

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА ТРАКТОРА  
С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ**

**DETERMINATION OF FUEL CONSUMPTION OF A TRACTOR  
WITH AN ELECTROMECHANICAL POWER TRAIN**

**Ч. И. Жданович**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., **Н. В. Калинин**<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь

<sup>1</sup>ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной  
академии наук Беларуси», г. Минск, Беларусь,

СН. Zhdanovich<sup>1</sup>, Ph.D. in Engineering, Associate professor, N. Kalinin<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Belarusian national technical University, Minsk, Belarus,

<sup>2</sup>State Scientific Institution "Joint Institute of Mechanical Engineering  
of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Belarus

*Предложена методика для определения расхода топлива трактора с электромеханической трансмиссией и выполнен расчет для различных передаточных отношений механической части трансмиссии трактора.*

*A method is proposed for determining the fuel rate of a tractor with an electromechanical power train, and a calculation is made for various gear ratios of the mechanical part of the tractor power train.*

*Ключевые слова: удельный расход топлива, расход топлива, сила тяги на крюке, тяговый КПД трактора.*

*Key words: specific fuel consumption, fuel rate, drawbar pull, traction efficiency of a tractor.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Для трактора, оборудованного тяговым асинхронным генератором и тяговым асинхронным электродвигателем (ТАД), методика определения силы тяги на крюке приведена в [1], тягового КПД – в [2]. Дополним методику [1] и [2] таким образом, чтобы можно было определить расход топлива трактора, после чего определим расход топлива трактора класса 5.

## ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА

Как и в [1], [2], для каждой передачи расчет выполняем во всем диапазоне частот регулирования ТАД  $f_1$ , выбирая из него отдельные частоты  $f_{1,i}$  либо взяв  $f_{1,i}$  с определенным шагом изменения частоты  $\Delta f$  (например, 1 Гц). По [1] при каждой частоте  $f_{1,i}$  определяются: сила тяги на крюке  $F_{кр,i}$ , действительная скорость движения трактора  $v_{д,i}$  и буксование; тяговый КПД трактора  $\eta_{т,i}$  определяется согласно [2]. При этом учитываются ограничения по допустимому буксованию, допустимому режиму работы ТАД и максимальной мощности ДВС  $P_{e,max}$ , которая может быть передана в трансмиссию. Далее определяется мощность ДВС  $P_{e,i}$ , которую ДВС должен будет передать в трансмиссию, чтобы развить  $F_{кр,i}$  и  $v_{д,i}$ .

В электромеханической трансмиссии коленчатый вал ДВС не связан механически с колесами, поэтому можно произвольно изменять его частоту вращения  $n_e$  в соответствии с требуемой мощностью ДВС  $P_e$  без привязки к частоте вращения колес трактора. В таком случае если  $P_{e,i} = P_{e,max}$ , то обороты ДВС  $n_{e,i}$  будут соответствовать оборотам ДВС  $n_{ep}$  при максимальной мощности, удельный расход топлива ДВС  $g_{e,i}$  будет соответствовать удельному расходу топлива  $g_{ep}$  при  $P_{e,max}$  и  $n_{ep}$ . Если  $P_{e,i} < P_{e,max}$ , то  $n_{e,i} \neq n_{ep}$  и  $g_{e,i} \neq g_{ep}$ . Для ДВС должен быть задан закон изменения  $n_e(P_e)$  таким образом, чтобы обеспечить минимальный удельный расход топлива  $g_e$ . Чтобы определить, как изменять  $n_e$  в зависимости от  $P_e$  исходя из обеспечения минимально возможного расхода топлива  $g_e$  при требуемой мощности  $P_e$ , можно использовать экспериментальные скоростные характеристики работы ДВС на частичных режимах или для большей точности снять такие характеристики при работе ДВС с используемым тяговым генератором. Зависимость  $n_e(P_e)$  и зависимость  $g_e(P_e)$  либо  $g_e(n_e)$  можно представить таблицей, либо аппроксимировать функцией.

Согласно [3], на определенном участке характеристики ТАД может потребить больше мощности, чем может получить от ДВС. Если на тракторе установлены накопители энергии, то такой режим работы ТАД возможен, а мощность, передаваемая в трансмиссию, будет равна сумме мощностей  $P_{e,max}$  и  $P_{доп}$ , где  $P_{доп}$  – мощность, передаваемая в трансмиссию от накопителей энергии. Тогда  $P_{e,i} = P_{e,max}$ ,  $n_{e,i} = n_{ep}$  и  $g_{e,i} = g_{ep}$ .

Зная удельный расход топлива  $g_{e,i}$ , г/(кВт·ч), и определив тяговый КПД трактора  $\eta_{T,i}$  по [2], можно найти тяговый удельный расход топлива  $g_{кр,i}$  по [4, с. 24]:

$$g_{кр,i} = g_{e,i} / \eta_{T,i}.$$

Мощность на крюке  $P_{кр,i}$ , кВт, можно определить по [5, с. 144], часовой расход топлива  $G_{T,i}$ , кг/ч – по [4, с. 65]:

$$P_{кр,i} = P_{e,i} \cdot \eta_{T,i}, \quad G_{T,i} = g_{e,i} \cdot P_{e,i} \cdot 10^{-3}.$$

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА

Расчет выполним для трактора 5-го класса с ТАД и генератором, аналогичными [6, с. 82], при  $P_{\text{емакс}} = 190$  кВт, как и в [1], [2].

Согласно [1], [2], при расчете на всем диапазоне регулирования ТАД для каждого передаточного отношения трактора на графиках зависимости мощности  $P_e$  от силы тяги на крюке  $F_{кр}$  [2, рисунок 5], тягового КПД  $\eta_T$  от  $F_{кр}$  [2, рисунки 3, 4] и  $F_{кр}$ , соответствующей действительной скорости  $v_d$  движения трактора [1, рисунки 3, 9], можно выделить участок  $DC$  ( $D'C'$ ), на котором  $P_e = P_{\text{емакс}}$ , точка  $D$  соответствует максимальной скорости трактора для выбранной передачи, точка  $C$  – скорости, для которой буксование равно заданному предельно допустимому. На участке  $DC$  ( $D'C'$ ) от точки  $D$  ( $D'$ ) до точки  $C$  ( $C'$ )  $F_{кр}$  возрастает, а скорость – уменьшается. На других участках графиков  $P_e < P_{\text{емакс}}$  ([2, рисунок 5]) – необходимо ограничивать мощность ДВС, чтобы не превысить допустимое буксование; при этом  $\eta_T$  и  $v_d$  ниже, чем на участке  $DC$  ( $D'C'$ ), а плуги, агрегатируемые с данным трактором, позволяют трактору работать на участке  $DC$  ( $D'C'$ ). По этим причинам оцениваем тяговые качества трактора именно на участке  $DC$  ( $D'C'$ ).

На участке  $DC$  ( $D'C'$ )  $P_e = P_{\text{емакс}}$ , поэтому  $n_e = n_{ep}$ ,  $g_e = g_{ep}$ . График  $g_{кр}$  представим на рисунке 1 для передаточных отношений механической части трансмиссии, равных 71, 83, 103 и 140.

В [2] и [1] рассматривается также случай, когда при тех же ТАД и генераторе  $P_{\text{емакс}}$  несколько выше (220 кВт, а не 190). В этом случае при режиме работы ТАД со скольжением, не превышающем номинальное, на участке  $DC$   $P_e$  будет несколько меньше  $P_{\text{емакс}}$  [2,

рисунок 6] и, соответственно, немного изменятся значения  $n_e$  и  $g_e$  – при  $P_e < P_{e\max}$   $n_e \neq n_{ep}$  и  $g_e \neq g_{ep}$ . То же будет, если взять не более мощный ДВС, а менее мощный тяговый электродвигатель.

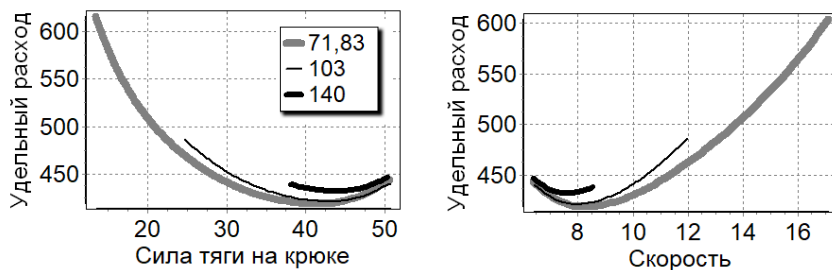


Рисунок 1 – Зависимость  $g_{кр}$ , г/(кВт·ч), от  $F_{кр}$ , кН, и  $v_{д}$ , км/ч, для передаточных отношений механической части трансмиссии трактора, равных 71,83, 103 и 140

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена методика для определения расхода топлива трактора, оборудованного электромеханической трансмиссией с тяговыми асинхронными генератором и двигателем, и проведен по ней расчет для трактора 5-го класса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жданович, Ч. И., Калинин, Н. В. Реализация тяговых возможностей трактора с электромеханической трансмиссией / Ч. И. Жданович, Н. В. Калинин // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2021. – № 1. – С. 5–14.
2. Жданович, Ч. И., Калинин, Н. В. Тяговый КПД трактора с электромеханической трансмиссией / Ч. И. Жданович, Н. В. Калинин // *Актуальные вопросы машиностроения: сб. научн. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С. Н. Поддубко [и др.]*. – 2020. – Вып. 9. – С.131–135
3. Жданович, Ч. И., Калинин, Н. В. Анализ эффективности использования накопителей энергии на тракторе с электромеханической трансмиссией / Ч. И. Жданович, Н. В. Калинин // *Наука и техника*. – 2017. – № 1. – С. 73–82.

4. Анилович, В. Я., Водолажченко, Ю. Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов / В. Я. Анилович, Ю. Т. Водолажченко. – Москва : Машиностроение, 1976. – 456с.

5. Тракторы: Теория: учебник для студентов вузов по спец. «Автомобили и тракторы» / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; под общ. ред. В. В. Гуськова. – Москва : Машиностроение, 1988. – 376 с.

6. Тракторы XXI века: состояние и перспективы / С. Н. Поддубко [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2019. – 207с.

Представлено 19.05.2021

УДК 004.91

**КОНФИГУРИРОВАНИЕ – КАК ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ  
РАЗРАБОТКИ ПРОДУКТОВ ОРИЕНТИРОВАННЫХ  
НА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ**

**CONFIGURATION AS AN EFFECTIVE SOLUTION  
FOR THE DEVELOPMENT OF PRODUCTS ORIENTED  
TO AN INDIVIDUAL CUSTOMER**

**В. С. Артюшков**, инж.-прогр.,  
Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,  
г. Гомель, Беларусь  
V. Artyushkov, software engineer,  
Scientific and technical center of combine harvester construction OJSC  
«Gomselmash»), Gomel, Belarus

*Новый подход в формировании конструкторской документации. Используя конфигуратор изделий Windchill/Creo, получаем новый способ привлечения клиентов и взаимодействия с ними. Благодаря возможностям «выбора» потенциальные потребители могут самостоятельно персонализировать нужный заказ. Данная технология упрощает и позволяет расширить предложения для клиентов и создают новые способы продажи готовых изделий.*