН), а сам трактор, к которому подсоединяется технологический модуль обладал энергонасыщенностью 2,0...2,41 кВт/кН, а при переходе на два тяговых класса — 3,3...3,5 кВт/кН. Таким образом, в случае применения трактора Беларус 82.1 с ТМ для перевода его во второй тяговый класс, необходимо проведение

Таблица 1. Результаты расчетов эксплуатационной мощности колесных тракторов в различных комплектациях**Table 1.** Results of calculation of service power of wheeled tractor in various configurations

Комплектация	Показатели				
	Номинальное тяговое усилие, кН	Тяговый класс	Мощность двигателя, кВт	Энергонасыщенность трактора, кВт/кН	
				базового	многоосного
Без ТМ	14	1,4	59,63	1,59	—
С ТМ	20	2	84,66	2,26	1,64
С ТМ	30	3	124,02	3,31	1,65

Таблица 2. Массы тракторов и технологических модулей в различных комплектациях**Table 2.** Mass of tractors and technological modules in various configurations

№ п/п	Название параметра	Значение	
1	Эксплуатационная масса трактора:		
	без ТМ, кг	3640	3640
	с ТМ, кг	5095	7645
2	Соответствие тяговому классу	1,4–2	1,4–3
3	Масса технологического модуля, кг	1455	4005

комплекса мер по увеличению мощности двигателя трактора не менее чем на 25 кВт.

Наиболее близкими из модельного ряда тракторов Минского тракторного завода являются тракторы тягового класса 1.4: МТЗ-1021 (мощность 77 кВт/105 л.с.), МТЗ-1021.3, МТЗ-1021.4 и МТЗ-1021.5 (мощность 81 кВт/110 л.с.), МТЗ-1025.2 (мощность 79 кВт/107 л.с.), МТЗ-1025.3, МТЗ-1025.4, МТЗ-1025.5, МТЗ-1025.6 (мощность 81 кВт/110 л.с.).

Результаты полевых сравнительных испытаний на стерне зерновых (при влажности агрофона в слое 0...15 см — 19%) при выполнении МТА отвальной вспашки на базе трактора МТЗ-82 повышенной мощности 105 л.с. с ТМ и трактора МТЗ-82 80 л.с. (табл. 3). Передача трактора в обоих опытах шестая с понижающим редуктором.

Из анализа таблицы 3 можно сделать вывод, что повышение чистой производительности пахотного агрегата на базе трактора МТЗ-82 с мощностью 105 л.с. и ТМ составило 36,65% в сравнении с пахотным агрегатом на базе штатного трактора МТЗ-82. Снижение погектарного расхода топлива МТА на базе трактора МТЗ-82 с мощностью 105 л.с. и ТМ составило 6,33% в сравнении

с штатным трактором МТЗ-82 (погектарный расход топлива МТА на базе трактора МТЗ-82 с мощностью 105 л.с. — 16,96 кг/га).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что применение модульных универсальных энерготехнологических средств является одним из перспективных способов повышения эффективности использования сельскохозяйственного МТА на базе энергонасыщенного трактора.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. А.В. Сидорова — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; А.В. Лавров — экспертная оценка, утверждение финальной версии; М.В. Сидоров — редактирование текста рукописи, создание изображений. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи,

Таблица 3. Результаты полевых сравнительных испытаний на стерне зерновых при выполнении МТА на базе трактора МТЗ-82 повышенной мощности 105 л.с. с ТМ и трактора МТЗ-82 отвальной вспашке**Table 3.** Results of field comparisomal testing at crop stubble field when performing moldboard plowing by the machine-tractor unit containing the MTZ-82 tractor with increased power up to 105 hp with a technological module and the MTZ-82 tractor

Комплектация МТА	Буксование колес	Скорость, м/с	Чистая производительность, га/ч	Расход топлива	
	зад. лев.			кг/ч	кг/га
МТЗ-82+ПЛН-3-35	14,3	2,102	0,794	14,38	18,10
МТЗ-82 с ТМ+ПЛН-4-35	14,0	2,153	1,085	18,41	16,96

прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. A.V. Sidorova — search for publications, writing the text of the manuscript;

A.B. Lavrov — expert opinion, approval of the final version; M.V. Sidorov — editing the text of the manuscript, creating images; Authors confirm the compliance of their authorship with the ICMJE international criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутков Г.М. Энергонасыщенность и классификация тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2009. Т. 76, № 5. С. 11–14. doi: 10.17816/0321-4443-68584
2. Годжаев З.А., Шевцов В.Г., Лобачевский Я.П., и др. Концепция создания семейства сельскохозяйственных мобильных универсальных энергосредств нового поколения с комплексами адаптивных машин и агрегатов. М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2020.
3. Кутков Г.М., Грибов И.В., Перевозчикова Н.В. Балластирование тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2017. Т. 84. № 9. С. 52–60. doi: 10.17816/0321-4443-66343
4. Кабаков Н.С., Пономарев А.Г. Трактор ЛТЗ-155 для возделывания пропашных культур // Тракторы и сельхозмашины. 2000. № 1. С. 7–9.
5. Гумилевский Ю.Н. Трактор «MB trak 1300» // Тракторы и сельхозмашины. 1979. № 8. С. 39–40.
6. Голтыпин В.Я. Новые интегральные тракторы JCB // Тракторы и сельхозмашины. 2005. № 4. С. 40–44.
7. Поливаев О.И., Воищев В.С. Снижение уплотнения почвы движителями мобильных энергетических средств // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013. №1 (36). С. 57–59.
8. Кутков Г.М., Ксенович И.П. Блочномодульные МТА // Тракторы и сельхозмашины. 1990. №1. С. 8–10.

9. Надикто В.Т. Перспективное направление создания комбинированных и широкозахватных МТА // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 3. С. 26–30.
10. Кабаков Н.С., Чурсин Л.И., Рожков Е.С. Тяговые показатели трактора МТЗ-52 с приставным ведущим мостом // Тракторы и сельхозмашины. 1970. № 12. С. 13–14.
11. Кутков Г.М. Исследования модульного энерготехнологического средства // Тракторы и сельхозмашины. 1989. № 12. С. 3–9.
12. Попов А.Г., Кутков Г.М., Лехтер В.Р. и др. Некоторые результаты экспериментальных исследований МЭС-150 // Тракторы и сельхозмашины: сборник научных трудов. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина. 1993. С. 107–119.
13. Sidorov V.N., Voinash S.A., Ivanov A.A., et al. Modular-technological scheme for tractors of traction classes 1.4 // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 666. P. 042048. doi: 10.1088/1755-1315/666/4/042048
14. Лавров А.В., Сидоров М.В., Воронин В.А. Технологический модуль для крестьянских фермерских хозяйств // Сельский механизатор. 2021. № 3. С. 5.
15. Сидоров М.В., Лавров А.В., Воронин В.А., и др. Мощность двигателя трактора, оснащенного технологическим модулем // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 2. С. 33–40.

REFERENCES

1. Kut'kov GM. Energonasyshchennost' i klassifikatsiya traktorov. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2009;76(5):11-14. (in Russ). doi: 10.17816/0321-4443-68584
2. Gojaev ZA, Shevtsov VG, Lobachevsky YaP, et al. The concept of creating a family of agricultural mobile universal power equipment of a new generation with complexes of adaptive machines and aggregates. Moscow: FGBNU FNATS VIM; 2020. (in Russ).
3. Kut'kov GM, Gribov IV, Perevozchikova NV. Ballasting of tractors. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2017;84(9):52-60. (in Russ). doi: 10.17816/0321-4443-66343
4. Kabakov NS, Ponomarev AG. Tractor LTZ-155 for cultivating row crops. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2000;1:7-9. (in Russ).
5. Gumilevsky YuN. Tractor "MB trak 1300". *Tractors and Agricultural Machinery*. 1979;8:39-40. (in Russ).
6. Goltypin VYa. New JCB integral tractors. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2005;4:40-44. (in Russ).
7. Polivaev OI, Voishchev VS. Reducing soil compaction by mobile energy vehicles. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2013;1(36):57-59. (in Russ).
8. Kut'kov GM, Ksenovich IP. Block-modular MTAs. *Tractors and Agricultural Machinery*. 1990;1:8-10. (in Russ).
9. Nadykto VT. A promising direction for creating combined and wide-width MTAs. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2008;3:26-30. (in Russ).
10. Kabakov NS, Chursin LI, Rozhkov ES. Traction performance of the MTZ-52 tractor with an attached drive axle. *Tractors and Agricultural Machinery*. 1970;12:13-14. (in Russ).
11. Kut'kov GM. Research of a modular energy technology facility. *Tractors and Agricultural Machinery*. 1989;12:3-9. (in Russ).

12. Popov AG, et al. Some results of experimental studies of MES-150. *Tractors and Agricultural Machinery: collection of scientific papers*. Moscow: MGAU im VP Goryachkina. 1993:107–119. (in Russ).

13. Sidorov VN, Voinash SA, Ivanov AA, et al. Modular-technological scheme for tractors of traction classes 1.4. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021;666:042048. doi: 10.1088/1755-1315/666/4/042048

14. Lavrov AV, Sidorov MV, Voronin VA. Technological module for peasant farms. *Selskiy mekhanizator*. 2021;3:5. (in Russ).

15. Sidorov MV, Lavrov AV, Voronin VA, et al. Engine power of a tractor equipped with a technological module. *Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021;15(2):33–40. (in Russ).

ОБ АВТОРАХ

*** Лавров Александр Владимирович,**

канд. техн. наук,
заведующий лабораторией «Система мобильных энергетических средств»;
адрес: Российская Федерация, 109428, Москва,
1-й Институтский проезд, д. 5;
ORCID: 0000-0002-9070-206X;
eLibrary SPIN: 3198-2929;
e-mail: vimlavrov@mail.ru

Сидорова Анастасия Владимировна,

аспирант кафедры «Процессы и машины в агроинженерии»;
ORCID: 0009-0007-6339-3162;
eLibrary SPIN: 1195-1151;
e-mail: nancy85@yandex.ru

Сидоров Максим Владимирович,

канд. техн. наук,
доцент кафедры «Колесные машины и прикладная механика»;
ORCID: 0000-0002-6686-2282;
eLibrary SPIN: 6131-3669;
e-mail: sidorov.maxim.79@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Aleksander V. Lavrov,**

Cand. Sci. (Tech.),
Head of the Mobile Energy System Laboratory;
address: 5 1st Institutskiy drive, 109428 Moscow,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-9070-206X;
eLibrary SPIN: 3198-2929;
e-mail: vimlavrov@mail.ru

Anastasia V. Sidorova,

Postgraduate of the Processes and Machines in Agroengineering Department;
ORCID: 0009-0007-6339-3162;
eLibrary SPIN: 1195-1151;
e-mail: nancy85@yandex.ru

Maxim V. Sidorov,

Cand. Sci. (Tech.),
Associate Professor of the Wheeled Vehicles and Applied Mechanics Department;
ORCID: 0000-0002-6686-2282;
eLibrary SPIN: 6131-3669;
e-mail: sidorov.maxim.79@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author