

УДК 631.31.001.5

САМОРОДОВ В.Б., д.т.н., проф., НТУ «ХПИ»
ОСТРОВЕРХ А.О., аспірант, НТУ «ХПИ»

РАЗДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И КПД ТРАКТОРОВ НА ТЯГОВЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Представлена методика розподілу втрат потужності в колісних тракторах, та розглянуто вплив швидкісних складових втрат колісних тракторів на класичні потенційні характеристики експлуатаційної потужності й тягового ККД.

Введение. В последние годы идет активное обсуждение взаимосвязей тягово-скоростных, энергетических характеристик колесных и гусеничных тракторов и основных технико-экономических показателей машинотракторного агрегата (МТА) в целом. Решение указанной проблемы направлено на повышение производительности МТА, при одновременном учете потерь в трансмиссии, потерь на буксование, перекачивание и скоростной составляющей силы сопротивления на плуге. Особую актуальность эта задача приобретает в условиях постоянного форсирования мощности тракторного двигателя.

Анализ последних достижений и публикаций. Анализ взаимосвязей номинальной эксплуатационной мощности двигателя, КПД, веса трактора, потерь в трансмиссии, потерь на буксование, перекачивание трактора и скоростной составляющей потерь при обработке почвы в процессе тяговых технологий является актуальными, особенно с учетом постоянной тенденции к росту мощности тракторных двигателей. Постановка и решение подобных задач рассматривалась авторами в работах [1–7].

Цель и постановка задачи. Целью работы является разделение потерь мощности в колесных тракторах при выполнении основных тяговых сельскохозяйственных операций (вспашки, культивации, боронования), и анализ влияния на потери и КПД тракторов скоростных потерь при взаимодействии навесных орудий с почвой.

Мощностной баланс трактора описывается уравнением, показывающем как расходуется во время работы мощность, развиваемая тракторным двигателем. Так мощность двигателя должна быть равна сумме мощностей, затрачиваемых на преодоление различных сопротивлений, возникающих при движении: это мощность затрачиваемая на преодоление трения в трансмиссии; затраты на буксование, которое оказывает существенное влияние на реальную скорость МТА; затраты преодоления трения качения; тяговая мощность; затраты на преодоление трения в ВОМ; потери в гидросистеме; и т.п. Необходимые тяговые показатели трактора могут быть достигнуты и эффективно использованы только в том случае, если будут правильно выбраны основные его параметры: масса технологическая, скорость движения и мощность двигателя.

Для оценки эффективности тракторов воспользуемся теорией трактора [3,8,9]. Мощностной баланс машинотракторного агрегата представляется в виде:

$$N = N_T + N_f + N_{kp} + N_\delta, \quad (1)$$

где N – номинальная мощность двигателя;

$N_T, N_f, N_{kp}, N_\delta$ – соответственно потери мощности в трансмиссии, на перекачивание трактора, мощность на крюке и потери на буксование трактора.

Потери мощности в трансмиссии:

$$N_T = N(1 - \eta \cdot k_{зд}), \quad (2)$$

где η – коэффициент полезного действия трансмиссии; $k_{зд}$ – коэффициент загрузки двигателя.

Потери мощности на перекачивание трактора:

$$N_f = m \cdot g \cdot f \cdot V, \quad (3)$$

где m – масса трактора; f – коэффициент сопротивления перекачиванию; V – действительная скорость трактора; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

С учетом буксования:

$$V = (1 - \delta)V_T, \quad (4)$$

здесь δ – безразмерный коэффициент буксования; V_T – теоретическая скорость трактора при отсутствии буксования.

Эффективная мощность на крюке определяется соотношением [5, 6]

$$N_{kp} = P_{kp}[1 + \Theta(V - V^*)\Delta]V, \quad (5)$$

где P_{kp} – эффективная крюковая нагрузка; $\Theta(V - V^*)\Delta$ – слагаемое, учитывающее увеличение сопротивления движению плуга, которое в соответствии с ростом скорости трактора V свыше $V^* = 6 \text{ км/ч}$ увеличивается на 5% ($\Delta = 0,05$) на каждый километр скорости до 9 км/ч и на 7% – с 9 до 12 км/ч [10]; Θ – коэффициент учета скоростных потерь:

$$\Theta = \begin{cases} 0, & \text{если } V \in [0; V^*), \\ 1, & \text{если } V \in [V^*; V_{\max}]. \end{cases} \quad (6)$$

Полная сила тяги P_T , развиваемая трактором:

$$P_T = m \cdot g \cdot f + P_{kp}[1 + \Theta(V - V^*)\Delta]. \quad (7)$$

Тогда потери мощности на буксование:

$$N_\delta = P_T \cdot V_T \cdot \delta = \{m \cdot g \cdot f + P_{kp}[1 + \Theta(V - V^*)\Delta]\}V \frac{\delta}{1 - \delta}. \quad (8)$$

С учетом соотношений (1) – (8) уравнение баланса мощности представим в виде:

$$N \cdot \eta \cdot k_{зд} = m \cdot g \cdot f \cdot V + P_{кр} [1 + \Theta(V - V^*) \Delta] \cdot V + \{m \cdot g \cdot f + P_{кр} [1 + \Theta(V - V^*) \Delta]\} V \frac{\delta}{1 - \delta}. \quad (9)$$

После преобразований уравнение баланса мощности примет вид:

$$(1 - \delta) N \cdot \eta \cdot k_{зд} = \{m \cdot g \cdot f + P_{кр} [1 + \Theta(V - V^*) \Delta]\} V. \quad (10)$$

Полная крюковая нагрузка определяется коэффициентом сцепления φ :

$$P_{кр} [1 + \Theta(V - V^*) \Delta] = m \cdot g \cdot \varphi = m \cdot g \cdot (\alpha - \beta \cdot e^{-\lambda \delta}). \quad (11)$$

Потенциальная зависимость мощности на ведущем колесе от $P_{кр}$ без учета скоростных потерь имеет вид:

$$N(P_{кр}) = N - N_T - N_\delta - N_f. \quad (12)$$

Классическое определение КПД с учетом потерь мощности в трансмиссии N_T , потерь мощности на буксование N_δ , и потерь на перекачивание N_f (без учета скоростной составляющей потерь)

$$\eta = 1 - \frac{N_T + N_f + N_\delta}{N}. \quad (13)$$

Из уравнений (10) и (11) следует:

$$V = \frac{N \cdot \eta \cdot k_{зд}}{m \cdot g} \cdot \frac{1 - \delta_i}{\varphi + f} = \frac{N \cdot \eta \cdot k_{зд}}{m \cdot g} \cdot \frac{1 - \delta_i}{\alpha - \beta \cdot e^{-\lambda \delta_i} + f}; \quad (14)$$

$$P_{кр_i}^{\delta\varphi} = m \cdot g \cdot \frac{\varphi}{1 + \Theta(V_i - V^*) \Delta_i} = m \cdot g \cdot \frac{\alpha - \beta \cdot e^{-\lambda \delta_i}}{1 + \Theta(V_i - V^*) \Delta_i} = B \cdot h_i \cdot k. \quad (15)$$

$P_{кр_i}^{\delta\varphi}$ - крюковая эффективная нагрузка без учета скоростных потерь; B - ширина захвата рабочего орудия; h - глубина вспашки; k - коэффициент удельного сопротивления плуга, i - номер тягового режима; $\Delta_i = 1, 2, 3$ соответственно для боронования, культивации, вспашки ($\Delta_1 = 0,015$, $\Delta_2 = 0,03$, $\Delta_3 = 0,06$); $V^* = 1,67$ м/с [10, 11].

В общем случае для мощности, на ведущих колесах как функции $P_{кр_i}$ с учетом скоростных потерь имеем:

$$N_{кр_i} = \frac{P_{кр_i} \cdot V(\delta)}{1 + \Theta(V_i - V^*) \Delta_i}. \quad (16)$$

Из уравнения (15) определим буксование:

$$\delta_i = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{\beta}{\alpha - \frac{B \cdot h_i \cdot k \cdot (1 + \Theta(V_i - V^*) \Delta_i)}{m \cdot g}} \right) \quad (17)$$

Для анализа и декомпозиции разделения потерь, баланса мощности и КПД колесных тракторов при выполнении основных сельскохозяйственных операций, использованы следующие трактора: ХТЗ-17221 весом 9 тонн, мощностью двигателя 125 кВт; МТЗ-1221 весом 5 тонн, мощностью двигателя 96 кВт; а также колесный трактор с мощность двигателя 147 кВт(220 л.с.) и весом 9,3 тонны.

По результатам расчета в среде MathCAD были построены графики потерь и баланса мощности сравниваемых колесных тракторов (рис. 1-3), и их КПД (рис. 4-6). На рисунках (1 - 6): 1 – мощность двигателя, 2 – потеря мощности в трансмиссии, 3 – потеря мощности на буксование, 4 – потенциальная зависимость мощности на ведущем колесе от P_{kp} , 5, 6, 7 – крюковая мощность соответственно на бороновании, на культивации, на пахоте с учетом скоростных потерь, 8 – потери на перекачивание, 9 – скорость, 10 – буксование.

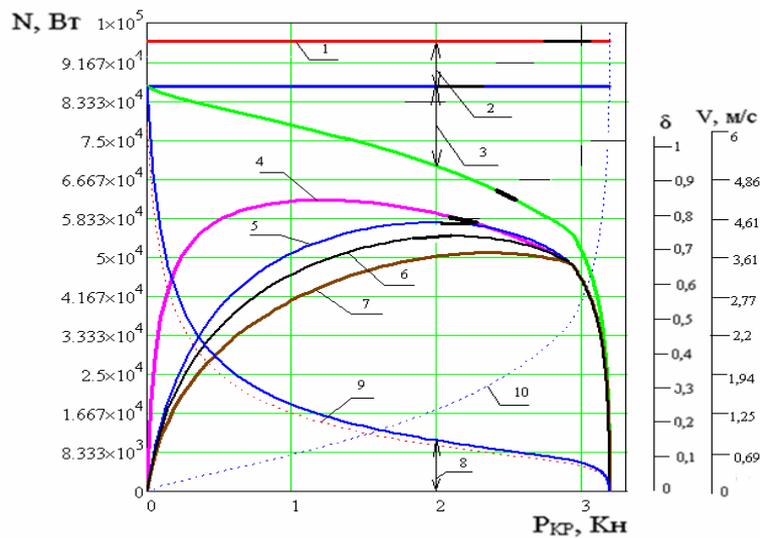


Рисунок 1 – Потери и баланс мощности трактора МТЗ-1221

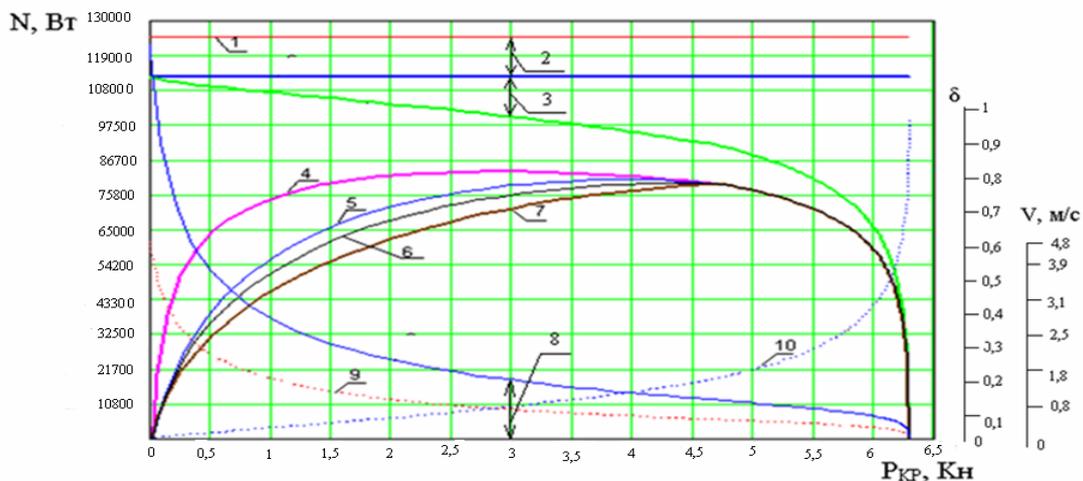


Рисунок 2 – Потери и баланс мощности трактора ХТЗ-17221

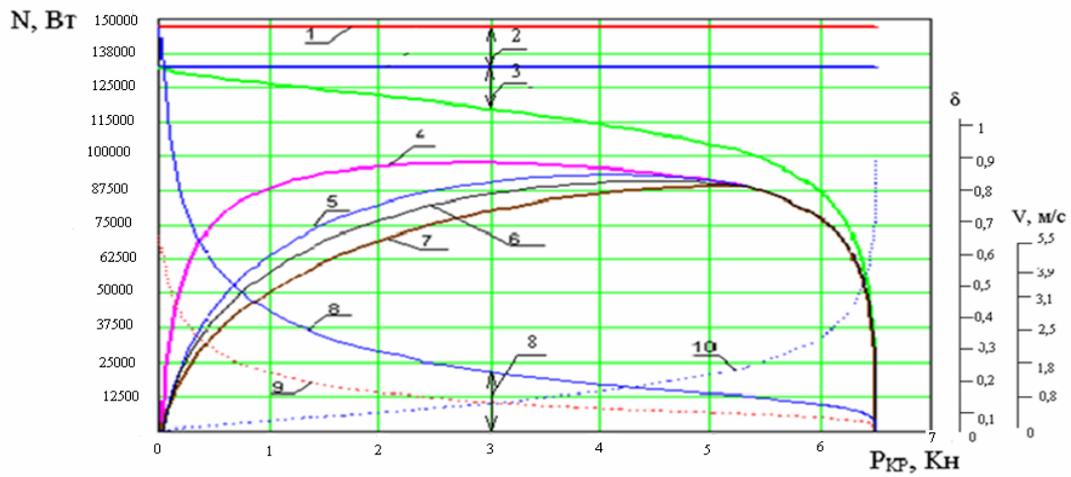


Рисунок 3 – Потери и баланс мощности колесного трактора с мощностью двигателя 147кВт (220 л.с.)

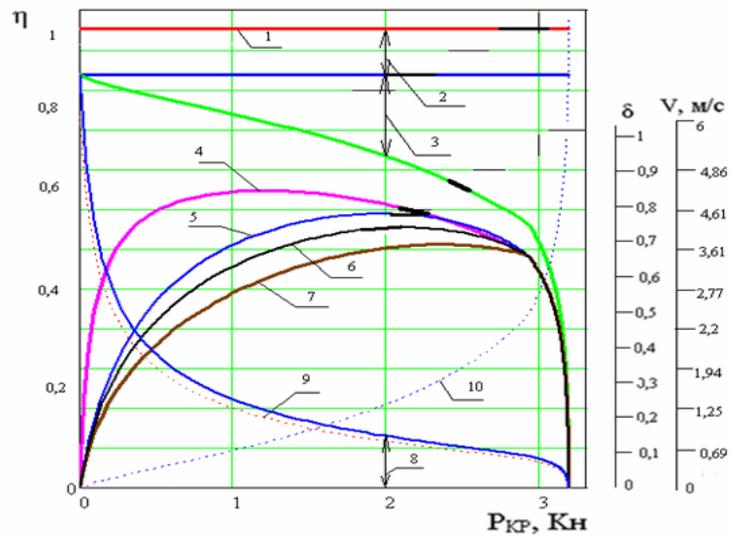


Рисунок 4 – КПД трактора МТЗ-1221

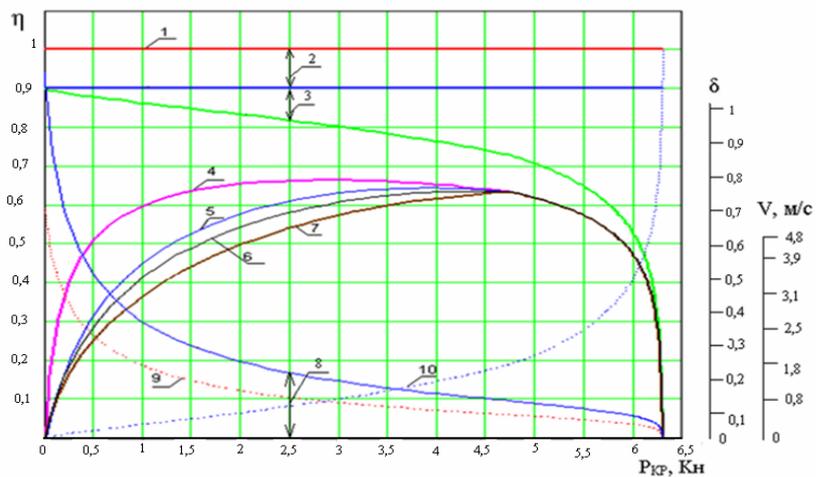


Рисунок 5 – КПД трактора ХТЗ-17221

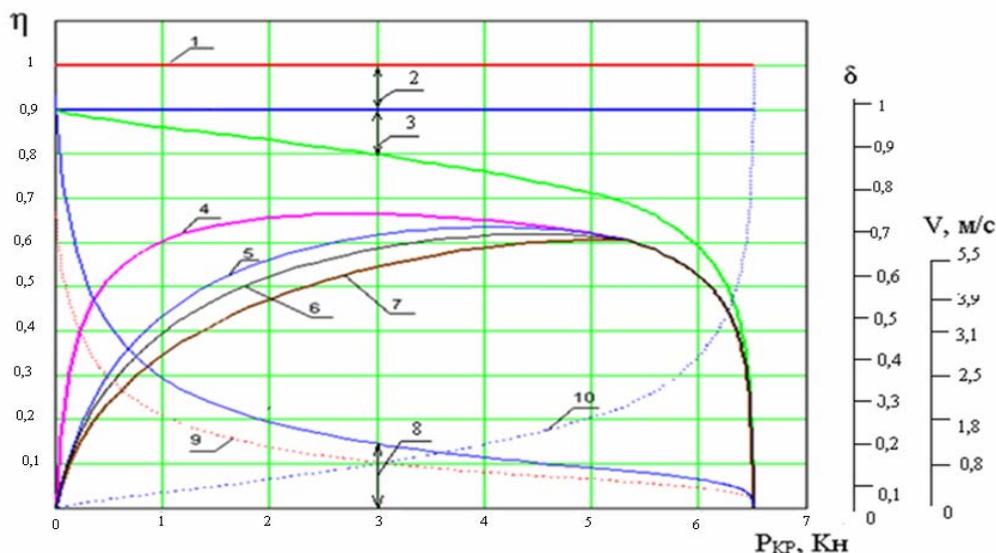


Рисунок 6 – КПД колесного трактора с мощностью двигателя 147кВт (220 л.с.)

Выводы

1) Представлена методика разделения потерь мощности в колесных тракторах, при выполнении основных тяговых сельскохозяйственных операций. 2) Скоростные составляющие потерь при взаимодействии навесных орудий с почвой существенно влияет на классические потенциальные характеристики эксплуатационной мощности и тягового КПД колесных тракторов, уменьшая их максимальные значения от 5 до 20%, соответственно для технологических операций боронование (5-7%), культивации (до 10%), пахоте (15-20%), и существенно сдвигают их максимальные значения на указанных технологических операциях (до 30%) в сторону увеличения крюковой нагрузки, что сопровождается значительным повышением буксования до 70%. 3) Обращает на себя внимание более высокий тяговый КПД примерно на 10-12% выше у тракторов ХТЗ по отношению к МТЗ-1221.

Список литературы: 1. *Рославцев А.В.* / Теория движения тягово-транспортных средств. Учебное пособие. – М.: УМЦ «ТРИАДА», 2003. – 172 с. 2. *Кутьков Г.М.* / Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. – М.: Колос, 2004. – 504 с.: илл. 3. *Тракторы: Теория / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.;* Под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с. 4. *Самсонов В.А.* / Оценка эффективности и сравнение тракторов при проектировании и модернизации. Тракторы и сельскохозяйственные машины. №3 М.: 2006. – С.11-16. 5. *Коваль А.А., Самородов В.Б.* / Влияние составляющих крюковой нагрузки на основные технико-экономические показатели колесного трактора на пахоте. Тракторы и сельскохозяйственные машины. №3 М.:2007.– С.15-17. 6. *Самородов В.Б., Лебедев А.Т. Митропан Д.М., Сергиенко Н.Е.* Рациональное агрегатирование тракторов на вспашке // Тракторы и сельскохозяйственные машины. №11 М.: 2004. – С. 43-55. 7. *Лебедев А.Т., Лебедев С.А.* Оптимизация скорости движения тракторного агрегата // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – Полтава: ПДАА. – 2006 р. – №4(43). – С. 66-71. 8. *Львов Е.Д.* Теория трактора. М.: Машгиз, 1960. - 388 с. 9. *Кутьков Г.М.* Тяговая динамика тракторов. М.: Машиностроение, 1980.-215с. 10. Методические указания по экономической оценке новой тракторной технике. Раздел 3. Нормативные материалы для определения экономического эффекта тракторов и сельскохозяйственных машин с. 140. НАТИ. М: 1982. 11. *Мелешко М.Г., Бобровник А.И., Гуськов В.В. и др.* Сомнительное сравнение тракторов // Тракторы и сельскохозяйственные машины №6 М.: 2005. – С. 33-34.