

ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ ЭНЕРГОСРЕДСТВ К АГРЕГАТИРОВАНИЮ В СОСТАВЕ МТА

А.П. Ляхов,

доцент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Т.А. Непарко,

зав. каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Н.Н. Быков,

доцент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

О.В. Жаврид,

студент агроинженерского факультета БГАТУ

В статье приведена методика оценки совместимости энергетических и силовых параметров колесных тракторов и сельскохозяйственных машин при обосновании рационального комплектования машинно-тракторных агрегатов, моделировании оптимальных режимов их работы в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, мощность, двигатель, нагрузочный режим, скоростной режим, энергетические параметры, силовые параметры, совместимость.

A methodology for assessing the compatibility of energy and power parameters of wheeled tractors and agricultural machines in substantiating the rational assembly of machine-tractor units, modeling their optimal modes of operation in the field is presented in the article.

Key words: machine-tractor unit, power, engine, load mode, speed mode, energy parameters, power parameters, compatibility.

Введение

Технологические операции в растениеводстве выполняются мобильными машинно-тракторными агрегатами (МТА), а источником энергии является двигатель трактора. Трактор проектируется как тяговая машина, способная создать необходимое тяговое усилие для преодоления сопротивления сельскохозяйственной машины, и для этого он должен обладать определенными тягово-сцепными свойствами.

В Белорусском государственном аграрном техническом университете, на кафедре эксплуатации машинно-тракторного парка, ведется исследовательская работа по разработке научно-практических рекомендаций по операционному использованию технических средств, в рамках которой производится оценка приспособленности энергетических средств к агрегатированию в составе машинно-тракторных агрегатов.

Основная часть

Одним из важнейших показателей тягово-сцепных свойств трактора является тяговый КПД, значение которого определяется по выражению

$$\eta_T = \eta_{MT} \eta_\delta \eta_f,$$

где η_{MT} – КПД, учитывающий потери мощности в трансмиссии;

$$\eta_\delta = 1 - \frac{\delta}{100} - \text{КПД, учитывающий потери мощности, связанные с буксованием движителей};$$

δ – буксование ведущих колес трактора, определяющее потери поступательной скорости агрегата, %;

η_f – КПД, учитывающий потери мощности при качении колес трактора.

В целом η_T показывает совершенство конструкции трактора, его технический уровень и учитывает долю мощности двигателя, связанной с ее производительными затратами.

По литературным данным [1-5], наибольшие значения тяговых КПД колесных тракторов находятся в пределах 0,60-0,70 на плотных почвах и 0,45-0,55 – на рыхлых. Мощность двигателя трактора при движении МТА расходуется на преодоление сопротивления передвижению трактора и мощности, затрачиваемой сельскохозяйственной машиной на выполнение технологической операции.

В общем случае необходимая мощность двигателя при движении тягового МТА равна

$$N_e = \frac{\left[R_M + G_T \left(f_T + \frac{i}{100} \right) \right] v_p}{\eta_{MT} \eta_\delta}, \quad (1)$$

где R_M – тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН;

G_T – эксплуатационный вес трактора, кН;

f_T – коэффициент сопротивления качению трактора на данном агрофоне;

i – уклон местности, %;

v_p – действительная скорость движения машинно-тракторного агрегата, м/с.

При работе тягово-приводного агрегата с активными рабочими органами мощность двигателя затрачивается на их привод через вал отбора мощности (ВОМ)

$$N_e = \frac{\left[R_m + G_T \left(f_T + \frac{i}{100} \right) \right] v_p}{\eta_{мг} \eta_{\delta}} + \frac{N_{\text{ВОМ}}}{\eta_{\text{ВОМ}}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{ВОМ}}$ – мощность, потребляемая на привод активных рабочих органов сельскохозяйственных машин и подводимая через ВОМ трактора, кВт;

$\eta_{\text{ВОМ}}$ – КПД привода ВОМ.

При комплектовании МТА следует учитывать, что допустимое значение используемой мощности двигателя при эксплуатации должно удовлетворять условию

$$N_e \leq N_{e.n} \eta_{N_e},$$

где $N_{e.n}$ – номинальная мощность двигателя, кВт;

η_{N_e} – допустимый коэффициент загрузки двигателя по мощности ($\eta_{N_e} = 0,80-0,95$).

С точки зрения агрегатирования, рациональный МТА должен соответствовать определенным требованиям:

- обеспечение норм агротехники при высоком качестве работ;
- достижение наивысшей производительности и минимального расхода топлива;
- обеспечение почвосберегающих технологий и соблюдение экологических требований;
- обеспечение удобного и безопасного обслуживания рабочего процесса.

При работе агрегата в оптимальном режиме необходимо учитывать непрерывное изменение характера нагрузки в процессе выполнения операции, что отражается на нестабильности эксплуатационных показателей агрегата.

Чтобы учесть случайные факторы для обоснования оптимальных параметров и режимов работы МТА, необходимо установить их вероятностно-стохастические характеристики [6, 7].

Как следует из уравнений (1) и (2), на потребляемую мощность двигателя оказывает влияние сопротивление рабочей машины R_m , которое в реальных условиях эксплуатации имеет случайный характер в вероятностно-стохастическом смысле. Однако в большинстве практических расчетов используются средние детерминированные значения показателей, подставляемых в расчетную формулу. Так, для почвообрабатывающих машин, культиваторов для междурядной обработки, картофеле- и корнеуборочных машин и др., среднее расчетное сопротивление определяется по формуле

$$R_m = k_0 b \pm G_m \frac{i}{100}, \quad (3)$$

где k_0 – удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м;

b – конструктивная ширина захвата сельскохозяйственной машины, м;

G_m – эксплуатационный вес машины, кН.

В формуле (3) удельное тяговое сопротивление сельхозмашины определено при скорости движения 5 км/ч. При этом известно [4, 5], что удельное тяговое сопротивление увеличивается с ростом скорости по следующей зависимости:

$$k_{0v} = k_0 \left[1 + (v_p - v_0) \frac{\Delta c}{100} \right],$$

где v_0 – скорость движения, которой соответствуют значения k_0 (обычно принимается равной 5 км/ч = 1,4 м/с), м/с;

Δc – темп нарастания удельного тягового сопротивления в зависимости от скорости движения агрегата, %.

Основными факторами, определяющими оптимизацию параметров МТА по критерию эффективности труда, являются ширина захвата и рабочая скорость. Оптимальная скорость движения агрегата при постоянной ширине захвата определяет максимальную производительность. Эффективность в этом случае повышается при оптимальной загрузке двигателя и при выполнении операции с рекомендуемой по агротехнике скоростью движения МТА.

Улучшение показателей работы агрегата может быть достигнуто в результате улучшения рабочего процесса машин (достигается за счет совершенствования отдельных компонентов или сборочных единиц МТА), оптимизации параметров и режимов работы агрегата в целом, совершенствования организации работы агрегата.

Следует также учитывать, что методики проведения технико-эксплуатационных испытаний двигателей на стендах и тяговых испытаний тракторов не учитывают влияние таких факторов, как нестабильность тяговой нагрузки в реальных условиях эксплуатации. Колебания тяговой нагрузки трактора в зависимости от выполняемой сельскохозяйственной операции и физико-механических показателей почвенного фона приводят к недоиспользованию мощности двигателя до 15 % по сравнению с данными испытаний на стенде. Применение на тракторе устройств, позволяющих улучшить их тягово-сцепные свойства (силовые, позиционные и смешанное регулирование), также приводит к повышению производительности и улучшению топливной экономичности. Однако улучшения этих динамических и экономических показателей трактора за счет прогрессивных элементов тяговых испытаний не учитываются методикой.

Прогрессивным направлением развития сельскохозяйственной техники является создание и использование комбинированных агрегатов. Учитывая, что мощность является потенциалом повышения производительности, то реальные резервы связаны с изысканием путей использования мощности в МТА. Современные колесные тракторы конструктивно могут передавать потоки мощности по следующим каналам:

- через ведущие колеса трактора и развиваемого ими тягового усилия;
- через валы отбора мощности;

– используя гидравлические системы (или другие) дистанционной передачи мощности;

– комбинируемо, используя несколько каналов.

Важным узлом трактора, определяющим его возможность агрегатирования с сельскохозяйственными машинами, требующими отбора мощности, является ВОМ. Для большинства универсально-пропашных тракторов «БЕЛАРУС» он выполнен независимым и синхронным.

Крутящий момент на ВОМ (кН·м) определяется величиной мощности на привод рабочих органов и рассчитывается по формуле

$$M_B = \frac{9,74 N_{\text{ВОМ}}}{n},$$

где n – частота вращения ВОМ, мин⁻¹.

Во избежание динамических перегрузок ВОМ необходимо, чтобы момент инерции вращающихся масс машины, приведенный к хвостовику, не превышал 18 Н·м·с² при 540 мин⁻¹ и 5 Н·м·с² при 1000 мин⁻¹. Машины с повышенным моментом инерции вращающихся масс должны снабжаться обгонной муфтой, исключающей поломки привода в момент выключения ВОМ.

В случае сложной навески машин на трактор и отсутствия экспериментальных данных выполняются проверочные расчеты нагрузок, действующих на остои и другие элементы трактора, по следующим формулам [1]:

– нагруженность для заднего навесного устройства равна

$$P_{\text{пз}} = m_3 g \frac{l_n + \Delta H}{l_b \cdot 10^3},$$

– для переднего навесного устройства

$$P_{\text{пп}} = m_n g \frac{l_n + \Delta h}{l_b \cdot 10^3},$$

где $P_{\text{пз}}$, $P_{\text{пп}}$ – приведенные нагрузки на вылете 610 мм от оси подвеса, соответственно, на задней и передней навесках, кН;

m_3 , m_n – массы машины на задней и передней навесках, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

l_n , l_b – изменяющееся значение расстояний, соответственно, от проекций оси подвеса и центра массы навешенной машины на горизонталь до оси задних колес, мм.

ΔH , Δh – горизонтальное расстояние от центра массы навесной машины до оси подвеса, мм;

Для полунавесных машин, присоединяемых к заднему навесному устройству, при длине продольных тяг 885 мм, приведенная нагрузка на вылете 610 мм от оси подвеса равна

$$P_{\text{пз}} = \frac{P_o}{1,7},$$

где P_o – нагрузка на оси подвеса от полунавесной машины, кН.

Давление рабочей жидкости, необходимое для подъема навесной машины, определяется из уравнения

$$P_{\text{ц}} = \frac{10^2 P_{\text{пз}} i_o}{S},$$

где $P_{\text{ц}}$ – давление в нагнетательной магистрали, МПа;

i_o – передаточное число навесного устройства в верхнем положении на вылете 610 мм от оси подвеса;

S – площадь поршня цилиндра, см²;

Давление масла для перевода полунавесной машины в транспортное положение

$$P_{\text{ц}} = \frac{10^2 P_o i_1}{S},$$

где i_1 – передаточное число навесного устройства в верхнем положении оси подвеса.

Величина объема рабочей жидкости (дм³), отбираемой цилиндром агрегируемой машины от гидровыводов трактора

$$V_{\text{ц}} = 8 \cdot 10^{-7} D^2 l,$$

где D – диаметр поршня работающего цилиндра, мм;

l – ход поршня, мм.

В современном тракторостроении, при принятой классификации тракторов по тяговым классам, привело к тому, что при росте энергонасыщенности тракторов, тяговые возможности в каждом классе остаются практически неизменными. В результате, при выполнении определенных операций одномашиными агрегатами, появляется избыточная мощность, которая не может быть использована для увеличения скорости или ширины захвата машины, так как повышение скорости агрегатов в технологическом плане – процесс медленный. Поэтому необходимо изыскивать перспективные направления по использованию мощности энергонасыщенных тракторов и повышению производительности труда. Создание комбинированных агрегатов в составе одной машины связано с конструктивными и технологическими проблемами. В ряде случаев целесообразно выполнять некоторые работы агрегатами в составе однооперационных машин. Это не исключает использование наряду с ними и комбинированных агрегатов, что находит подтверждение в мировой практике.

Появление новых и совершенствование конструкций уже существующих машин позволяет применять различные технологические решения при использовании однооперационных машин, таких, как плуг, каток, выравнивающий брус, зубовая борона и другие. Существует опыт использования двух- и трехкорпусных плугов с фрезами для разделки пластов дернины и дробления комков почвы. Практиковались возможности использования культиваторов,

борон и катков. Трудности заключались в отработке конструкции дополнительных навесных систем для машин, в частности, передней, при фронтальном расположении машин в агрегате. Навеска машины в этом случае приводит к ее пространственному и силовому воздействию на трактор. При этом отличительной особенностью является то, что на машину действует толкающее усилие, в отличие от тянущего усилия на задней навеске. Это приводит к выходу машины из равновесия и ее смещению в результате сил, действующих на рабочие органы, или управляющих действий тракториста. Дополнительно фронтальное расположение машины под воздействием толкающего усилия приводит к постоянному стремлению к заглоблению. Поэтому для корректировки положения машины и направления движения, конструкция передней навески должна иметь достаточную жесткость, а прочность всех деталей и тяг должна исключать их изгиб или поломку. Большое значение имеет нагрузка на передний мост трактора и тяговое усилие, которое он развивает. С целью исключения отмеченных негативных явлений изыскиваются возможные конструктивные решения, среди которых можно отметить следующие:

- разработка передней навески с вертикальным (лифтовым) перемещением машины относительно трактора;
- создание конструкции передней навески с тянущим усилием взамен толкающего;
- применение четырехточечной навески машин взамен трехточечной.

Использование передней навески создает проблемы в конструкции гидравлической системы управления с целью поддержания заданной глубины хода рабочих органов, обеспечения грузоподъемности шин и самой навесной системы, прочности корпусных деталей. Высокие требования предъявляются к тягово-сцепным свойствам трактора и оптимальному перераспределению веса на колеса трактора.

В ходе проведенных исследований [1-3] по использованию комбинированных агрегатов с однооперационными машинами получены положительные результаты, что не исключает проведения дальнейших поисковых и научных исследований в этом направлении.

Заключение

1. Современный трактор является частью динамической системы МТА с учетом его внешних связей: тягового сопротивления сельхозмашин, реакций почвы на колесах, сцепных свойств ведущих колес, силовых факторов, действующих в элементах соединения в агрегате. На этом уровне определяются и оптимизиру-

ются основные эксплуатационные факторы и параметры трактора и оцениваются его возможности агрегатирования с сельскохозяйственными машинами.

2. В основу обоснования положен системный метод, который позволяет выявить пути повышения производительности труда и определить требования к перспективным конструкциям тракторов и сельхозмашин.

3. В мировом тракторостроении сохраняется тенденция повышения единичной мощности тракторных двигателей. Повышение энергонасыщенности позволяет трактору двигаться с большими тяговыми нагрузками в зоне высоких рабочих скоростей, а также использовать значительную часть мощности (до 80 %) на привод активных рабочих органов машин через ВОМ трактора.

4. Для определения возможностей агрегатирования трактора и сельхозмашины необходимо соответствие параметров основных элементов и систем, таких как навесная система, гидросистема, ВОМ, тормозная система и др. с возможными диапазонами их регулировок и настроек.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амельченко, П.А. Агрегатирование тракторов «БЕЛАРУС»: учеб. пос. / П.А. Амельченко, Б.Я. Шнейсер, Н.Г. Шабуня. – Минск: Ураджай, 1993. – С. 181-183.
2. Ксеневич, И.П. Проектирование универсально-пропашных тракторов / И.П. Ксеневич, А.С. Солонский, С.М. Войчинский. – Минск: Наука и техника, 1980. – 320 с.
3. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства / В.В. Кацыгин [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1982. – 272 с.
4. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства: учеб. / А.В. Новиков [и др.]; под общ. ред. А.В. Новикова. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2012. – 512 с.
5. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства: практикум / Т.А. Непарко [и др.]; под общ. ред. Т.А. Непарко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 216 с.
6. Непарко, Т.А. Моделирование взаимодействия технических средств при производстве механизированных работ / Т.А. Непарко // Агропанорама. – 2004. – № 3. – С. 14-16.
7. Непарко, Т.А. Прогнозирование рационального состава машинно-тракторных агрегатов / Т.А. Непарко // Агропанорама. – 2004. – № 2. – С. 30-36.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.03.2022