

DOI

УДК 631.372; 631.331

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА С ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕ-ПОСЕВНЫМ КОМПЛЕКСОМ

И.И. Габитов, С.Г. Мударисов, А.Ф. Ахметов, И.А. Гайнуллин, И.Р. Рахимов

Реферат. В статье рассмотрены вопросы работы машинно-тракторного агрегата с почвообрабатывающим посевным комплексом. Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов и наиболее полная реализация заложенного в них технического потенциала может производиться на основе развития автоматизированных систем управления и контроля за выполнением технологических процессов как трактором, так и агрегатизируемыми модулями, а также в целом машинно-тракторного агрегата. Рассмотрен тяговый и мощностной баланс трактора с почвообрабатывающим посевным комплексом при работе в заданных условиях. Показано, что производительность в процессе работы может изменяться за счет снижения потерь мощности на преодоление сил сопротивления качению. Представлены теоретические зависимости для определения мощностных и скоростных параметров машинно-тракторного агрегата в процессе посева с почвообработкой и внесением удобрений.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, почвообрабатывающе-посевной комплекс, мощностной баланс, тяговый баланс трактора, производительность машинно-тракторного агрегата.

Введение. Современное растениеводство ведется на основе внедрения новых энергосберегающих прогрессивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур и одновременно направлено на сохранение и повышение плодородия почвы [1]. Повсеместно применяются комбинированные агрегаты, которые за один технологический проход выполняют комплекс агротехнических операций. Повышение эффективности использования и наиболее полная реализация заложенного в них технического потенциала может производиться на основе развития автоматизированных систем управления и контроля за выполнением технологических процессов как трактора, так и агрегатизируемых модулей, а также в целом машинно-тракторного агрегата (МТА) [2...5].

Совмещение операций предпосевной обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур в настоящее время находит наибольшее применение. Для обработки почвы и посева в принятых севооборотах используются современные, высокопроизводительные, комбинированные и универсальные машины, ширина захвата и производительность которых обоснованы для тракторов различного класса тяги. Почвообрабатывающе-посевные комплексы (ППК), как правило, построены по блочно-модульному принципу и состоят из прицепа-бункера семян и удобрений, непосредственно почвообрабатывающей, посевной и прикапывающих секций и пр. Последовательность расположения модулей агрегата может быть различной [6]. Производительность МТА во многом зависит от правильного

комплектования агрегатов с учетом наиболее полного использования мощности двигателя, назначения машин, конкретных условий эксплуатации. Так как в технологический процесс объединено одновременное выполнение нескольких операций, ограничение скорости движения МТА определяется агротехническими требованиями (качеством работы) той операции, где рекомендуемая максимальная скорость является самой низкой из всех операций.

Условия, материалы и методы. Состав МТА, как правило, известен и его расчёт сводится к выбору скоростного режима и соответствующей передачи трактора с учетом возможных ограничений [5]. Вместе с тем следует заметить, что полное тяговое сопротивление ППК даже на однородном поле с одинаковым физико-механическим составом почвы не остается постоянным. Объясняется это тем, что в продолжении технологического процесса работы вес прицепа-бункера уменьшается, и как следствие, снижается сила сопротивления качению. При дифференцированном внесении удобрений в соответствии с агрохимической картой поля, изменение веса будет носить нелинейный характер. При снижении тягового усилия уменьшается буксование трактора, что приводит к возрастанию рабочей скорости МТА. В отдельных случаях, например, при посеве мелкосемянных культур, которые имеют низкую объемную плотность и малую норму высева (в кг/га), следует ожидать незначительное изменение веса ППК в процессе работы и, соответственно, малое влияние на общее тяговое сопротивление.

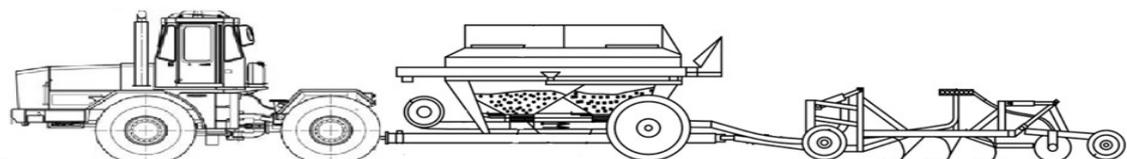


Рис. 1. Схема машинно-тракторного агрегата в составе трактора и почвообрабатывающе-посевого комплекса.

В настоящее время на тракторы в большинстве своем устанавливаются двигатели постоянной мощности, которые обеспечивают на выходе с коленчатого вала постоянную мощность в широком диапазоне частоты вращений [7].

В этой связи эффективную мощность двигателя N_e можно принять равной номинальной мощности N_H и постоянной:

$$N_e = N_H \eta_d = \text{const},$$

где η_d – коэффициент загрузки двигателя при заданном тяговом усилии (0.95...1,0).

В общем случае уравнение мощностного баланса для установившегося режима можно записать как:

$$N_e = N_{тр} + N_f + N_{\delta} + N_{кр}, \quad (1)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя трактора, кВт;

$N_{тр}$ – мощность потерь в трансмиссии, кВт;

N_f – мощность потерь на сопротивление качения, кВт;

N_{δ} – мощность потерь на буксование, кВт;

$N_{кр}$ – крюковая мощность трактора, кВт.

Мощность потерь в трансмиссии:

$$N_{тр} = N_e (1 - \eta_{тр}) \quad (2)$$

где $\eta_{тр} \approx \text{const}$ – КПД трансмиссии, для заданной передачи можно принять постоянной величиной.

Мощность потерь на сопротивление качения:

$$N_f = P_f V_p = F \cdot mg \cdot V_p, \quad (3)$$

где P_f – сила сопротивления качению, кН;

V_p – рабочая скорость движения МТА, м/с;

mg – вес, передающийся к колесам, кН;

f – коэффициент сопротивления качению, для заданного агрофона можно принять $f \approx \text{const}$.

Мощность потерь на буксование:

$$N_{\delta} = N_k \delta = N_e \eta_{тр} \delta \quad (4)$$

где N_k – мощность, подведенная к ведущим колесом трактора, кВт;

δ – коэффициент буксования.

Крюковая мощность трактора:

$$N_{кр} = P_{кр} V_p \quad (5)$$

где $P_{кр}$ – крюковое усилие трактора, кН.

Крюковое усилие затрачивается на преодоление сил сопротивления качению ППК и сил сопротивления обрабатывающих орудий.

Сила сопротивления качению ППК является переменной величиной, т.к. в процессе работы МТА вносятся семена и удобрения и снижается вес, приходящийся на колеса. Силы сопротивления обрабатывающих орудий можно принять постоянной величиной. В этой

связи интерес представляет анализ изменения силы сопротивления качению ППК в процессе посева. Можно представить выражение для определения сил сопротивления качению МТА в определенный момент времени t , который прошел с начала работы после полной заправки ППК.

Полная масса элементов МТА, передающихся на колеса трактора и комплекса ППК, определяется при полной загрузке бункеров:

$$m = m_{тр} + m_{ППК},$$

где $m_{тр}$ – эксплуатационная масса трактора, кг; $m_{ППК}$ – эксплуатационная масса почвообрабатывающе-посевной части с бункером ППК, семенами и удобрениями в нем, кг.

Эксплуатационная масса ППК:

$$m_{ППК} = m_k + (V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2),$$

где m_k – конструктивная масса бункерной части ППК, кг.

V_1 и V_2 – объемы бункеров соответственно семян и удобрений, m^3 ;

ρ_1 и ρ_2 – плотность семян и удобрений, kg/m^3 .

Приняв во внимание, что изменение скорости в процессе посева монотонно возрастает в течение достаточно долгого времени опорожнения бункеров, можно допустить применение уравнения мощностного баланса для установившегося движения без учета потерь мощности на сообщение ускорению МТА. Тогда при условии загрузки двигателя трактора на постоянную мощность ($N_e = N_H = \text{const}$) соответствующую номинальному значению, можно будет определить изменение скорости МТА в течение этого периода.

Из уравнения мощностного баланса можно определить выражение определения текущего значения V_p :

$$\begin{aligned} (6) \quad & P_{кр} V_p + P_f V_n - N_e \eta_{тр} (1 - \delta) = 0 \\ & P_{кр} V_p + fg(m - qBV_p t) V_p - N_e \eta_{тр} (1 - \delta) = 0, \end{aligned}$$

где $q = q_1 + q_2$ – норма внесения удобрений (q_1) и семян (q_2) на 1 га, кг/га;

B – ширина захвата посевного комплекса.

Путем преобразований из выражения (6) получим:

$$fgqBtV_p^2 - (P_{кр} + fgm)V_p + N_e \eta_{тр} (1 - \delta) = 0. \quad (7)$$

Выражение (7) представляет квадратное уравнение. В общем случае можно рассмотреть систему уравнений с граничными условиями (8...12):

$$V_p = \frac{P_{кр} + fgm \pm \sqrt{(P_{кр} + fgm)^2 - 4fgqBt \cdot N_e \eta_{тр} (1 - \delta)}}{2fgBt} \quad (8)$$

$$(P_{кр} + fgm)^2 - 4fgqBt \cdot N_g \eta_{тр} (1 - \delta) \geq 0; \quad (9)$$

$$V_0 = V_{pmin} = V_p (t = 0) \quad (10)$$

$$V_1 \rho_1 - q_1 B V_p t \geq 0 \quad (11)$$

$$V_2 \rho_2 - q_2 B V_p t \geq 0 \quad (12)$$

Изменение скорости в процессе работы можно определить, взяв производную с выражения (8).

Анализ и обсуждение результатов. Расчетные исследования по разработанной модели проводились для работы МТА в составе трактора К 744Р2 (двигатель ТМЗ 8481.10) и посевного комплекса Кузбасс –ТПК – 6.1 (рисунок) на второй передаче третьего режима при посеве озимой пшеницы Скипетр с внесением карбамида после двойного дискования стерни рапса с соблюдением условий методики проведения тяговых испытаний (буксование 8%, коэффициент сопротивления качению 9%, иные данные и коэффициенты приняты из источников [8...11]).

Расчеты показали уменьшение силы сопротивления качению МТА при работе на 4,3 кН (с 20,4 кН - полная загрузка бункеров до 16,1 кН - опорожнение бункеров). Таким образом в период работы МТА при загрузке двигателя на постоянную мощность и установившемся крюковом усилии (56 кН) будет наблюдаться рост средней скорости движения. Следовательно, будет возрастать производительность МТА. Период изменения

(колебаний) условной средней скорости в процессе работы будет соответствовать периоду опорожнения бункеров семян и удобрений. Предварительно проведенное расчетное исследование проведено для рассмотренного выше случая. Для экспериментального подтверждения адекватности предложенных моделей и расчетных схем для следующего этапа исследований разработана программа испытаний.

Выводы. Повышение эффективности использования машинно-тракторного агрегата с почвообрабатывающе-посевным комплексом может проводиться за счет обоснования рациональных эксплуатационных характеристик в зависимости от условий эксплуатации (агрофон, состояние почва, культура, площадь, внос удобрений и пр.) Производительность МТА в течение периода работы не остается постоянной и зависит от средней скорости МТА.

Период изменения (колебаний) условной средней скорости в процессе работы будет определяться скоростью опорожнения бункеров семян и удобрений. Расчетные исследования работы МТА в составе трактора К 744 Р2 (дизель ТМЗ 8481.10) и посевного комплекса Кузбасс –ПК–6.1 на второй передаче третьего режима при посеве озимой пшеницы Скипетр с внесением карбамида после двойного дискования стерни рапса показали увеличение средней скорости МТА с 2,58 м/с до 2,73 м/с или на 5,5 %.

Литература

1. Evaluation of the efficiency of mechanized technological processes of agricultural production / Gabitov I.I., Mudarisov S.G., Gafurov I.D., Ableeva A.M., Negovora A.V., Davletshin M.M., Rakhimov Z.S., Khamaletdinov R.R., Martynov V.M., Yukhin G.P. // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Т. 13. № S10. С. 8338-8345.
 2. Гольдяпин В.Я. Инновационные технологии прямого посева зерновых культур [Электронный ресурс] : науч. аналит. обзор / В.Я. Гольдяпин. — М. : ФГБНУ "Росинформагротех", 2019. — 80 с. : ил. — Авт. указан на обороте тит. л.: Библиогр.: с.75-77. — ISBN 978-5-7367-1518-3. — Режим доступа: <https://lib.rucont.ru/efd/714392>
 3. Колчина Л.М. Современные комбинированные широкозахватные посевные комплексы / Колчина Л.М. // Техника и оборудование для села. 2012. № 5. С. 15-18.
 4. Сайтов В.Е. Анализ конструкций энергосберегающих посевных комплексов/ Сайтов В.Е. Гатауллин Р.Г. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. №8 (часть 4). С. 85-87.
 5. Уткин В.М. Анализ посевных комплексов отечественного производства (РФ) с полосовым внесением удобрений / Уткин В.М., Союнов А.С., Кузьмин Д.Е., Мяло В.В. // В сборнике: Инновационные технологии в АПК, как фактор развития науки в современных условиях. сборник всероссийской (национальной) научно-практической конференции. 2019. С. 433-437.
 6. Влагодобывающие технологии, техника для обработки почв и использование минеральных удобрений в экстремальных условиях / Лачуга Ю.Ф., Савченко И.В., Чекмарев П.А., Шогенов Ю.Х. и др. - Рязань, 2014. – 246 с.
 7. Двигатели ТМЗ семейства 8481.10 Руководство по эксплуатации 8481.3902150 РЭ продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.paotmz.ru/content/files/production/katalogi_instrukcii_2018/rukovodstva/8481_3902150_re_2020_izd_1.pdf (дата обращения: 15.09.2022).
 8. Посевной комплекс "КУЗБАСС" ПК-6,1; ПК-8,5; ПК-9,7; ПК-12,2 Инструкция по сборке и эксплуатации. Каталог деталей и сборочных единиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rostagro.com/wp-content/uploads/2021/10/instrukcija-kuzbass.pdf> (дата обращения: 15.09.2022).
 9. Сайт "Справочник химика 21 века" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chem21.info/> (дата обращения: 15.09.2022).
 10. Кутьков Г.М. Теория трактора и автомобиля. – М.: Колос, 1996 – 287с.
 11. Скотников В.А. и др. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М.: Агропромиздат, 1986 - 386с.
- Сведения об авторах:**
 Габитов Илдар Исмагилович – доктор технических наук, профессор, gabitovildar@gmail.com
 Мударисов Салават Гумерович – доктор технических наук, профессор, salavam@gmail.com

Ахметов Альберт Фоатович — инженер

Гайнуллин Ильшат Анварович – кандидат технических наук, доцент, gainullin_ia@mail.ru

Рахимов Ильдар Раисович – кандидат технических наук, доцент, gainullin_ia@mail.ru

Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия.

**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE USE OF A MACHINE-TRACTOR UNIT WITH
A SOIL-WORKING SEEDING COMPLEX**

I.I. Gabitov, S.G. Mudarisov, A.F. Akhmetov, I.A. Gainullin, I.R. Rakhimov

Abstract. The article deals with the issues of operation of a machine-tractor unit with a soil-cultivating sowing complex. Improving the efficiency of using machine-tractor units and the most complete realization of the technical potential inherent in them can be carried out on the basis of the development of automated control systems and monitoring the implementation of technological processes both by the tractor and the implement, as well as by the unit as a whole. The traction-power balance of a tractor with a soil-cultivating sowing complex when working under given conditions is considered. It is shown that the performance during operation can change by reducing the power loss to overcome the forces of rolling resistance. Theoretical dependences for determining the power and speed parameters of the machine-tractor unit during sowing with tillage and fertilization are given.

Key words: machine-tractor unit, soil-cultivating and sowing complex, power balance, traction balance of the tractor, productivity of the machine-tractor unit.

References

1. Gabitov II, Mudarisov SG, Gafurov ID, Ableeva AM, Negovora AV, Davletshin MM, Rakhimov ZS, Khamaletdinov RR, Martynov VM, Yukhin GP. Evaluation of the efficiency of mechanized technological processes of agricultural production. *Journal of engineering and applied sciences*. 2018; Vol.13. 10. 8338-8345 p.
2. Gol'tyapin VYa. Innovative technologies for direct sowing of grain crops: scientific analytic review. [Internet]. Moscow: FGBNU "Rosinformagrotekh". 2019; 80 p. Available from: <https://lib.rucont.ru/efd/714392>
3. Kolchina LM. [Modern combined wide-sowing seeding complexes]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2012; 5. 15-18 p.
4. Saitov VE, Gataullin RG. [Analysis of the designs of energy-saving sowing complexes]. *Mezhdunarodnyi zhurnal priklad'nykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014; 8 (chast' 4). 85-87 p.
5. Utkin VM, Soyunov AS, Kuz'min DE, Myalo VV. Analiz posevnykh kompleksov otechestvennogo proizvodstva (RF) s polosovym vneseniyem udobreniy. [Analysis of sowing complexes of domestic production (RF) with strip fertilization]. *V sbornike: Innovatsionnye tekhnologii v APK, kak faktor razvitiya nauki v sovremennykh usloviyakh. sbornik vserossiiskoi (natsional'noi) nauchno-prakticheskoi konferentsii*. 2019; 433-437 p.
6. Lachuga YuF, Savchenko IV, Chekmarev PA, Shogenov YuKh. Vлагоakkumuliruyushchie tekhnologii, tekhnika dlya obrabotki pochvy i ispol'zovanie mineral'nykh udobreniy v ekstremal'nykh usloviyakh. [Moisture-accumulating technologies, equipment for soil treatment and the use of mineral fertilizers in extreme conditions]. *Ryazan'*. 2014; 246 p.
7. TMZ engines of 8481.10 group. Operation manual products of 8481.3902150 RE. [Internet]. [cited 2022, September 15]. Available from: https://www.paotmz.ru/content/files/production/katalogi_instrukcii_2018/rukovodstva/8481_3902150_re_2020_izd_1.pdf.
8. Sowing complex "KUZBASS" PK-6.1; PC-8.5; PC-9.7; PK-12.2. Instructions for assembly and operation. Catalog of parts and assembly units. [Internet]. [cited 2022, September 15]. Available from: <https://rostagro.com/wp-content/uploads/2021/10/instrukcija-kuzbass.pdf>.
9. [Internet]. Site "Handbook of a chemist of the 21st century". [cited 2022, September 15]. Available from: <https://www.chem21.info/>
10. Kut'kov GM. *Teoriya traktora i avtomobilya*. [Theory of the tractor and the car]. Moscow: Kolos. 1996; 287 p.
11. Skotnikov VA. *Osnovy teorii i rascheta traktora i avtomobilya*. [Fundamentals of the theory and calculation of the tractor and the car]. Moscow: Agropromizdat. 1986; 386 p.

Authors:

Gabitov Ildar Ismagilovich - Doctor of Technical sciences, Professor, gabitovildar@gmail.com

Mudarisov Salavat Gumerovich - Doctor of Technical sciences, Professor, sala-vam@gmail.com

Akhmetov Albert Foatovich – an engineer

Gainullin Ilshat Anvarovich – Ph.D. of Technical sciences, associate professor, gainullin_ia@mail.ru

Rakhimov Ildar Raisovich – Ph.D. of Technical sciences, associate professor, gainullin_ia@mail.ru

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia.