

УДК 629.017

**Н. П. АРТЕМОВ**, канд. техн. наук, доц. ХНТУСХ им.П.Василенко, Харьков;  
**Н. М. ПОДРИГАЛО**, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ, Харьков

### **АЛГОРИТМЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАЛИЗУЕМОЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

Предложены алгоритмы экспериментального определения затрат мощности двигателя тягово-транспортных мобильных машин при выполнении технологических операций с использованием вала отбора мощности

**Ключевые слова:** мобильная машина, парциальные ускорения, мощность, технологические операции, вал отбора мощности

**Введение.** Определение реализуемой мощности двигателя и мощности на валу отбора мощности(ВОМ), является важным этапом проведения сертификационных испытаний тягово-транспортных машин.

В настоящей статье предложены алгоритмы определения реализуемой мощности двигателя и мощности на ВОМ тягово-транспортных машин. Рассмотрены три варианта работы машины:

- при работе в тяговом режиме с прицепными(навесными) орудиями;
- при неподвижной машине, с работающим под нагрузкой ВОМ;
- при движении машины с работающим под нагрузкой ВОМ.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Известны[1] экспериментальные методы определения реализуемой мощности мобильной машины с использованием мобильного регистрационно-измерительного комплекса. Указанный комплекс[1] включает в себя трехкомпонентные датчики ускорений и переносной компьютер.

Задачу определения реализуемой мощности двигателя при движении, авторам[1] удалось решить в результате использования метода парциальных ускорений. С помощью этого же метода решена задача диагностирования технического состояния двигателя и трансмиссии мобильной машины в эксплуатационных условиях и на заводском конвейере[2,3].

В работе[4] с использованием метода парциальных ускорений предложен алгоритм экспериментального определения тягового сопротивления технологических прицепных или навесных орудий. Однако в работе[4] не предложен алгоритм определения реализуемой мощности двигателя при работе тяговой машины с навесными или прицепными орудиями. Кроме того, в известных исследованиях[1-4], построенных на использовании метода парциальных ускорений при испытаниях мобильных машин отсутствуют алгоритмы определения реализуемой мощности на ВОМ при неподвижной или движущейся мобильной машине в тяговом режиме.

**Цель и постановка задачи.** Целью исследования является разработка алгоритмов экспериментального определения реализуемой мощности двигателя при выполнении технологических операций с использованием метода парциальных ускорений. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить реализуемую мощность двигателя при работе мобильной машины с прицепными или навесными орудиями(машинами);
- определить реализуемую мощность двигателя на ВОМ при неподвижной

© Н. П. Артемов, Н. М. Подригало, 2012

мобильной машине;

- определить реализуемую мощность двигателя на ВОМ при движении мобильной машины в тяговом режиме.

**Определение реализуемой мощности двигателя при работе машины в тяговом режиме с прицепными или навесными орудиями.** Реализуемая двигателем мощность может быть определена из следующего соотношения

$$N_e = \frac{M_{TP}^{CT}}{r_D} V_T + k_1 V_T^2 + \frac{J_{ПП}}{r_D^2} \dot{V}_T V_T + m_a g f + m_a \dot{V}_T V_T + F(V_T) V_T \quad (1)$$

где  $\frac{M_{TP}^{CT}}{r_D} V_T$  - затраты эффективной мощности двигателя на преодоление момента

сухого трения в трансмиссии;

$k_1 V_T^2$  - затраты эффективной мощности двигателя на преодоление вязкого трения в трансмиссии;

$\frac{J_{ПП}}{r_D^2} \dot{V}_T V_T$  - затраты эффективной мощности двигателя на разгон вращающихся

масс двигателя и трансмиссии;

$m_a g f$  - затраты эффективной мощности двигателя на преодоление сил сопротивления качению колес машины;

$m_a \dot{V}_T V_T$  - затраты эффективной мощности двигателя на разгон машины;

$F(V_T)$  - функция силы сопротивления сельскохозяйственного орудия от скорости;

$M_{TP}^{CT}$  - момент сухого трения в трансмиссии;

$r_D$  - динамический радиус ведущих колес мобильной машины;

$V_T$  - технологическая скорость агрегата;

$k_1$  - приведенный коэффициент пропорциональности между скоростью и моментом вязкого трения в трансмиссии;

$J_{ПП}$  - приведенный к ведущим колесам момент инерции вращающихся масс трансмиссии и двигателя;

$\dot{V}_T$  - ускорение агрегата;

$f$  - коэффициент сопротивления качению колес;

$g$  - ускорение свободного падения;

$m_a$  - общая масса агрегата.

Проведя преобразования, получим следующее выражение

$$N_e = \left( \frac{M_{TP}^{CT}}{r_D} + m_a g f \right) V_T + \dot{V}_T V_T m_a \left( 1 + \frac{J_{ПП}}{r_D^2} \right) + k_1 V_T^2 + F(V_T) V_T \quad (2)$$

$$A_1 = \left( \frac{M_{TP}^{CT}}{r_D} + m_a g f \right) \quad (3)$$

$$A_2 = \left( 1 + \frac{J_{ПП}}{r_D^2} \right) \quad (4)$$

$$A_3 = k_1 \quad (5)$$

Для определения коэффициентов  $A_1$  ;  $A_2$  ;  $A_3$  необходимо составить три линейных уравнения. Это возможно сделать, используя прием, приведенный в

работе[1]. В этом случае рассматриваются три момента времени  $t_1; t_2; t_3$ , определенные с шагом  $\Delta t$  т.е.

$$t_2 = t_1 + \Delta t \quad (6)$$

$$t_3 = t_2 + \Delta t = t_1 + 2\Delta t \quad (7)$$

Уравнение (2) с учетом(3)-(5) для рассматриваемых трех моментов времени  $t_1; t_2; t_3$  разворачивается в систему трех линейных уравнений

$$\begin{cases} N_e = A_1 V_{T1} + A_2 \dot{V}_{T1} V_{T1} + A_3 V_{T1}^2 + F(V_{T1}) V_{T1} \\ N_e = A_1 V_{T2} + A_2 \dot{V}_{T2} V_{T2} + A_3 V_{T2}^2 + F(V_{T2}) V_{T2} \\ N_e = A_1 V_{T3} + A_2 \dot{V}_{T3} V_{T3} + A_3 V_{T3}^2 + F(V_{T3}) V_{T3} \end{cases} \quad (8)$$

Допуская, что за время  $2\Delta t$  изменение эффективной мощности двигателя  $N_e$  невелико и этим изменением можно пренебречь, преобразуем систему уравнений(8), путем деления левых и правых частей уравнений на  $N_e$ . В результате получим однородную систему линейных уравнений

$$\begin{cases} A_1^1 V_{T1} + A_2^1 \dot{V}_{T1} V_{T1} + A_3^1 V_{T1}^2 + \frac{F(V_{T1})}{N_e} V_{T1} - 1 = 0 \\ A_1^1 V_{T2} + A_2^1 \dot{V}_{T2} V_{T2} + A_3^1 V_{T2}^2 + \frac{F(V_{T2})}{N_e} V_{T2} - 1 = 0 \\ A_1^1 V_{T3} + A_2^1 \dot{V}_{T3} V_{T3} + A_3^1 V_{T3}^2 + \frac{F(V_{T3})}{N_e} V_{T3} - 1 = 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$A_1^1 = A_1 / N_e \quad (10)$$

$$A_2^1 = A_2 / N_e \quad (11)$$

$$A_3^1 = A_3 / N_e \quad (12)$$

Решение системы уравнений(9) при измерении  $V_{T1}$  и  $\dot{V}_{T2}$  получим в виде(для промежутка времени от  $t_1$  до  $t_3$ )

$$A_1^1 = 1 - A_2^1 \dot{V}_{T1} - A_3 V_{T1} - \frac{F(V_{T1})}{N_e} \quad (13)$$

$$A_2^1 = \frac{\frac{F(V_{T2}) - F(V_{T3})}{N_e} (V_{T1} - V_{T2}) - \frac{F(V_{T1}) - F(V_{T2})}{N_e} (V_{T2} - V_{T3})}{(\dot{V}_{T1} - \dot{V}_{T2})(V_{T2} - V_{T3}) - (\dot{V}_{T2} - \dot{V}_{T3})(V_{T1} - V_{T2})} \quad (14)$$

$$A_3^1 = \frac{\frac{F(V_{T2}) - F(V_{T3})}{N_e} (\dot{V}_{T1} - \dot{V}_{T2}) - \frac{F(V_{T1}) - F(V_{T2})}{N_e} (\dot{V}_{T2} - \dot{V}_{T3})}{(V_{T1} - V_{T2})(\dot{V}_{T2} - \dot{V}_{T3}) - (V_{T2} - V_{T3})(\dot{V}_{T1} - \dot{V}_{T2})} \quad (15)$$

Идентификацию параметров  $A_1^1; A_2^1; A_3^1; A_1; A_2; A_3$  можно осуществить, зная параметры  $J_{np}; m_a; r_D$  (величины постоянные для рассматриваемого агрегата). Зная указанные параметры можно определить  $A_2$  по формуле(4). Тогда реализуемая мощность двигателя будет равна

$$N_e = \frac{A_2}{A_2^1} \quad (16)$$

В уравнениях (13)-(15) вид функции  $F(V_T)$  постулируется на основании каких-либо предположений. Можно использовать формулу определения сопротивления агрегата В.П. Горячкина[5]. Произведя определение коэффициентов  $A_1^1; A_3^1$ , на их основании рассчитаем  $A_1; A_3$ . Используя произведенные расчеты можно в дальнейшем осуществить диагностирование технического состояния трансмиссии.

Для повышения точности определения реализуемой мощности двигателя целесообразно не постулировать вид и параметры  $F(V_T)$ , а определить ее в процессе испытаний. В этом случае уравнение(1) примет вид

$$N_e = \frac{M_{TP}^{CT}}{r_D} V_T + k_1 V_T^2 + \frac{J_{np}}{r_D^2} \dot{V}_T V_T + m_a g f + m_a \dot{V}_T V_T + k_{nonp} F(V_T) V_T \quad (17)$$

где  $k_{nonp}$  - поправочный коэффициент, определяемый по результатам эксперимента.

В этом случае добавляется одна неизвестная  $k_{nonp}$ , что требует добавления к системе уравнений еще одного уравнения для момента времени  $t_4$  ( $t_4 = t_3 + \Delta t$ ).

$$\begin{cases} A_1^1 V_{T1} + A_2^1 \dot{V}_{T1} V_{T1} + A_3^1 V_{T1}^2 + A_4^1 \frac{F(V_{T1})}{N_e} V_{T1} - 1 = 0 \\ A_1^1 V_{T2} + A_2^1 \dot{V}_{T2} V_{T2} + A_3^1 V_{T2}^2 + A_4^1 \frac{F(V_{T2})}{N_e} V_{T2} - 1 = 0 \\ A_1^1 V_{T3} + A_2^1 \dot{V}_{T3} V_{T3} + A_3^1 V_{T3}^2 + A_4^1 \frac{F(V_{T3})}{N_e} V_{T3} - 1 = 0 \\ A_1^1 V_{T4} + A_2^1 \dot{V}_{T4} V_{T4} + A_3^1 V_{T4}^2 + A_4^1 \frac{F(V_{T4})}{N_e} V_{T4} - 1 = 0 \end{cases} \quad (18)$$

где

$$A_1^1 = \frac{\frac{M_{TP}^{CT}}{r_D} - m_a g f}{N_e} \quad (19)$$

$$A_2^1 = \frac{m_a}{N_e} \left( 1 + \frac{J_{np}}{m_a r_D} \right) \quad (20)$$

$$A_3^1 = \frac{k_1}{N_e} \quad (21)$$

$$A_4^1 = \frac{k_{nonp}}{N_e} \quad (22)$$

Решая систему уравнений(18) для каждого интервала времени  $[t_1; t_4]$  определяются коэффициенты  $A_1^1; A_2^1; A_3^1; A_4^1$ . При последующей идентификации параметров более точно рассчитывается реализуемая мощность двигателя  $N_e$  и определяется поправочный коэффициент  $k_{nonp}$  для определения тягового сопротивления технологического орудия.

**Определение мощности на ВОМ при неподвижной мобильной машине.** Определим мощность при неподвижной транспортно-тяговой машине, но с ВОМ работающим под нагрузкой. В этом случае нужно пропостулировать вид зависимости

для моментов сопротивления вращению ВОМ, но и создаваемых подключенным технологическим оборудованием.

Уравнение динамики ВОМ можно представить в виде

$$I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}} \cdot \dot{\omega}_{\text{ВОМ}} = M_i^{\text{ВОМ}} \cdot u_{\text{ВОМ}} - K_0^{\text{ВОМ}} - K_1^{\text{ВОМ}} \cdot \omega_{\text{ВОМ}} - F(\omega_{\text{ВОМ}}) \quad (23)$$

где  $I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}$  – момент инерции привода ВОМ, приведенный к выходному валу;

$\dot{\omega}_{\text{ВОМ}}$ ,  $\omega_{\text{ВОМ}}$  – угловое ускорение и угловая скорость ВОМ;

$M_i^{\text{ВОМ}}$  – часть индикаторного крутящего момента, расходуемая на привод ВОМ;

$u_{\text{ВОМ}}$  – передаточное отношение привода ВОМ от двигателя к выходному валу;

$K_0^{\text{ВОМ}}$  – момент сопротивления в приводе ВОМ, обусловленный силами сухого трения и приведенный к выходному валу;

$K_1^{\text{ВОМ}}$  – коэффициент пропорциональности между приведенным к выходному валу моментом вязкого (жидкого) трения в приводе ВОМ и угловой скоростью выходного вала  $\omega_{\text{к}}$ ;

$F(\omega_{\text{ВОМ}})$  – постулируемая функция зависимости момента нагрузки, создаваемого технологическим оборудованием, от угловой скорости ВОМ.

Уравнение парциальных ускорений получим, разделив левую и правую части уравнения (23) на  $I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}$

$$\dot{\omega}_{\text{ВОМ}} = \frac{M_i^{\text{ВОМ}} \cdot u_{\text{ВОМ}}}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}} - \frac{K_0^{\text{ВОМ}}}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}} - \frac{K_1^{\text{ВОМ}} \cdot \omega_{\text{ВОМ}}}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}} - \frac{F(\omega_{\text{ВОМ}})}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}} \quad (24)$$

При выбеге ВОМ, осуществляемом при выключении главной муфты и подачи топлива в двигатель, уравнение (24) примет вид

$$\dot{\omega}_{\text{ВОМ}} = -\frac{K_0^{\text{ВОМ}}}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}} - \frac{K_1^{\text{ВОМ}} \cdot \omega_{\text{ВОМ}}}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}} - \frac{F(\omega_{\text{ВОМ}})}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}} \quad (25)$$

Предположим, что функция  $F(\omega_{\text{ВОМ}})$  соответствует линейной зависимости

$$F(\omega_{\text{ВОМ}}) = (K_0^{\text{ВОМ}})^* - (K_1^{\text{ВОМ}})^* \cdot \omega_{\text{ВОМ}} \quad (26)$$

где  $(K_0^{\text{ВОМ}})^*$ ,  $(K_1^{\text{ВОМ}})^*$  – коэффициенты линейной зависимости.

Уравнение (25) с учетом (26)

$$\dot{\omega}_{\text{ВОМ}} = -\frac{K_0^{\text{ВОМ}} + (K_0^{\text{ВОМ}})^*}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}} - \frac{K_1^{\text{ВОМ}} + (K_1^{\text{ВОМ}})^*}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}} \omega_{\text{ВОМ}} \quad (27)$$

Введем обозначения

$$A_1 = \frac{K_0^{\text{ВОМ}} + (K_0^{\text{ВОМ}})^*}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}} \quad (28)$$

$$A_2 = \frac{K_1^{\text{ВОМ}} + (K_1^{\text{ВОМ}})^*}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}}} \omega_{\text{ВОМ}} \quad (29)$$

Измеряя  $\dot{\omega}_{\text{ВОМ}}$  и  $\omega_{\text{ВОМ}}$  в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  ( $t_2 - t_1 = \Delta t$ ), получим систему уравнений

$$\begin{cases} \dot{\omega}_{\text{ВОМ}}(t_1) = -A_1 - A_2 \omega_{\text{ВОМ}}(t_1); \\ \dot{\omega}_{\text{ВОМ}}(t_2) = -A_1 - A_2 \omega_{\text{ВОМ}}(t_2). \end{cases} \quad (30)$$

Решив систему уравнений, находим коэффициенты  $A_1$  и  $A_2$

$$A_1 = \frac{\dot{\omega}_{\text{ВОМ}}(t_2) \cdot \omega_{\text{ВОМ}}(t_1) - \dot{\omega}_{\text{ВОМ}}(t_1) \cdot \omega_{\text{ВОМ}}(t_2)}{\omega_{\text{ВОМ}}(t_2) - \omega_{\text{ВОМ}}(t_1)} \quad (31)$$

$$A_2 = \frac{\dot{\omega}_{\text{ВОМ}}(t_1) - \dot{\omega}_{\text{ВОМ}}(t_2)}{\omega_{\text{ВОМ}}(t_2) - \omega_{\text{ВОМ}}(t_1)} \quad (32)$$

Для идентификации параметра необходимо повторить выбег привода ВОМ, подключив к нему первичный вал коробки передач с известным значением момента инерции  $I^{\text{ПВ}}$ . Для этого необходимо включить главную муфту сцепления и перевести коробку передач на нейтральную передачу. Уравнение (27) в этом случае примет вид

$$\dot{\omega}'_{\text{ВОМ}} = -\frac{K_0^{\text{ВОМ}} + (K_0^{\text{ВОМ}})^*}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}} + I_{\text{пр}}^{\text{ПВ}}} - \frac{K_1^{\text{ВОМ}} + (K_1^{\text{ВОМ}})^*}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}} + I_{\text{пр}}^{\text{ПВ}}} \omega'_{\text{ВОМ}} \quad (33)$$

где  $I_{\text{пр}}^{\text{ПВ}}$  – момент инерции первичного вала коробки передач, приведенный к ВОМ,

$$I_{\text{пр}}^{\text{ПВ}} = I^{\text{ПВ}} \cdot u_{\text{ВОМ}}^2 \quad (34)$$

Введем обозначения

$$B_1 = \frac{K_0^{\text{ВОМ}} + (K_0^{\text{ВОМ}})^*}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}} + I_{\text{пр}}^{\text{ПВ}}} \quad (35)$$

$$B_2 = \frac{K_1^{\text{ВОМ}} + (K_1^{\text{ВОМ}})^*}{I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}} + I_{\text{пр}}^{\text{ПВ}}} \quad (36)$$

Измеряя  $\dot{\omega}'_{\text{ВОМ}}(t_1)$ ,  $\omega'_{\text{ВОМ}}(t_1)$ ,  $\dot{\omega}'_{\text{ВОМ}}(t_2)$ ,  $\omega'_{\text{ВОМ}}(t_2)$  для моментов времени  $t_1$  и  $t_2$  ( $t_2 - t_1 = \Delta t$ ), получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \dot{\omega}'_{\text{ВОМ}}(t_1) = -B_1 - B_2 \omega'_{\text{ВОМ}}(t_1); \\ \dot{\omega}'_{\text{ВОМ}}(t_2) = -B_1 - B_2 \omega'_{\text{ВОМ}}(t_2). \end{cases} \quad (37)$$

Решением данной системы уравнений будет

$$B_1 = \frac{\dot{\omega}'_{\text{ВОМ}}(t_2) \cdot \omega'_{\text{ВОМ}}(t_1) - \dot{\omega}'_{\text{ВОМ}}(t_1) \cdot \omega'_{\text{ВОМ}}(t_2)}{\omega'_{\text{ВОМ}}(t_2) - \omega'_{\text{ВОМ}}(t_1)} \quad (38)$$

$$B_2 = \frac{\dot{\omega}'_{\text{ВОМ}}(t_1) - \dot{\omega}'_{\text{ВОМ}}(t_2)}{\omega'_{\text{ВОМ}}(t_2) - \omega'_{\text{ВОМ}}(t_1)} \quad (39)$$

Решая совместно уравнения (28) и (35) получим

$$I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}} = \frac{I_{\text{пр}}^{\text{ПВ}}}{\frac{A_1}{B_1} - 1} \quad (40)$$

Из уравнений (28) и (29) определим

$$K_0^{\text{ВОМ}} + (K_0^{\text{ВОМ}})^* = \frac{I_{\text{пр}}^{\text{ПВ}}}{\frac{1}{B_1} - \frac{1}{A_1}} \quad (41)$$

$$K_1^{\text{ВОМ}} + (K_1^{\text{ВОМ}})^* = \frac{A_2 I_{\text{пр}}^{\text{ПВ}}}{\frac{A_1}{B_1} - 1} \quad (42)$$

Аналогичным образом, отключив от ВОМ технологическое оборудование и произведя выбег привода ВОМ (с отключенным и подключенным первичным валом коробки передач), определяются параметры  $K_0^{\text{ВОМ}}$ ,  $K_1^{\text{ВОМ}}$  и приведенный момент инерции привода ВОМ

$$I_{\text{пр}0}^{\text{ВОМ}} = I_{\text{пр}}^{\text{ВОМ}} - I_{\text{пр}}^{\text{ТМ}} \quad (43)$$

где  $I_{\text{пр}}^{\text{TM}}$  – момент инерции вращающихся масс технологической машины, приведенный к ВОМ.

Следует отметить, что осуществляя измерения угловой скорости и углового ускорения с шагом времени  $\Delta t$  можно определить изменение параметров  $K_0^{\text{BOM}}$ ,  $K_1^{\text{BOM}}$ ,  $(K_0^{\text{BOM}})^*$ ,  $(K_1^{\text{BOM}})^*$  в зависимости от угловой скорости ВОМ  $\omega_{\text{BOM}}$ . Это в дальнейшем позволит как уточнить расчет показателей мощности на ВОМ, так и уточнить вид постулируемой в уравнении (23) функции  $F(\omega_{\text{BOM}})$  момента нагрузки от технологического оборудования.

Из уравнения (23) определим часть индикаторного крутящего момента двигателя, затрачиваемого на привод ВОМ

$$M_i^{\text{BOM}} = \frac{I_{\text{пр}}^{\text{BOM}}}{u_{\text{BOM}}} \dot{\omega}_{\text{BOM}} - \frac{K_0^{\text{BOM}}}{u_{\text{BOM}}} - \frac{K_1^{\text{BOM}}}{u_{\text{BOM}}} \omega_{\text{BOM}} - F(\omega_{\text{BOM}}) \quad (44)$$

Подставляя зависимость (26) в (44), после преобразований получим

$$M_i^{\text{BOM}} = \frac{I_{\text{пр}}^{\text{BOM}}}{u_{\text{BOM}}} \dot{\omega}_{\text{BOM}} - \frac{K_0^{\text{BOM}} + (K_0^{\text{BOM}})^*}{u_{\text{BOM}}} - \frac{K_1^{\text{BOM}} + (K_1^{\text{BOM}})^*}{u_{\text{BOM}}} \omega_{\text{BOM}} \quad (45)$$

Часть индикаторной мощности привода, расходуемой на привод ВОМ

$$N_i^{\text{BOM}} = M_i^{\text{BOM}} \omega_e = M_i^{\text{BOM}} \omega_{\text{BOM}} u_{\text{BOM}} = I_{\text{пр}}^{\text{BOM}} \dot{\omega}_{\text{BOM}} \omega_{\text{BOM}} + (K_0^{\text{BOM}} + (K_0^{\text{BOM}})^*) \omega_{\text{BOM}} - (K_1^{\text{BOM}} + (K_1^{\text{BOM}})^*) \omega_{\text{BOM}}^2 \quad (46)$$

Суммарный момент сопротивления вращению ВОМ, обусловленный сухим и вязким трением в двигателе и приводе ВОМ

$$M_{\text{сопр}\Sigma}^{\text{BOM}} = K_0^{\text{BOM}} + K_1^{\text{BOM}} \omega_{\text{BOM}} \quad (47)$$

Мощность потерь, обусловленная сухим и вязким трением в двигателе и в приводе ВОМ

$$N_{\text{M}\Sigma}^{\text{BOM}} = M_{\text{сопр}\Sigma}^{\text{BOM}} \cdot \omega_{\text{BOM}} = (K_0^{\text{BOM}} + K_1^{\text{BOM}} \omega_{\text{BOM}}) \omega_{\text{BOM}} \quad (48)$$

Приведение механического КПД двигателя  $\eta_{\text{M}}$  и КПД привода ВОМ  $\eta_{\text{M}}^{\text{BOM}}$

$$\eta_{\text{M}} \cdot \eta_{\text{M}}^{\text{BOM}} = 1 - \frac{N_{\text{M}\Sigma}^{\text{BOM}}}{N_i^{\text{BOM}}} = \frac{(K_0^{\text{BOM}})^* + (K_1^{\text{BOM}})^* \cdot \omega_{\text{BOM}}}{I_{\text{пр}}^{\text{BOM}} \dot{\omega}_{\text{BOM}} + K_0^{\text{BOM}} + (K_0^{\text{BOM}})^* + (K_1^{\text{BOM}} + (K_1^{\text{BOM}})^*) \omega_{\text{BOM}}} \quad (49)$$

Определив  $\eta_{\text{M}}$  по методике можно определить КПД привода ВОМ  $\eta_{\text{M}}^{\text{BOM}}$ . Таким образом можно определить часть эффективной мощности двигателя, расходуемой на привод ВОМ

$$N_e^{\text{BOM}} = N_i^{\text{BOM}} \cdot \eta_{\text{M}} \quad (50)$$

**Определение мощности на ВОМ при движении мобильной машины.** В этом случае представляет интерес определение распределения реализуемой эффективной мощности двигателя между ВОМ и мощностью на преодоление сопротивления движению транспортно-тяговой машины. Для этого необходимо установить на ВОМ датчик угловой скорости, а на транспортно-тяговую машину – регистрационно-измерительный комплекс на основе двух линейных акселерометров[1]. Сочетая приведенные выше методы измерения эффективной мощности на ВОМ и определения затрат эффективной мощности двигателя на движение машины, можно решить поставленную задачу.

**Выводы**

1. В результате проведенного исследования предложены алгоритмы определения реализуемой эффективной мощности двигателя и мощности на ВОМ при выполнении мобильной машиной технологических операций.
2. Реализация указанных алгоритмов возможна при изменении в процессе выполнения технологических операций следующих параметров:
  - линейного ускорения машинного агрегата;
  - линейной скорости его движения;
  - угловой скорости и углового ускорения ВОМ.

**Список литературы** 1. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин. Монография / [Н.П.Артемов, А.Т.Лебедев, М.А.Подригало, А.С.Полянский, Д.М.Клец, А.И.Коробко, В.В.Задорожня]: под ред. проф. М.А.Подригало, – Харьков: «Міськдрук», 2012. – 220 с. 2. Умер Абдулгасис Метод динамометрирования технического состояния двигателя и трансмиссии / Умер Абдулгасис, Азиз Абдулгасис, Михаил Подригало, Александр Полянский, Надежда Подригало // MOTOR COMMISSION of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agrifoud industry machinery. Vol.14, № 1. Lublin-Simferopol-Mykolayiv-Kiev-Lviv-Rzeszow, 2012. pp.37 – 42. 3. Пат. Україна 69235 на корисну модель МПК (2012.01) G01L 3/24(2006.01), G01M 17/00 Спосіб визначення ефективного крутного моменту та ефективного потужності двигуна автомобіля: Пат. Україна 69235 МПК (2012.01) G01L 3/24(2006.01), G01M 17/00. Подригало Н.М., Плетньов В.М., Абдулгасис У.А., Абдулгасис А.У., Полянский О.С., Подригало М.А. - № 4201111448: заявл. 28.09.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. №8, 2012. 4. Артемов М.П. Математична модель машинно-тракторного агрегату з використанням метода парціальних прискорень / М.П.Артемов // Збірник наукових праць ВНАУ, Серія Технічні науки, Випуск 11(65), 2012. С.34 – 39. 5. Горячкин В.П. Собрание сочинений / В.П. Горячкин Т.2. – М.: Колос, 1968. – 240с.

*Поступила в редколлегию 22.11.2012*

УДК 629.017

**Алгоритми експериментального визначення потужності двигуна мобільної машини, яка реалізується при виконанні технологічних операцій / М.П.Артемов, Н.М.Подригало / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012 – № 60 (966). – С. 17–24. – Бібліогр.: 5 назв.**

Запропоновані алгоритми експериментального визначення витрат потужності двигуна тягово-транспортних мобільних машин при виконанні технологічних операцій з використанням валу відбору потужності.

**Ключові слова:** мобільна машина, парціальні прискорення, потужність, алгоритм, технологічні операції, вал відбору потужності.

The article is devoted to proposing experimental determination algorithms of engine expenses of hauling-transport mobile machines power at implementation of technological operations with using of billow of taking off power.

**Keywords:** mobile machine, partialis accelerations, power, algorithms, technological operations, billow of taking off power