

6. Pavlov A. Ye., Pavlova L. A. Dinamika tverdogo tela dlya agroinzhenerov. Konspekt lektsiy. [Rigid Body Dynamics for Agricultural Engineers. Lectures]. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken. Germany. 2013. <http://www.ljpubljuknigi.ru/>.

7. RF patent for utility model № 135621. IPC B65B 5/10. Device for stacking piece goods in containers. Belov M. I., Pavlov, A. E., Sorokin S. V. Ap-

plication 2012158012/13 of 28.12.2012; published on 12.20.2013. Bulletin № 35.

8. RF Application for the invention № 2015117401. Device for layer stacking piece goods in containers. Kazantsev S. P., Sorokin S. V., Belov M. I., Pavlov A. Ye. Application 2012117401 (22) of 05.07.2015; notification of the positive result of the formal examination of 2015.07.14.

**Aleksandr Ye. Pavlov** – PhD (Phys-Math), Associate Professor, “Strength of Materials and Machine Parts” Department; 127550, Listvennichnaya ul., 7, Moscow; phone: +7 (925) 873-19-30; e-mail: alexpavlov60@mail.ru.

**Sergey V. Sorokin** – PhD (Eng), Associate Professor, “Strength of Materials and Machine Parts” Department; 127550, Listvennichnaya ul., 7, Moscow; phone: +7 (917) 545-46-42; e-mail: sergsor2011@yandex.ru.

**Larisa A. Pavlova** – Associate Professor, “Higher Mathematics” Department; 127550, Listvennichnaya ul., 2A, Moscow; phone: +7 (926) 381-83-90; e-mail: krasilnikowa.larisa2011@yandex.ru.

*Received on October 27, 2015*

УДК 631.372

**А.Н. СИМОНЕНКО**

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева

## ТЯГОВО-ПРИВОДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

Целью исследований является оптимизация комплектования машинно-тракторного агрегата с активными рабочими органами с визуализацией выбора режима работы, особенно при недогрузках двигателя и технологических ограничениях. Приведен обзор требований, предъявляемых к приводу вала отбора мощности, со стороны сельскохозяйственных машин с активными рабочими органами. Предлагаемая методика графоаналитического расчета для составления (комплектования) машинно-тракторных агрегатов с АРО, в отличие от существующей «по максимальной мощности», позволяет выбирать и оптимизировать режимы работы и при неполной загрузке двигателя трактора с учетом ограничений со стороны АРО сельскохозяйственной машины.

*Ключевые слова:* машинно-тракторный агрегат, трактор, сельскохозяйственная машина, активные рабочие органы, вал отбора мощности, тягово-приводная характеристика.

Оптимизация комплектования машинно-тракторного агрегата с активными рабочими органами с визуализацией выбора режима работы является важной задачей решения вопросов ресурсосбережения, эффективной эксплуатации техники, минимизации затрат на поддержание техники в исправном состоянии и др. [1, 2].

Приводится предлагаемая методика графоаналитического расчета при построении тягово-приводной характеристики машинно-тракторного агрегата с активными рабочими органами, позволяющая визуально выбрать оптимальный режим работы при приведении крутящих моментов к валу отбора мощности.

**Целью исследований** является оптимизация комплектования машинно-тракторного агрега-

та с активными рабочими органами с визуализацией выбора режима работы, особенно при недогрузках двигателя и технологических ограничениях.

Тяговая характеристика, полученная на стерне нормальной влажности, считается паспортной для трактора как тяговой машины и используется для комплектования тяговых машинно-тракторных агрегатов (МТА) с пассивными рабочими органами сельскохозяйственных машин (СХМ). Для привода активных рабочих органов (АРО) сельскохозяйственных машин мощность от двигателя трактора передается через механический привод – вал отбора мощности (ВОМ), или гидростатический – гидросистему отбора мощности (ГСОМ). При этом для работы подавляющего большинства СХМ с актив-

ными рабочими органами необходимо создание и тягового усилия, т.е. мощность от двигателя трактора передаётся по двум (иногда и по трем) ветвям: через ходовую часть, ВОМ, ГСОМ.

Для тяговых МТА в существующем диапазоне рабочих скоростей тяговое усилие СХМ с ростом скорости несколько пропорционально возрастает, при этом качество выполнения технологического процесса и энергозатраты остаются в приемлемом диапазоне. СХМ с АРО накладывают ряд ограничений не только по величине (достаточности) мощности двигателя, но и на кинематические режимы работы. Наиболее простое кинематическое двустороннее ограничение нашло отражение в ГОСТах многих стран производителей тракторов – это частота вращения ВОМ: 540 мин<sup>-1</sup> (1-я передача ВОМ) и 1000 мин<sup>-1</sup> (2-я передач ВОМ) при номинальной частоте вращения двигателя. Для некоторых машин это требование справедливо: понижение скоростного режима вызывает нарушение технологического процесса, повышение увеличивает энергозатраты и (или) динамические нагрузки.

Ряд машин (почвообрабатывающие с АРО, расадо-посадочные и т.п.) требует кинематической синхронизации поступательной скорости агрегата и скорости вращения ВОМ для выполнения технологических требований. Для этого на некоторых пропашных тракторах применяется синхронный ВОМ, который обеспечивает 3,3...3,5 об/мин. пути на 1-й передаче ВОМ и 6,6...7 об/мин. пути на 2-й передаче ВОМ.

Указанные требования к кинематическим режимам АРО однозначны, если СХМ имеет один рабочий орган, при наличии нескольких (или комбинированных), требования к ним могут быть противоречивы и тогда определяют оптимальную частоту вращения ВОМ. В этом случае потребуется регулируемый привод ВОМ. Таким наиболее подходящим приводом для АРО в конструктивном исполнении может быть регулируемый ГСОМ.

Вышеперечисленные требования в большей или меньшей степени закладываются в конструкцию трактора. Внешние условия – такие, как урожайность, твердость, влажность и др. – так же, как и выбранные режимы работы, определяют нагрузки по ветвям отбора мощности. Существующие методики комплектования МТА с АРО, отраженные в предыдущем и действующем ГОСТах, основываются на расчете приведенной мощности на крюке от обеих ветвей отбора СХМ и сравниваются с тяговой характеристикой трактора на предмет её достаточности [3, 4]. Такой подход скрывает информацию о кинематических режимах ВОМ, влияющих на качество работ, топливную экономичность, и не позволяет оценить выбранный режим (включенные передачи в ходовой части и ветви ВОМ) в сравнении с другими. Похоже, такой упрощенный подход основан на том, что уже имеются тяговые характеристики тракторов, но их использование при комплектовании МТА с АРО по достаточности мощности на крюке не позволяет оптимизировать его работу.

Более того, ряд СХМ с АРО не может по ряду причин (ограничение пропускной способности и т.п.) существенно загрузить двигатель трактора, ухудшая его топливную экономичность. Для её улучшения следует перейти на передачу ВОМ с более низким передаточным числом, но для обеспечения его стандартной частоты вращения – перейти на пониженный (частичный) скоростной режим.

Для визуальной оценки режимов работы ТПА с АРО график совмещения энергетических возможностей двигателя и нагрузок по ветвям следует проводить по ветви ВОМ, так как на ней отражается более сложный характер изменения нагрузки СХМ с АРО. При этом величина данной нагрузки должна быть функцией как от поступательной скорости агрегата (по существу подаче), так и частоты вращения ВОМа при заданных внешних условиях (урожайность, твердость, влажность и т.п.).

На рисунке приведена характеристика совмещения энергетики трактора МТЗ-80 с нагрузкой по ходовой части и ВОМ кормоуборочного комбайна КС-1,8 при урожайности убираемой массы кукурузы на силос в 120 ц/га.

В IV квадранте построены крутящий момент и часовой расход топлива в зависимости от частоты вращения двигателя трактора (Д-240). В I квадранте строятся вспомогательные графики (лучи), связывающие частоту вращения двигателя и скорость движения агрегата по формуле

$$V = 0,105 n_{дв} \cdot \frac{r_k}{i_{трj}} \cdot (1 - \delta),$$

где  $n_{дв}$  – частота вращения двигателя;  $r_k$  – статический радиус колеса;  $i_{трj}$  – передаточное число трансмиссии;  $\delta$  – буксование. Также по координате скорости нанесены стандартные частоты вращения ВОМ при номинальном режиме двигателя (сплошные линии) и на частичном скоростном режиме при включенной II передаче ВОМ (на номинале 1000 мин<sup>-1</sup>) и сниженной двигателем до 540 мин<sup>-1</sup> (штрих-пунктирная линия).

В III квадранте осуществляется связь крутящих моментов двигателя и ВОМ за вычетом затрачиваемого на привод ходовой части:

$$M_B = M_D \cdot i_{Bj} \cdot \eta_B - G_A \cdot f \cdot \frac{r_k}{i_{трj} \cdot \eta_{тр}},$$

где  $M_D$  – момент двигателя,  $i_{Bj}$  – передаточное число ВОМ,  $\eta_B$  – К.П.Д. ВОМ;  $G_A$  – вес агрегата;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $r_k$  – статический радиус колеса;  $i_{трj}$  – передаточное число;  $\eta_{тр}$  – К.П.Д. трансмиссии.

Во II квадранте, имеющем координаты: крутящий момент на ВОМ –  $M_B$  как функции от скорости движения и частоты вращения ВОМ –  $V$ ,  $n_B$ , – представлено графическое решение крутящего момента на ВОМе при различных режимах работы трактора (включенные передачи по ветвям ходовой части и ВОМ – как при номинальном скоростном режиме двигателя, так и при частич-

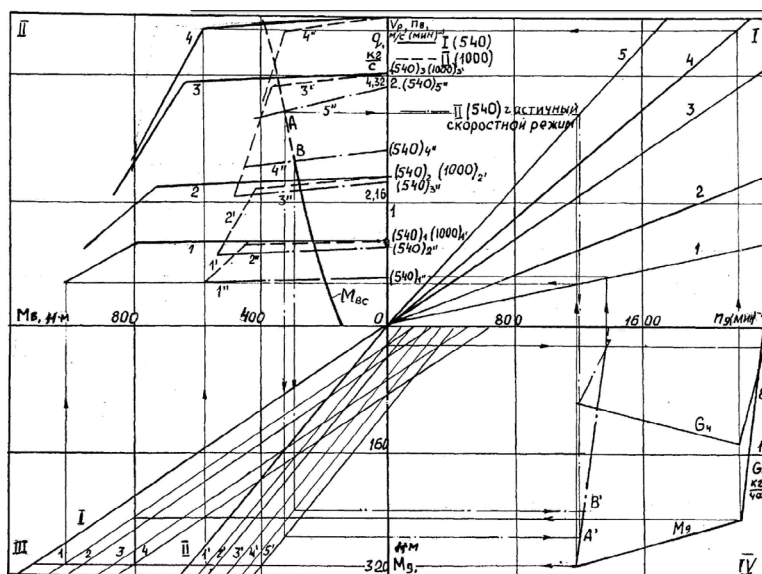


Рис. Тягово-приводная характеристика агрегата МТЗ-80 + КС-1,8

ном, обеспечивающей на II передаче ВОМ частоту вращения 540 мин.<sup>-1</sup>) и момента нагрузки  $M_{вс}$  от СХМ.

Момент нагрузки от СХМ может быть определен при испытаниях (целесообразно применить теорию планирования эксперимента) или расчетным путем по существующим методикам [5].

### Выводы

Предлагаемая методика графоаналитического расчета для составления (комплектования) машинно-тракторных агрегатов с АРО, в отличие от существующей «по максимальной мощности», позволяет выбирать и оптимизировать режимы работы и при неполной нагрузке двигателя трактора с учетом ограничений со стороны АРО сельскохозяйственной машины.

*Симоненко Анатолий Николаевич* – доцент кафедры тракторов и автомобилей РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 89169247521; e-mail: simanatol@yandex.ru.

Статья поступила 23.12.2015

### Библиографический список

1. Скороходов А.Н. Системный подход к моделированию технологических и производственных процессов в растениеводстве // Вестник ФГБОУ ВПО МГАУ. М., 2010. С. 17–19.
2. Панов А.И. Статистическая оценка качества работы ротационной машины для обработки почвы // Вестник ФГБОУ ВПО МГАУ. № 2 (66). 2015. С. 14–17.
3. ГОСТ 24056-80. Методы эксплуатационно-технологической оценки. Техника сельскохозяйственная. М.: Изд-во стандартов, 1980.
4. ГОСТ Р 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергооценки. М.: Стандартинформ, 2008.
5. Блынский Ю.Н. Эксплуатация машинно-тракторного парка: Курс лекций. Ч. 1. Новосибирск, 2014.

## TRACTION-DRIVE CHARACTERISTICS OF TRACTOR UNITS

*A.N. SIMONENKO*

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

The research purpose is to optimize the assembling of a machine-tractor unit with active working bodies using operation mode selection visualization, especially in the engine underloading and technological limitations. The paper provides an overview of the requirements for the power take-off shaft drive from agricultural machines with active working bodies. The proposed analytical graph calculation technique for drawing (completing) tractor units with active working bodies, in contrast to the existing “maximum power” one allows you to select and

optimize an operation mode in the tractor engine partial load as well subject to the limitations imposed by farm machinery active working bodies

*Key words:* machine-and-tractor unit, tractor, agricultural vehicle, active working units, PTO shaft, traction driving characteristic.

### References

1. Skorohodov A.N. Sistemnyy podkhod k modelirovaniyu tekhnologicheskikh i proizvodstvennykh protsessov v rastenievodstve [Systematic approach to modeling technology and production processes in crop production] // Vestnik FGBOU VPO MGAU [Herald of FSBEI HPE MSAU]. M., 2010. P. 17–19.
2. Panov A.I. Statisticheskaya otsenka kachestva raboty rotatsionnoy mashiny dlya obrabotki pochvy [Statistical quality evaluation of the rotary machine for soil treatment] // Vestnik FGBOU VPO MGAU [Herald of FSBEI HPE MSAU]. Issue 2 (66). 2015. P. 14–17.
3. GOST 24056-80 [State Standard]. Methods of operating-and-technological evaluation. Farm Machinery. M.: Publishing House of Standards, 1980.
4. GOST R 52777-2007 [State Standard]. Farm Machinery. Power Requirements Estimation methods. M.: Standartinform 2008.
5. Blynskaya Yu.N. Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka: Kurs lektsiy [Operation of machine-tractor stock: Lectures]. Part 1. Novosibirsk, 2014.

*Anatoly N. Simonenko* – Associate Professor, “Tractors and Automobiles” Department, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127550, Moscow, Timiryazevskaya ul., 49; phone: +79169247521; e-mail: simanatul@yandex.ru.

*Received on December 23, 2015*

УДК 631.372

## **Н.В. ПЕРЕВОЗЧИКОВА, Д.А. РОДЧЕНКОВ, И.В. ГРИБОВ**

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

## **ОЦЕНКА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ТРАКТОРОВ ДЖОН ДИР**

Целью данной работы является сравнительный анализ потребительских свойств тракторов производства компании Джон Дир. На основе разработанной ранее методики рассчитаны показатели технологических свойств тракторов Джон Дир: показатель технологической универсальности, агротехнических свойств, потенциальной производительности, приведенная и относительная стоимость выполнения технологических процессов, обобщенный показатель технологического уровня. Описано влияние конструкции тракторов на перечисленные показатели. В результате расчета сделаны выводы о том, на каких видах работ целесообразно применять рассмотренные модели тракторов Джон Дир.

*Ключевые слова:* технологические свойства, технологический уровень, показатель универсальности, показатель агротехнических свойств, показатель потенциальной производительности, показатель стоимости технологического процесса.

Одним из важнейших показателей в настоящее время становится оценка сельскохозяйственной техники на основе ее потребительских свойств [1]. Целью данной работы является сравнительный анализ функциональных свойств тракторов производства компании Джон Дир. На кафедре тракторов и автомобилей РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева разработана методика расчета тракторов по показателям технологического уровня [2]. Она включает в себя четыре показателя, которые в свою очередь состоят из единичных показателей.

В общем виде показатель технологического уровня энергетического средства можно представить в виде функциональной зависимости:

$$P_T = f(Y_T, A_T, W_{TP}, C_T),$$

где  $Y_T$ ,  $A_T$ ,  $W_{TP}$ ,  $C_T$  – обобщенный показатель соответственно технологической универсальности, агротехнических свойств, потенциальной производительности и стоимости выполнения технологических операций.