

ВЫБОР СХЕМ, ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПЛУГОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.А.ЛЕПТЕЕВ, докт. техн. наук, (БАТУ), А.Д.КУЗНЕЦОВ, (ГСКБ МТЗ),
Н.Ф.КУЛАЩИК (БАТУ), Ю.А.ЛЕПТЕЕВ, (НИИЦТ), инженеры

Выбор схем, обоснование оптимальных параметров и режимов работы создаваемых почвообрабатывающих машин, в том числе плугов, предлагается осуществлять с использованием принципов и методов автоматизированного функционального проектирования [1,2], в основе которого лежит использование целевых функций, количественно описывающих функционирование проектируемой машины в меняющихся условиях ее эксплуатации.

Важнейшими критериями оптимизации проектируемых плугов и других почвообрабатывающих машин типа орудий, культиваторов, плоскорезов могут быть:

- производительность за час сменного времени W_{τ} , га/ч;

- погектарный расход топлива θ_{τ} , кг/га;

- удельные совокупные энергетические затраты \mathcal{E}_{τ} , МДж/га.

Для оптимизации параметров и режимов работы плугов по вышеуказанным критериям необходимо составить целевые функции производительности, погектарного расхода топлива, удельных совокупных энергозатрат в функции управляемых параметров и режимов, которые можно представить в виде:

$$\begin{aligned} W_{\tau}(B, V_e) &\rightarrow \max; \\ \theta_{\tau}(B, V_e) &\rightarrow \min; \\ \mathcal{E}_{\tau}(B, V_e) &\rightarrow \min. \end{aligned} \quad (1)$$

Выполним разработку целевых функций (1), характеризующих функционирование в меняющихся почвенных условиях и производственных ситуациях проектируемых плугов, агрегируемых с серийными энергетическими средствами, которые ха-

рактеризуют их эффективность с учетом принятых критериев.

Производительность за час основного времени работы пахотных агрегатов, создаваемых на основе серийных энергетических средств и проектируемых плугов, комплектуемых рабочими органами с нерегулируемой геометрией, имеет вид:

$$W = 0.36BV_e = (0.36\xi_k \xi_m \xi_d P_{кр} V_e) / k_v a, \text{ га/ч}, \quad (2)$$

где $B = (\xi_k \xi_m \xi_d P_{кр}) / k_v a$, - ширина захвата создаваемого плуга, м;

$k_v = k_0 + k_1 V_e + k_2 V_e^2$ - удельное сопротивление плуга, Н/м²;

V_e - рабочая скорость плуга, м/с;

k_0, k_1, k_2 - коэффициенты, полученные при аппроксимации результатов испытаний плугов-аналогов, укомплектованных плужными корпусами, которыми планируется оснастить создаваемые плуги;

a - глубина вспашки, м;

$P_{кр} = P_0 + n_1 V_e + n_2 V_e^2$ - зависимость номинального крюкового усилия трактора от рабочей скорости в предположении бесступенчатого его изменения в ограниченном скоростном диапазоне, Н;

P_0, n_1, n_2 - коэффициенты, полученные при аппроксимации значений экспериментальных данных тяговых характеристик трактора на стерне на его рабочих скоростях;

ξ_k, ξ_m, ξ_d - коэффициенты, учитывающие соответственно использование номинального крюкового усилия трактора, влияние на его тяговые свойства изменения несущей способности почвогрунта при взаимодействии с движителем и изменения крюкового усилия трактора от схемы агрегатирования с ним плуга.

Погектарный расход топлива за час основного времени работы пахотных агрегатов, создаваемых

на основе серийных энергетических средств и проектируемых плугов, может быть определен из выражения:

$$\theta = Q_m / W; \text{ кг/га}, \quad (3)$$

где $Q = \xi_k q_e N_e$, кг/ч, где ξ_k - часовой расход топлива; $q_e = q_0 + r_1 V_e + r_2 V_e^2$ - удельный расход топлива, кг/кВт.ч; q_0, r_1, r_2 - коэффициенты, полученные в результате аппроксимации экспериментальных данных; N_e - эффективная мощность двигателя трактора, кВт.

Целевая функция производительности с учетом коэффициента использования времени движения пахотных агрегатов, создаваемых на основе серийных энергетических средств и проектируемых плугов имеет вид:

$$W_\tau = W\tau, \text{ га/ч}, \quad (4)$$

где τ - коэффициент использования времени движения [4].

Массу плуга, создаваемого на модульном принципе, можно определить из линейной зависимости:

$$m_m = m_0 + S_m B, \text{ кг}, \quad (5)$$

где m_0 - постоянная величина, получаемая аппроксимацией исходных данных макетных образцов навесных и полунавесных плугов, создаваемых по модульному принципу; S_m - масса, приходящаяся на 1 м ширины захвата плуга.

Целевая функция погектарного расхода топлива с учетом коэффициента использования времени движения пахотных агрегатов, создаваемых на основе серийных энергетических средств и проектируемых плугов, имеет вид:

$$\theta_\tau = \theta + [\theta_{mx} (1 - \tau) / W\tau], \text{ кг/га}, \quad (6)$$

где $\theta_{mx} = [f_k g (m_m + m_m) V_x q_{ex}] / 1020$, кг/ч, - часовой расход топлива во время холостых заездов; f_k - коэффициент сопротивления перекачиванию трактора при работе с плугом во время холостых заездов; g - ускорение свободного падения, м/с²; m_m - масса трактора, кг; q_{ex} - удельный расход топлива на поворотах, кг/кВт.ч.

Целевую функцию удельных совокупных энергозатрат пахотных агрегатов, комплектуемых серийными энергетическими средствами и проектируемыми плугами, можно представить:

$$\mathcal{E}_\tau = \alpha_m \theta + [(E_m + E_m) / W\tau], \text{ МДж/га}, \quad (7)$$

где

$$E_m = A_m m_m \rho_m / T_m, \text{ МДж/ч};$$

$$E_m = A_m m_m \rho_m / T_m, \text{ МДж/ч};$$

α_m - удельное энергосодержание топлива, МДж/кг; A_m и A_m - энергетические эквиваленты изготовления машины и трактора, МДж/кг; ρ_m - доля отчислений на ремонт и техобслуживание плуга; ρ_m - доля отчислений на капитальный и текущий ремонты трактора; T_m, T_m - соответственно годовой объем работы плуга и трактора, ч.

Таким образом, для оптимизации параметров и режимов работы проектируемых плугов по частным критериям, используются целевые функции, представленные выражениями (4) и (6), а по обобщенному критерию применяется выражение (7).

В качестве примера рассмотрим выбор типа, обоснование оптимальных параметров и режимов работы плуга общего назначения к трактору МТЗ-1522 с использованием разработанных обобщенной и частных целевых функций при применении его в условиях Беларуси на полях, свободных от камней.

При оптимизации параметров и режимов работы навесных и полунавесных плугов общего назначения принимаем следующие прямые и функциональные ограничения:

- количество корпусов на навесном плуге

$$4 \leq n_n \leq 5;$$

- количество корпусов на полунавесном плуге

$$6 \leq n_n \leq 7;$$

- рабочая ширина захвата плужного корпуса

$$0,35 \leq b_k \leq 0,50 \text{ м};$$

- глубина вспашки почв зоны

$$0,18 \leq a \leq 0,26 \text{ м};$$

- рабочая скорость вспашки

$$1,27 \leq V_e \leq 3,33 \text{ м/с};$$

- пределы изменения удельного сопротивления плуга, укомплектованного плужными корпусами КУ-51:

$$k_{V \min} \leq k_V \leq k_{V \max};$$

где $k_{V \min} = 34438 - 1038V_e + 598V_e^2$, H/m^2 для супесчаных почв;

$k_{V \max} = 44142 + 1787V_e + 598V_e^2$, H/m^2 для суглинистых почв.

Для оптимизации параметров и скоростных режимов работы создаваемых плугов общего назначения к трактору МТЗ-1522 необходимо представить графически целевые функции (4), (6) и (7), характеризующие эффективность работы плугов по частным и обобщенному критерию.

Применяя прямые методы поиска оптимума названных целевых функций с использованием программы, разработанной на Turbo Pascal с применением ее графического модуля, строятся на персональной ЭВМ для навесных и полунавесных плугов к трактору МТЗ-1522 фронтальные сечения поверхностей отклика (потенциальные характеристики эффективности) при дискретных значениях глубин пахоты для предельных значений удельного сопротивления почв зоны вспашки, характеризующие эффективность создаваемых плугов к этому трактору по частным и обобщенному критериям при работе на супесчаной и суглинистой почвах в диапазоне глубин $a = 0,18 \dots 0,26$ м. Расчеты проводились для вероятной длины гона $L = 500$ м.

В качестве входных данных при оптимизации параметров и режимов работы плугов использовались результаты испытаний трактора МТЗ-1522 (режим 150 л.с.) по определению тягового усилия, удельного расхода топлива и буксования на 4-х рабочих передачах, полученные на испытательной станции Апчак ГСКБ МТЗ при испытании трактора включенным передним мостом и балластировании грузами.

В качестве исходных данных при выполнении условной оптимизации параметров и режимов работы разрабатываемых плугов, кроме указанных выше величин и значений величин для расчета коэффициента [4], использовались:

$m_m = 6800$ кг; $f_k = 0,15$; $R_{ан} = 6,0$ м; $R_{ан} = 10$ м;
 $L_1 = 5,5$ м; $L_{ан} = 0,8$ м; $L_{ан} = 2,8$ м; $m_{ан} = 600$ кг;
 $m_{ан} = 1250$ кг; $S_{мн} = 150$; $S_{мн} = 210$; $P_0 = 52552$ Н;
 $n_1 = -13335$; $n_2 = 1243$; $N_e = 110,6$ кВт;
 $q_0 = 0,340$ кг/кВт.ч; $r_1 = -0,0425$; $r_2 = 0,006$;
 $\xi_k = 0,94$; $\xi_m = 0,83$ (для супесчаных почв);
 $\xi_d = 1,08$; $\alpha_m = 42,7$ МДж/кг; $A_m = 86,4$ МДж/кг;
 $A_m = 70,4$ МДж/кг; $\rho_m = 0,285$; $\rho_m = 0,325$;
 $T_m = 1000$ ч; $T_m = 150$ ч.

Нами получены технико-экономические показатели, оптимальные параметры и режимы работы 6-корпусного полунавесного и 5-корпусного навесного плугов общего назначения (рис.1) с изменяемой шириной захвата в пределах 0,35...0,50 м на один плужный корпус для трактора МТЗ-1522 (150 л.с.).

Анализ потенциальных характеристик эффективности по производительности производности полунавесного и

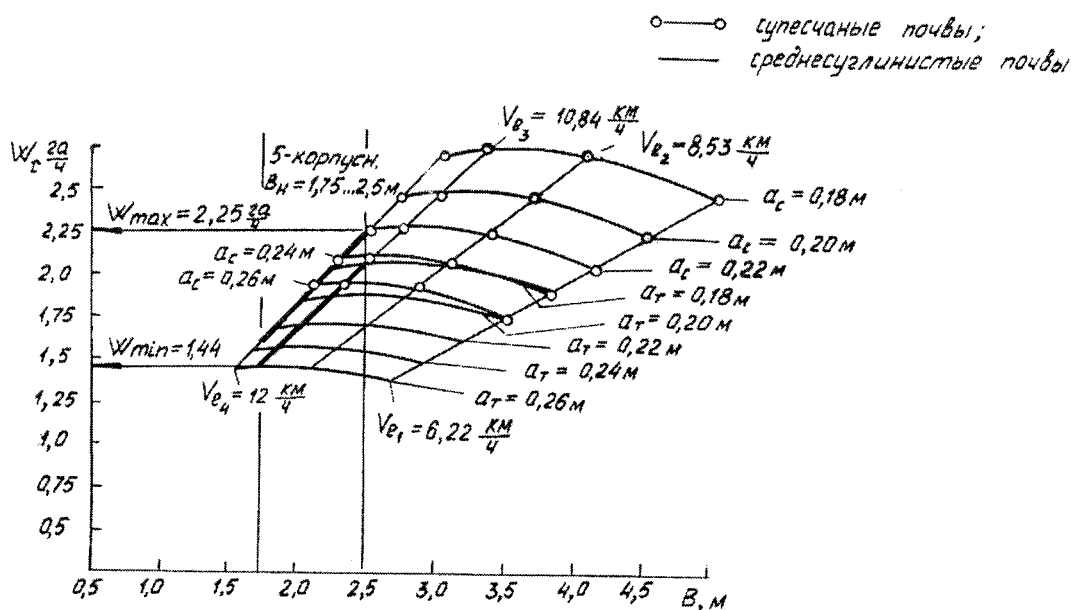


Рис. 1. Потенциальные характеристики эффективности по критерию производительности за 1 час технологического времени навесных плугов к трактору МТЗ-1522.

навесного плугов к трактору МТЗ-1522, показывает, что применение 6-корпусного полунавесного плуга ($B_n = 2,1 \dots 3,0$ м) позволяет за час технологического времени получить производительность 1,41...2,59 га/ч соответственно при работе в диапазоне глубин пахоты 0,26...0,18 м на характерных почвах вышеуказанной пахотной зоны.

В тех же условиях 5-корпусный навесной плуг

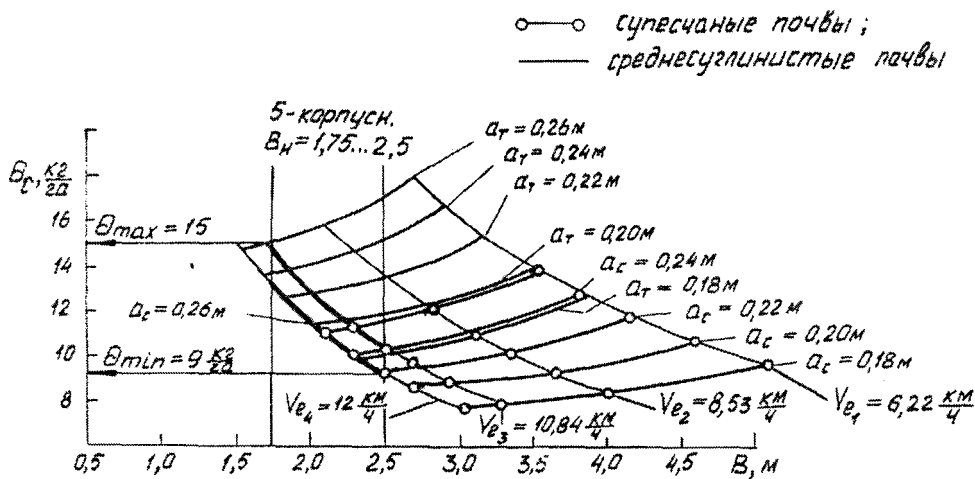


Рис. 2. Потенциальные характеристики эффективности по критерию удельного расхода топлива за 1 час технологического времени навесных плугов к трактору МТЗ-1522.

($B_n = 1,75 \dots 2,5$ м) к трактору МТЗ-1522 (рис. 1) обеспечивает производительность 1,44...2,25 га/ч. Причем для полунавесного плуга только в более легких почвенных условиях при вспашке на глубину 0,22...0,18 м обеспечивается приращение производительности, составляющее 0,34 га/ч против навесного плуга к этому же трактору.

Потенциальные характеристики эффективности по погектарному расходу топлива 6-корпусного полунавесного и 5-корпусного навесного плугов к трактору МТЗ-1522 в указанных условиях обеспечивают соответственно расход топлива 16...8 кг/га для полунавесного плуга и 15...9 кг/га для навесного плуга (рис. 2). Причем на максимальной глубине пахоты, составляющей 0,26 м для тяжелых почв, у навесного плуга расход топлива на 1 кг/га ниже, а на минимальной глубине пахоты 0,18 м для легких почв наоборот у полунавесного плуга расход топлива на 1 кг/га ниже, чем у навесного плуга.

Таким образом, (см. рис. 1 и 2) только по про-

изводительности на легких почвах при малых глубинах пахоты (менее 0,22 м) 6-корпусный полунавесной плуг к трактору МТЗ-1522 теоретически обнаруживает некоторые преимущества, которые, на наш взгляд, будут теряться при работе на более коротких гонах пахоты (менее 300 м) и из-за забивания полунавесных плугов растительными и полеглыми пожнивными остатками.

Удельные совокупные энергозатраты 5-корпусного навесного плуга (рис. 3) для вышеуказанных почвенных

условий при работе в агрегате с трактором МТЗ-1522 в диапазоне глубин $a = 0,18 \dots 0,26$ м в скоростном диапазоне $V_e = 10,84 \dots 12$ км/ч составляют 480...780 МДж/га. Для 6-корпусного полунавесного плуга в тех же почвенных условиях в вышеуказан-

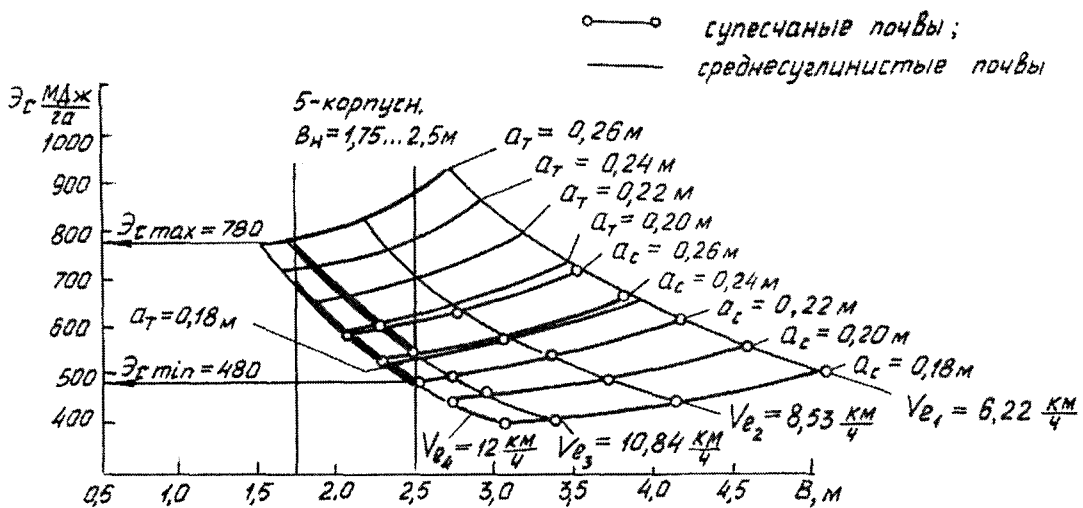


Рис. 3. Потенциальные характеристики эффективности по критерию удельных совокупных энергозатрат навесных плугов к трактору МТЗ-1522.

ном диапазоне глубин в скоростном диапазоне $V_e = 8,53 \dots 12$ км/ч при работе с трактором МТЗ-1522 удельные совокупные энергозатраты составляют 600...830 МДж/га. Следовательно, по данному критерию 5-корпусный навесной плуг имеет преимущество перед 6-корпусным полунавесным плугом, так как его удельные совокупные энергозатраты ниже.

Отбросив при предварительном анализе нера-