

УДК 631.31 (575.2) (04)

АНАЛИЗ БАЛАНСА ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ФРЕЗ С ПРИВОДНЫМИ КОЛЕСАМИ

В.Ф. Куряшкин, Н.И. Наумкин, Е.А. Бобровская, В.Н. Авдеев

Рассматриваются задачи оценки баланса мощности при обработке почвы самоходными почвообрабатывающими фрезами на основе эмпирических зависимостей.

Ключевые слова: конструктивные параметры; фрезбарабаны; ходовые колеса; почвообразующие фрезы; устойчивость машины; схема действия сил; расчет взаимодействия сил.

Для сплошной, поверхностной и предпосевной обработки почвы в личных подсобных хозяйствах, приусадебных участках, теплицах широко используются самоходные малогабаритные почвообрабатывающие фрезы (СМПФ), которые позволяют обеспечить высокую степень крошения и качество работы.

При выполнении технологического процесса обработки почвы СМПФ перемещается за счет силы сцепления ходовых колес с почвой. При этом мощность двигателя расходуется на преодоление момента сопротивления резанию почвы ножами на фрезбарабанах, на преодоление сопротивлений при перекатывании ходовых колес и при трении опорного якоря или полозка о почву, а также часть мощности теряется в трансмиссии.

При работе СМПФ при условии установившегося режима протекания технологического процесса обработки почвы, требуемая мощность для обеспечения ее функционирования P (кВт) определяется формулой [1]:

$$P = P_p + P_{отб} + P_{пер} \pm P_{под} + P_{фя} + P_{тр}, \quad (1)$$

где P_p – мощность на резание почвы, кВт; $P_{отб}$ – мощность на отбрасывание почвы, кВт; $P_{пер}$ – мощность на перекатывание ходовых колес, кВт; $P_{под}$ – мощность на преодоление сопротивления подталкивающего усилия F_x , кВт; $P_{фя}$ – мощность на преодоление сопротивления перемещению якоря (полозка) о почву, кВт; $P_{тр}$ – мощность на преодоление сил сопротивления в механизмах привода фрезбарабанов и ходовых колес, кВт.

Знак минус впереди составляющей $P_{под}$ означает, что при обычном направлении вращения фрезбарабана “сверху-вниз” или при прямом его вращении указанная составляющая мощности не

увеличивает общую мощность P , а уменьшает, так как сила F_x подталкивает фрезбарабан и в целом СМПФ вперед по направлению их поступательного движения.

Составляющие правой части уравнения (1) можно разбить на три группы мощностей, объединяемых общими признаками, а именно: на мощность, затрачиваемую на фрезерование почвы $P_{ф}$, и необходимую для привода вала фрезбарабана, на мощность, затрачиваемую на создание силы тяги на ходовых колесах с почвой P_t , и необходимую для привода их вала, и собственно на мощность, затрачиваемую на преодоление сил сопротивления в механизмах привода фрезбарабанов и ходовых колес $P_{тр}$.

На основании этого можно записать:

$$P_{ф} = P_p + P_{отб}, \quad (2)$$

$$P_t = P_{пер} \pm P_{под} + P_{фя}. \quad (3)$$

Тогда выражение (2) примет упрощенный вид:

$$P = P_{ф} + P_t + P_{тр}. \quad (4)$$

Рядом авторов [1–3] получены формулы для определения величин составляющих, входящих в правую часть уравнения (4), некоторые из них ($P_{ф}$) однако, не могут быть использованы для практического расчета из-за отсутствия достоверных значений коэффициентов, входящих в формулы для их определения.

Точное определение мощности на фрезерование почвы возможно лишь на основе динамометрирования фрезбарабана в реальных условиях, причем в зависимости от свойств почвы, глубины обработки, режима работы и ширины захвата фрезы, формы рабочих органов и остроты их лезвий потребляемая фрезой мощность будет изменяться в весьма широких пределах.

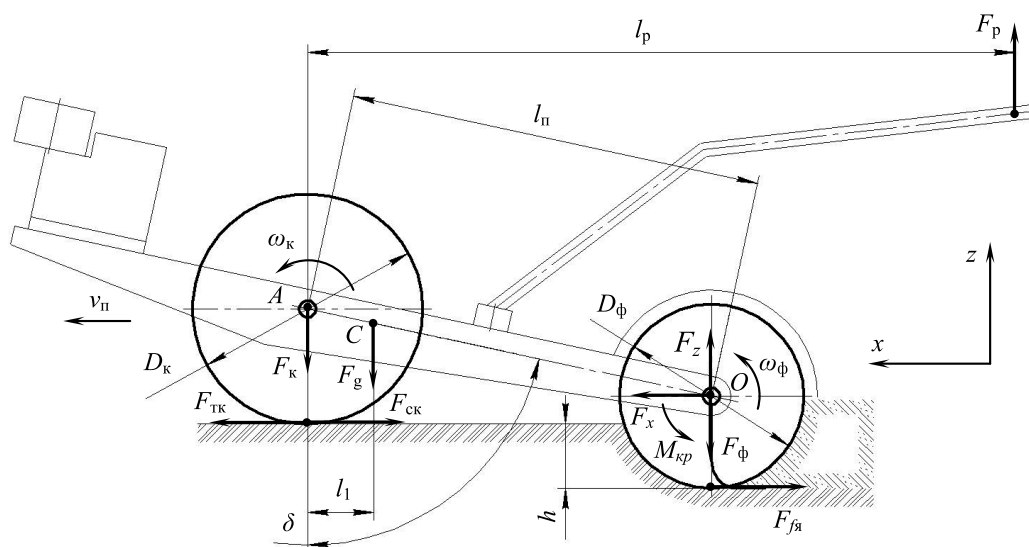


Рисунок 1 – Силы, действующие на СМПФ в продольно-вертикальной плоскости

Поэтому для определения мощности P_ϕ можно воспользоваться известной зависимостью:

$$P_\phi = M_{кр} \omega_\phi 10^{-3} \quad (5)$$

В данном случае значение крутящего момента $M_{кр}$ (Н·м) на валу фрезбарабана определяется динамометрированием.

Выражая угловую скорость фрезбарабана ω_ϕ (рад/с) через частоту вращения n_ϕ (мин⁻¹), то есть $\omega_\phi = \frac{\pi n_\phi}{30}$, выражение (5) примет вид:

$$P_\phi = \frac{M_{кр} n_\phi}{9550} \quad (6)$$

Далее рассмотрим анализ составляющих требуемой мощности, а именно P_t и $P_{тр}$ с учетом специфики конструкции и особенностей работы СМПФ (машина имеет прямое вращение фрезбарабана и перемещается по ровной поверхности поля).

В общем виде мощность P_t будет определяться зависимостью:

$$P_t = M_{крк} \omega_k 10^{-3} \quad (7)$$

где $M_{крк}$ – крутящий момент на валу ходовых колес, Н·м; ω_k – угловая скорость ходовых колес, рад/с.

Выражая угловую скорость ω_k через поступательную скорость движения машины v_π , то есть с учетом, что $\omega_k = 2v_\pi / D_k$, зависимость (7) примет вид:

$$P_t = \frac{2M_{крк} v_\pi 10^{-3}}{D_k} \quad (8)$$

где D_k – диаметр ходовых колес, м.

С учетом действующих на СМПФ сил (рисунок 1) для крутящего момента $M_{крк}$ получим следующую расчетную зависимость:

$$M_{крк} = (F_{я} + F_{ск} - F_x) \frac{D_k}{2} \quad (9)$$

где $F_{я}$ – сила трения опорного якоря (полоска) с почвой, Н; $F_{ск}$ – сила сопротивления перекатыванию ходовых колес, Н; F_x – подталкивающая сила на фрезбарабане, Н.

С учетом полученных зависимостей сил $F_{я}$ и $F_{ск}$ при анализе динамических условий равномерного движения СМПФ [4]:

$$F_{я} = f \left[\frac{F_g l_1}{l_\pi \sin \left[\arccos \left(\frac{D_k - D_\phi + 2h}{2l_\pi} \right) \right]} - F_z \right],$$

$$F_{ск} = \sqrt[3]{ \frac{F_g^4 \left[1 - \frac{l_1}{l_\pi \sin \left[\arccos \left(\frac{D_k - D_\phi + 2h}{2l_\pi} \right) \right]} \right]^4}{q D_k^2 b_k} } ,$$

а также с учетом взаимосвязи геометрических параметров конструкции фрезы (см. рисунок 1)

$$\frac{l_1}{l_\pi \sin \left[\arccos \left(\frac{D_k - D_\phi + 2h}{2l_\pi} \right) \right]} = K_1$$

при проведении необходимых преобразований зависимость (9) примет следующий вид:

$$M_{\text{крк}} = \left[f(F_g K_1 - F_z) + \sqrt[3]{\frac{F_g^4 (1 - K_1)^4}{q D_k^2 b_k}} - F_x \right] \frac{D_k}{2}, \quad (10)$$

где f – коэффициент трения опорного якоря или ползка о почву; F_g – сила тяжести СМПФ, Н; F_z – выталкивающая сила на фрезбарабане, Н; q – объемный коэффициент смятия почвы, Н/м³; b_k – ширина обода колеса, контактирующего с почвой, м.

Тогда, после подстановки (10) в (8), получим:

$$P_{\text{т}} = \left[f(K_1 F_g - F_z) + \sqrt[3]{\frac{F_g^4 (1 - K_1)^4}{q D_k^2 b_k}} - F_x \right] v_{\text{н}} 10^{-3}. \quad (11)$$

Мощность на преодоление сил сопротивления в механизмах привода фрезбарабанов и ходовых колес $P_{\text{тр}}$ можно определить по формуле:

$$P_{\text{тр}} = (1 - \eta_o)(P_{\text{ф}} + P_{\text{т}}), \quad (12)$$

где η_o – общий КПД передаточной части привода СМПФ.

Учитывая двухпоточную компоновку передаточной части привода СМПФ, а именно привода фрезбарабанов и ходовых колес [5], значение η_o определится по формуле:

$$\eta_o = \frac{P_{\text{ф}} + P_{\text{т}}}{\frac{P_{\text{ф}}}{\eta_{\text{оф}}} + \frac{P_{\text{т}}}{\eta_{\text{ок}}}}, \quad (13)$$

где $\eta_{\text{оф}}$ и $\eta_{\text{ок}}$ – соответственно общие КПД отдельных потоков мощности привода фрезбарабанов и ходовых колес.

С учетом ранее полученных расчетных зависимостей (6) и (11) и преобразований уравнение (12) примет вид:

$$P_{\text{тр}} = (1 - \eta_o) \left\{ \frac{M_{\text{крк}} n_{\text{ф}}}{9550} + \left[f(K_1 F_g - F_z) + \sqrt[3]{\frac{F_g^4 (1 - K_1)^4}{q D_k^2 b_k}} - F_x \right] v_{\text{н}} 10^{-3} \right\}. \quad (14)$$

Таким образом, подставляя зависимости (6), (11) и (14) в (4) и сделав необходимые преобразования, получим формулу для расчета требуемой мощности для обеспечения функционирования СМПФ:

$$P = (2 - \eta_o) \left\{ \frac{M_{\text{крк}} n_{\text{ф}}}{9550} + \left[f(K_1 F_g - F_z) + \sqrt[3]{\frac{F_g^4 (1 - K_1)^4}{q D_k^2 b_k}} - F_x \right] v_{\text{н}} 10^{-3} \right\}. \quad (15)$$

Для дальнейшего решения уравнения (15) воспользуемся результатами экспериментальных исследований [6], а именно полученными в ходе лабораторно-полевых исследований регрессионных уравнений силовых характеристик взаимодействия фрезерных Г-образных рабочих органов с почвой:

$$F_x = 4,5 - 7p - 3S + 2496pS; \quad (16)$$

$$F_z = 23,2 + 42,2p - 66S + 49,21pS + 42,5p^2; \quad (17)$$

$$M_{\text{кр}} = 4 + 78p - 746S + 1119pS - 53p^2 + 5189S^2, \quad (18)$$

где p – твердость почвы, МПа; S – подача на нож, м.

Тогда с учетом регрессионных зависимостей (16), (17) и (18), коэффициента объемного смятия $q = (0,044p + 0,0038)10^9$ [6], геометрических и весовых характеристик СМПФ ФС-0,85 ($b_k = 0,12$ м, $D_k = 0,5$ м; $K_1 = 0,174$, $K_2 = -0,31$ и $F_g = 1716$ Н), режима ее работы ($n_{\text{ф}} = 286$ мин⁻¹; $h^g = 0,12$ м,) и коэффициента трения стали о почву ($f = 0,41$) уравнение (15) примет вид:

$$P = (2 - \eta_o) \left[0,12 + 2,34p - 21,31S + 33,41pS - 1,59p^2 + 155,69S^2 - \sqrt[3]{-43,06pS^2 + 0,166p^2S + 1,384S(p + 0,086)^{\frac{1}{3}}} \right]. \quad (19)$$

После подстановки в уравнение (19) значений твердости почвы p и подачи на нож S соответственно в интервалах от 0,25 до 1,65 МПа и от 0,03 до 0,11 м получим графическую зависимость (модель) требуемой мощности при обработке почвы для конкретных условий функционирования СМПФ (рисунок 2).

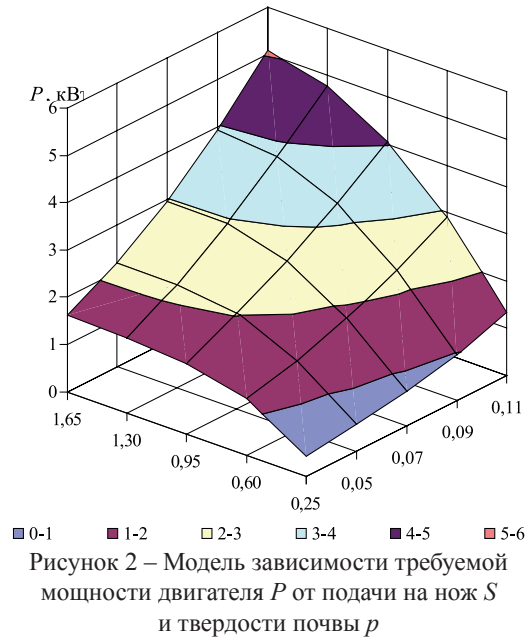


Рисунок 2 – Модель зависимости требуемой мощности двигателя P от подачи на нож S и твердости почвы p

Полученная модель $P = f(p; S)$ наглядно показывает изменение требуемой мощности при обработке почвы фрезерными рабочими органами.

Таким образом, полученное уравнение (15) отражает в общем виде зависимость мощности, потребляемой СМПФ при выполнении технологической операции по обработке почвы с учетом технологических параметров, свойств почвы и конструктивных особенностей машины, а уравнение (19) позволяет оценить энергетические составляющие и их затраты в зависимости от режима работы конкретной СМПФ.

Литература

1. *Синеоков Г.Н.* Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. М.: Машиностроение, 1977. 328 с.
2. *Канарев Ф.М.* Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / Ф.М. Канарев. М.: Машиностроение, 1983. 142 с.
3. *Полтавцев И.С.* Фрезерные канавокапатели / И.С. Полтавцев. Киев: Машгиз, 1954. 130 с.
4. *Купряшкин В.Ф.* Динамические условия обеспечения равномерного движения самоходных малогабаритных почвообрабатывающих фрез с ходовыми колесами / В.Ф. Купряшкин, М.Н. Чаткин, Н.И. Наумкин, А.В. Безруков // *Нива Поволжья*. 2011. № 4. С. 52–55.
5. *Артоболевский И.И.* Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. М.: Наука, 1975. 640 с.
6. *Купряшкин В.Ф.* Повышение эффективности функционирования самоходной малогабаритной почвообрабатывающей фрезы оптимизацией конструктивно-технологических параметров (на примере фрезы ФС-0,85): Автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.Ф. Купряшкин. Саранск, 2011. 20 с.