

УДК 631.312

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПЛОСКОРЕЗНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Савченко Ю.А., кандидат технических наук, доцент

Черемисинов В.И., кандидат технических наук, доцент

E-mail: sopromat@vgsha.info

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Вятская государственная сельскохозяйственная академия», г. Киров, Россия

Аннотация.

В статье рассматривается методика определения оптимальной скорости и ширины захвата агрегатов для плоскорезной обработки почвы для конкретных условий использования. В качестве критерия оптимальности выбран минимум энергозатрат при рабочем ходе. Математическая модель включает показатели физико-механических свойств почвы: твёрдость и плотность. В результате получены аналитические зависимости и определены параметры и режимы работы агрегатов для плоскорезной обработки почвы.

Ключевые слова: оптимизация, ширина захвата, скорость, критерий оптимальности, плоскорезная обработка почвы, минимум энергозатрат, математические модели, физико-механические свойства почвы, параметры.

SUBSTANTIATION OF OPTIMAL PARAMETERS AND OPERATION MODES OF UNITS FOR FLAT CUTTING SOIL TREATMENT

Savchenko Yu.A., Candidate of technical Sciences, Associate Professor

Cheremisinov V.I., Candidate of technical Sciences, Associate Professor

E-mail: sopromat@vgsha.info

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Vyatka State Agricultural Academy», Kirov, Russian Federation

Annotation.

The article discusses the methodology for determining the optimal speed and width of the units for flat cutting tillage for specific conditions of use. As a criterion of optimality, the minimum energy consumption during the working stroke was selected. The mathematical model includes indicators of the physical and mechanical properties of the soil: hardness and density. As a result, the authors have determined analytical dependence and the parameters and operating modes of the units for flat cutting soil treatment.

Keywords: optimization, working width, speed, optimality criterion, flat cutting soil treatment, minimum energy consumption, mathematical models, physical and mechanical properties of the soil, parameters.



В настоящее время большое внимание уделяется внедрению ресурсосберегающих почвозащитных технологий обработки почвы. Результаты исследований [1] и другие источники показывают эффективность периодической замены в севооборотах вспашки под яровые зерновые культуры плоскорезной обработкой почвы на 12...14 см и 20...22 см. Поэтому проблема обоснования параметров и режимов работы агрегатов для плоскорезной обработки почвы в условиях Волго-Вятской зоны является актуальной.

Ранее по минимуму приведённых затрат с учётом компромиссного решения нами были определены оптимальные мощности трактора для плоскорезной обработки почвы на 12...14 см и 20...22 см в природно-производственных условиях Волго-Вятской зоны. Они соответственно равны 182 и 220 кВт [2]. Данным мощностям соответствуют тракторы К-744Р1 и К-730М с $N_H=220,58$ кВт.

Целью дальнейшего исследования является определение оптимальной скорости и ширины захвата агрегатов для плоскорезной обработки почвы на базе заданного трактора.

Учитывая, что технология обработки почвы должна быть энергосберегающей, в качестве критерия оптимальности необходимо взять минимум энергозатрат при рабочем ходе агрегата:

$$E_{II} = N_H \xi_N / (BV_P) \longrightarrow \min, \quad (1)$$

где E_{II} – затраты энергии, Дж/м²;

N_H – номинальная мощность двигателя, Вт;

ξ_N – степень загрузки двигателя;

B – ширина захвата агрегата, м;

V_P – рабочая скорость, м/с.



При этом должно быть обеспечено качественное выполнение работ, прежде всего соблюдение заданной глубины обработки почвы и других ограничений, выражаемых соотношениями:

$$a_3 = a_p; \quad (2)$$

$$[V]_H \leq V_P \leq [V]_B; \quad (3)$$

$$\delta \leq [\delta]. \quad (4)$$

Так как B и V_P взаимосвязаны через баланс мощности, то исходным будет следующее выражение:

$$\xi_N N_H = N_{KP} + N_{MEX} + N_f \pm N_\alpha + N_\delta + N_J, \quad (5)$$

где N_{KP} – мощность, развиваемая на крюке трактора;

N_{MEX} – мощность, потребляемая трансмиссией;

N_f – мощность, затрачиваемая на перекачивание трактора;

N_α – мощность, необходимая для преодоления подъёма (спуска);

N_δ – мощность, затрачиваемая на буксование;

N_J – мощность на ускорение (замедление) трактора.

Учитывая, что средний уклон полей Волго-Вятской зоны составляет 2° , а рабочие скорости не превышают $3,3$ м/с, составляющие N_α и N_J могут быть опущены из рассмотрения. Остальные составляющие определялись по формулам:

$$N_{KP} = K_a B V_P, \quad (6)$$

$$N_f = M_T g f_T V_P, \quad (7)$$

где K_a – удельное сопротивление агрегата для конкретных почвенных условий, Н/м;

M_T – эксплуатационная масса трактора, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;



f_T – коэффициент сопротивления качению трактора для конкретных почвенных условий.

Потери мощности в трансмиссии и на буксовании целесообразно выразить через составляющие тягового КПД трактора η_M и η_δ . При этом буксование определится как

$$\delta = a\mu_H/(b - \mu_H), \quad (8)$$

где μ_H – коэффициент использования сцепного веса;

a, b – эмпирические коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств почвы и конструкции ходового аппарата трактора.

Коэффициент использования сцепного веса μ_H представим в следующем виде:

$$\mu_H = \frac{K_a B}{M_T g \lambda}, \quad (9)$$

где λ – часть веса трактора, приходящаяся на движители.

Подставив (6), (7), (8), (9) в (5), выразим ширину захвата агрегата в функции скорости:

$$B = M_T \left(\frac{d}{2c} - \sqrt{\frac{d^2}{4c^2} - \frac{e}{c}} \right) = M_T Q, \quad (10)$$

где величинами d, c , и e обозначены следующие выражения:

$$d = K_a \left[\frac{N_H}{M_T V_P} \xi_N \eta_M (1 + a) + g(\lambda b - f_T) \right],$$



$$c = K_a^2, \quad e = \left(\frac{N_H}{M_T V_P} \xi_N \eta_M - g f_T \right) g \lambda b.$$

Обозначив выражение в скобках в формуле (10) через Q и подставив в (1), получим значение критерия эффективности в функции одной переменной V_P – скорости движения агрегата:

$$E_{II} = \frac{N_H \xi_N}{Q M_T V_P} \rightarrow \min. \quad (11)$$

Анализ зависимостей (5...11) показывает, что математическая модель, используемая при оптимизации, характеризует взаимодействие рабочих органов с обрабатываемой средой и движителей трактора с почвой. Поэтому точность полученных результатов на данном этапе оптимизации полностью зависит от достоверности исходных данных по энергетическим и качественным показателям работы машины K_a , a_P , а также показателям функционирования движителей тракторов f_T , δ , характеризующих эти взаимодействия. При этом, учитывая бесчисленное множество сочетаний почвенных условий и режимов работы агрегатов, информация для заданных условий и режимов их использования может быть получена только методом математического моделирования этих показателей.

На основании экспериментов были получены математические модели [3, 4]:

$$K_a = (22,084a_P - 1,224)\rho + (4,074a_P - 0,510)\rho V^2 + (0,0118a_P - 0,0002675)H, \quad (12)$$

$$f_T = 0,2276 + 0,0024V_P^2 - 0,03691 \ln \frac{H}{6,86\rho}, \quad (13)$$

$$\delta_T = a_{\mu II} / (b - \mu_{II}), \quad (14)$$



где
$$a = 1 / \left(15,35 - 0,003543 \frac{H}{\rho} \right); \quad b = 8,22 / \left(15,35 - 0,003543 \frac{H}{\rho} \right).$$

Твёрдость почвы H (Па) и плотность почвы ρ (кг/м³) определяли по методике МИИСП [5].

Для условий Волго-Вятской зоны математические ожидания показателей на стерне равны: $M[H] = 1,315 \cdot 10^6$ Па, $M[\rho] = 1408$ кг/м³ [2]. Эти данные хорошо согласуются с нормальным законом распределения $\chi_H^2 = 3,409$ и $\chi_\rho^2 = 3,12$ при вероятности согласия $P(\chi^2) > 0,75$ и являются необходимыми и достаточными для описания состояния почвы как обрабатываемой среды.

Таким образом, используя выражение (11), задаётся скорость агрегата с определённым шагом, для каждого значения которой определяются затраты энергии. Этот цикл повторяют до тех пор, пока затраты энергии не будут минимальны, что соответствует оптимальной скорости. При этом проверяют соблюдение условия (3).

Подставив значение оптимальной скорости в выражение (10), определяют ширину захвата.

Подставив ширину захвата в (9), определяют коэффициент использования сцепного веса μ_I и по формуле (8) буксование δ . Затем проверяют выполнение условия (4).

Для выполнения расчётов на ПК была составлена программа. При определении оптимальной скорости и ширины захвата вводятся следующие данные: $a_3 = a_P, H, \rho, \eta_M, \xi_N, N_H, M_T, g, a, b, \lambda, [V]_H, [V]_B, [\delta]$.

По разработанным моделям были определены оптимальная скорость и ширина захвата, а также скомплектованы агрегаты. Для плоскорезной обработки почвы на глубину 20...22 см: ВОП = 6,14 м; ВОП = 2,1 м/с; состав агрегата К-744Р1 (или К-730М) + ПГ-5, диапазон II, передача 2. Для плоскорезной обработки почвы на глубину 12...14 см: ВОП = 11 м; ВОП = 2 м/с; состав агрегата К-744Р1 (или К-730М) + КПШ-9, диапазон III, передача 1.



С целью изучения характера влияния скорости движения на эксплуатационные показатели агрегатов результаты расчётов представлены графически (рисунок 1). Анализ данных зависимостей свидетельствует о смещении оптимальной скорости в сторону нижнего предела, допустимого по агротехническим требованиям $[V]Н = 1,4$ м/с. Это объясняется тем, что при увеличении скорости возрастает удельное сопротивление орудия (кривая K_a) и сопротивление передвижению трактора пропорционально квадрату скорости, а следовательно, увеличиваются затраты энергии. С другой стороны, с уменьшением оптимальной скорости увеличивается оптимальная ширина захвата агрегата (кривая B), что приведёт к уменьшению числа проходов агрегата по полю и снижению вредного воздействия движителя трактора на почву.

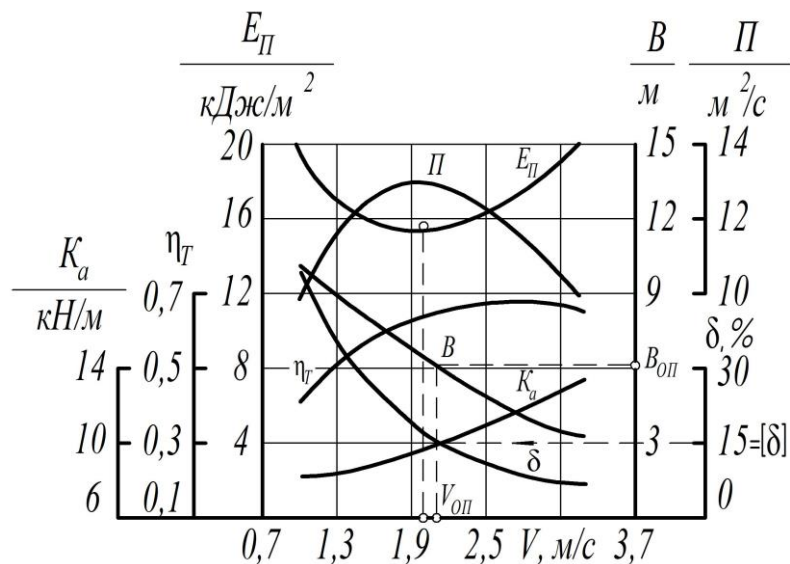


Рисунок 1 – Зависимости эксплуатационных показателей от рабочей скорости при плоскорезной обработке почвы на 20...22 см

Следует заметить, что необходимо комплектовать агрегаты только на основании оптимальных параметров или близким к ним. В противном случае снижается производительность агрегатов, увеличиваются затраты энергии и расход топлива (кривые Π и $E_{П}$).



Наиболее предпочтительными в этом отношении являются почвообрабатывающие орудия с изменяемой шириной захвата или переменным числом рабочих органов (лап культиваторов-плоскорезов).

Таким образом, с помощью предлагаемой методики определены оптимальные параметры, режимы работы и скомплектованы высокоэффективные составы агрегатов для плоскорезной обработки почвы в условиях Волго-Вятской зоны, позволяющие повысить производительность, снизить расход топлива и денежных средств, а также число проходов агрегата по полю.

Данная методика может быть использована для определения параметров и режимов работы при проектировании новых почвообрабатывающих машин при наличии моделей энергетических и качественных показателей их работы.

Литература

1. Черемисинов В. И. Ресурсосберегающая почвозащитная / В. И. Черемисинов, В. И. Карпова, А. А. Зангиев // Сельское хозяйство Нечерноземья. – 1985. – № 7. – С. 18-19.
2. Черемисинов В. И. Обоснование параметров и режимов работы агрегатов для минимальной обработки почвы в Волго-Вятской зоне : автореферат дис. ... кандидата технических наук / В. И. Черемисинов. – Москва : Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства имени В. П. Горячкина, 1986. – 16 с.
3. Черемисинов В. И. Моделирование удельного сопротивления культиватора-плоскореза-глубокорыхлителя // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики : материалы X Международной научно-практической конференции. – Киров : Вятская ГСХА, 2017. – Вып. 18. – С. 302-303.
4. Черемисинов В. И. Совершенствование методов определения показателей работы движителей трактора на холостом ходу / В. И. Черемисинов // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной



Вестник Вятской ГСХА. 2020. № 3 (5). Технические науки
энергетики : материалы VIII Международной научно-практической
конференции. – Киров : ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2015. – С. 184-187.

5. Шаров Н. М. Эксплуатационные свойства машинно-тракторных агрегатов : учебное пособие / Н. М. Шаров. – Москва : Колос, 1981. – 240 с.

