

# НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМАТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПЛУГОВ В АГРЕГАТЕ С ТРАКТОРАМИ ПО МТЗ

Н.Ф. Кулашик, инженер

УО «БГАТУ»

(г. Минск, Республика Беларусь)

The author gives in the article the methods of basis parameters and regimes of ploughs' work in the unit with tractors of Industrial Joining up Minsk Tractor's Plant.

В настоящее время в республике производится переоснащение тракторного парка тракторами ПО «Минский тракторный завод». Основными пахотными тракторами в сельском хозяйстве будут МТЗ-1221 и МТЗ-1522. В связи с этим возникает необходимость обосновать параметры плугов и режимов работы пахотных агрегатов с этими тракторами, а перед машиностроительным комплексом республики встает задача создания к этим тракторам плугов высокого технического уровня.

Обоснование рациональных схематических решений, оптимальных параметров и режимов работы создаваемых плугов предлагается осуществить с использованием принципов и методов автоматизированного функционального проектирования, в основе которых лежит исследование целевых функций, количественно описывающих функционирование проектируемой машины в меняющихся условиях ее эксплуатации [1, 2].

Применение методов математического моделирования на этапе разработки технического задания позволяет поднять уровень проектных исследований и повысить качество принимаемых технических решений.

Для этого необходимо дать обобщенную постановку задачи формирования облика плуга высокого технического уровня. Она формируется таким образом: обосновать тип плуга – навесной или полунавесной; найти рациональное схематическое решение; оптимальное сочетание параметров плуга, характеризующих его ширину захвата, число корпусов и рабочую скорость, которые бы удовлетворяли требованиям, предъявляемым к проектируемому плугу и

обеспечивали бы достижение минимального значения целевой функции при работе с энергетическим средством. Облик плуга характеризуется, прежде всего, типом плуга и его схематическими признаками. Эти признаки определяют, прежде всего, принципиальную схему плуга -- навесная или полунавесная; с защитой плужных корпусов от камней или без защиты от камней; без догрузки ходовой системы (опорное колесо плуга установлено в средней части плуга); с частичной догрузкой ходовой системы (опорное колесо плуга установлено в его хвостовой части); с полной догрузкой ходовой системы (опорное колесо отсутствует, и глубина хода плуга устанавливается за счет САРГ трактора); с возможностью бесступенчатого изменения ширины захвата в определенных пределах; без изменения ширины захвата плуга; с дискретно регулируемой геометрией плужных корпусов; с плавно регулируемой геометрией плужных корпусов; с постоянно установленными плужными корпусами одного типа.

Схематические признаки дискретны, поэтому при автоматизированном проектировании их можно закодировать определенными числами, выступающими в роли константы для одного варианта расчета. В рамках заданной схемы оптимальные параметры будут определяться шириной захвата или пределами изменения ширины захвата плуга, числом корпусов на плуге и рабочей скоростью.

Итак, варьируя схематическими решениями, а также параметрами и скоростными режимами, проектировщик достигает цели проектирования. Увеличение числа комбинаций различных схематических решений может привести к улучшению технико-экономических характеристик проектируемого плуга.

Рассмотрим теперь основные факторы, которые формируют область существования проекта плуга, т.е. выступают в качестве ограничений при выборе проектных параметров. Прежде всего, это ограничения, диктуемые условиями физической реализуемости проекта плуга.

В качестве ограничений при проектировании плуга выступают:

- количество корпусов на плуге  $n_{k \min} \leq n_k \leq n_{k \max}$  ;
- рабочая ширина захвата плужного корпуса  $b_{\min} \leq b_k \leq b_{\max}$  ;
- установочная глубина вспашки  $a_{\min} \leq a_k \leq a_{\max}$  ;
- рабочая скорость вспашки  $V_{e \min} \leq V_e \leq V_{e \max}$  ;

- удельное сопротивление различных почв зоны вспашке  
 $K_{v \min} \leq K_{vi} \leq K_{v \max}$ .

При постановке задачи оптимального проектирования плуга особое внимание заслуживают потенциальные эксплуатационные характеристики энергетических средств, относящиеся к группе входных данных, полученные аппроксимацией результатов государственных, предварительных, заводских и других испытаний трактора, к которому создается плуг.

К ним относятся:

- зависимость номинального крюкового усилия трактора от рабочей скорости в предположении бесступенчатого его изменения в ограниченном скоростном диапазоне

$$P_{KP} = P_0 + n_1 V_e + n_2 V_e^2, \text{ Н,} \quad (1)$$

где  $P_0$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  - коэффициенты, полученные в результате аппроксимации значений экспериментальных данных тяговых характеристик трактора на стерне на его рабочих скоростях  $V_e$ ;

- зависимость тягового КПД трактора от скорости

$$\eta_T = \frac{N_{KP}}{N_e} = \frac{P_{KP} V_e}{1020 N_e} = \frac{(P_0 + n_1 V_e + n_2 V_e^2) V_e}{1020 N_e}, \quad (2)$$

где  $N_e$  - эффективная мощность двигателя трактора, кВт;

- зависимость крюкового расхода топлива от скорости

$$g_e = g_0 + r_1 V_e + r_2 V_e^2, \text{ кг/кВт ч,} \quad (3)$$

где  $g_0$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  - коэффициенты, полученные в результате аппроксимации значений экспериментальных данных трактора на его рабочих передачах;

- зависимость буксования от скорости

$$\delta = \delta_0 + S_1 V_e + S_2 V_e^2, \quad (4)$$

где  $\delta_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  - коэффициенты, полученные аппроксимацией результатов экспериментов.

Рабочая гипотеза, положенная в основу постановки задачи оптимального проектирования плуга к трактору, может быть сформулирована таким образом: наивысшие показатели эффективности пахотного агрегата, создаваемого к трактору на основе проектируемого плуга, будут иметь место тогда, когда эффективные технические решения, заложенные в конструкцию плуга, предназначены

ного для работы в меняющихся почвенных ситуациях (различные типы почв, почвенные фоны и глубины вспашки), позволяют обеспечить рациональную загрузку двигателя трактора и оптимальное сочетание ширины захвата и скорости вспашки, а технологический процесс вспашки выполнять с учетом минимальных удельных совокупных энергозатрат при достижении необходимого уровня агропоказателей вспашки почвы как под зябь, так и под посев различных культур.

При этом рациональной будет считаться такая схема, которая по сравнению с другими обеспечивает в меняющихся условиях и производственных ситуациях наименьшие значения совокупных удельных энергозатрат при выполнении вспашки с учетом ее соответствия агротребованиям. Одновременно должны учитываться значения показателей эффективности рациональной схемы плуга, полученных с использованием частных целевых функций по критериям производительности и погектарного расхода топлива.

Число плужных корпусов и пределы изменения ширины захвата плуга рациональной схемы могут быть определены после анализа поверхностей отклика (потенциальных характеристик эффективности), построенных с использованием целевых функций удельных совокупных энергозатрат.

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

- производительность за час сменного времени  $W_{\tau}$ , га/ч;
- погектарный расход топлива  $Q_{\tau}$ , кг/га;
- удельные совокупные энергетические затраты  $\mathcal{E}_{\tau}$ , МДж/га.

Если частные критерии производительности  $W_{\tau}$  и погектарного расхода топлива  $Q_{\tau}$  характеризуют проектируемый плуг лишь с одной стороны, то в обобщенном критерии удельных совокупных энергетических затрат  $\mathcal{E}_{\tau}$  пахотных агрегатов, создаваемых на основе проектируемых плугов, отражаются в виде составных элементов прямые энергозатраты израсходованного топлива, косвенные энергетические затраты на производство серийно выпускаемого трактора и проектируемой машины [3].

Следует оговорить, что оптимизация параметров и режимов работы проектируемого изделия по обобщенному критерию  $\mathcal{E}_{\tau}$  является достаточным условием оптимальности его параметров и режимов, поэтому оптимизация параметров по частным критериям

производительности  $W_{\tau}$  и погектарного расхода топлива  $Q_{\tau}$  является излишним. Однако представленные графически сечения поверхностей отклика по частным критериям  $W_{\tau}$  и  $Q_{\tau}$  могут быть ценным источником дополнительной информации при определении пределов изменения технико-экономических показателей изделия, параметры и режимы работы которого оптимизированы по обобщенному критерию удельных совокупных энергозатрат  $\Xi_{\tau}$ .

Таким образом, для выбора уровня технико-экономических показателей, выявления рациональных схемных решений проектируемых плугов, оптимизации параметров и режимов их работы по вышеуказанным критериям необходимо составить целевые функции производительности, погектарного расхода топлива, удельных совокупных энергозатрат в функции управляемых параметров и режимов ( $B, V_e$ ), которые можно представить в виде

$$\begin{aligned} W_{\tau}(B, V_e) &\rightarrow \max; \quad \Xi_{\tau}(B, V_e) \rightarrow \min; \\ Q_{\tau}(B, V_e) &\rightarrow \min. \end{aligned} \quad (5)$$

Выполним разработку целевых функций (5), характеризующих функционирование в меняющихся почвенных условиях и производственных ситуациях проектируемых плугов, агрегируемых с серийными энергетическими средствами, которые характеризуют их эффективность с учетом принятых критериев.

Производительность пахотного агрегата, включающего трактор и плуг, зависит от эксплуатационных тяговых возможностей энергетического средства, геометрических и линейных параметров рабочих органов, конструкции плуга в целом, схемы его агрегирования с трактором, свойств почвы и размерных характеристик обрабатываемого поля.

Изменение удельного сопротивления плугов в зависимости от рабочей скорости в общем случае можно определить рациональным многочленом вида

$$k_v = k_0 + k_1 V_e + k_2 V_e^2 + \dots + k_n V_e^n, \text{ Н/м}^2. \quad (6)$$

Ограничимся тремя членами этого многочлена. В частном случае для плугов, оснащаемых регулируемыми плужными корпусами, у которых изменяются по определенным законам от скорости угла в плане и наклона лемешно-отвальной поверхности ко дну борозды, коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  равняются нулю; тогда удельное сопротивление плуга

$$k_{v1} = k_0, \text{ Н/м}^2. \quad (7)$$

Для плугов, оснащаемых регулируруемыми плужными корпусами, у которых изменяются углы в плане, зависимость удельного сопротивления плуга от скорости можно аппроксимировать линейной функцией

$$k_{v2} = k_0 + k_1 V_e, \text{ Н/м}^2. \quad (8)$$

Удельное сопротивление плугов, оснащаемых нерегулируемыми плужными корпусами, можно определить при  $k_p = 0$  из формулы (6), аппроксимирующей результаты экспериментальных исследований таких плугов:

$$k_{v3} = k_0 + k_1 V_e + k_2 V_e^2, \text{ Н/м}^2. \quad (9)$$

Тогда с учетом значений удельного сопротивления (7), (8) и (9) сопротивление плугов, оснащаемых плужными корпусами различного конструктивного исполнения, можно определить из зависимостей

$$P = k_v aB; \quad (10)$$

$$P_1 = k_0 aB; \quad (10 \text{ а})$$

$$P_2 = (k_0 + k_1 V_e) aB; \quad (10 \text{ б})$$

$$P_3 = (k_0 + k_1 V_e + k_2 V_e^2) aB, \quad (10 \text{ в})$$

где  $a$  и  $B$  – глубина вспашки и рабочая ширина захвата плуга соответственно, м.

Условие нормального функционирования агрегата, состоящего из трактора и проектируемого плуга, с учетом зависимости (10) можно записать

$$\xi_K \xi_T \xi_d P_{кр} = k_v aB, \quad (11)$$

где  $k_v$  определяется зависимостями (7), (8) и (9);  $\xi_K$  – коэффициент использования номинального крюкового усилия трактора, учитывающий неоднородность сопротивления почвы по длине гона,  $\xi_K = 0,90-0,95$ ;  $\xi_T$  – коэффициент, учитывающий влияние на тяговые свойства трактора изменения несущей способности почвогрунта при взаимодействии с двигателем трактора, при работе на почвах, имеющих существенное отличие от стандартных условий, в которых определялись тяговые характеристики трактора,  $\xi_T = 0,90-1,10$ ;  $\xi_d$  – коэффициент, учитывающий изменение крюкового усилия трактора от схемы агрегатирования плуга с трактором, при которой:

- вертикальное усилие от массы плуга полностью воспринимается ходовой системой трактора ( $\xi_{д} = 1,15$ );
- вертикальное усилие от массы плуга частично воспринимается ходовой системой трактора ( $\xi_{д} = 1,08$ );
- вертикальное усилие от массы плуга полностью воспринимается опорным колесом плуга, установленным в средней его части ( $\xi_{д} = 1,0$ ).

Из выражения (11) ширину захвата создаваемого плуга можно определить

$$B = \frac{\xi_k \xi_T \xi_{д} P_{кр}}{k_v a}, \text{ м}, \quad (12)$$

где  $P_{кр}$  и  $k_v$  определяются из зависимостей (1), (7), (8), (9).

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

$$W = 0,36 B V_e = \frac{0,36 \xi_k \xi_T \xi_{д} P_{кр} V_e}{k_v a}, \text{ га/ч}. \quad (13)$$

Погектарный расход топлива за час основного времени работы пахотных агрегатов, создаваемых на основе серийных энергетических средств и проектируемых плугов, может быть определен из выражения

$$Q = \frac{Q_T}{W}, \text{ кг/га}, \quad (14)$$

где  $Q_T = \xi_k g_e N_e$ , кг/ч – часовой расход топлива;  $g_e$ , кг/кВт·ч – крюковой расход топлива, определеннный из зависимости (3).

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

$$W_{\tau} = W \tau, \quad (15)$$

где

$$\tau = \frac{\alpha_v L_{\Gamma}}{\alpha_v L_{\Gamma} + 0,5C_{\Gamma} + R_a + 2L_a + (8 R_a^2 / C_{\Gamma}) + \alpha_v B [(2L_1 / C_{\Gamma}) + 1]}$$

коэффициент использования времени движения [4];  $C_T = 2 \sqrt{BL_T}$  – оптимальная ширина загона, м;  $\alpha_V = V_X / V_e$ ;  $V_X$  – скорость агрегата на поворотах;  $L_T$  – вероятная длина гона, на которой планируется использование создаваемого плуга, м;  $R_a$  – радиус поворота агрегата с навесным или полунавесным плугом, м;  $L_a = l_1 + (l_0 + 1,7B)$ , м – длина пахотного агрегата;  $l_1$  – длина агрегируемого трактора с учетом длины нижних тяг навесного устройства, м;  $l_0$  – постоянная величина, получаемая аппроксимацией исходных данных макетных образцов навесных или полунавесных плугов, создаваемых на модульном принципе, м.

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

$$m_M = m_0 + S_M B, \text{ кг}, \quad (16)$$

где  $m_0$  – постоянная величина, получаемая аппроксимацией исходных данных макетных образцов навесных и полунавесных плугов, создаваемых на модульном принципе, кг;  $S_M$  – масса, приходящаяся на 1 м ширины захвата плуга, кг/м.

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

$$Q_\tau = Q + \frac{Q_{TX} (1-\tau)}{W_\tau}, \text{ кг/га}, \quad (17)$$

где  $Q_{TX} = [f_k q (m_T + m_M) V_X g_{ex}] / 1020$ , кг/ч – часовой расход топлива во время холостых заездов;  $f_k$  – коэффициент сопротивления перекачиванию трактора при работе с плугом во время холостых заездов;  $q$  – ускорение свободного падения, м/с;  $m_T$  – масса трактора, кг;  $g_{ex}$  – удельный расход топлива на поворотах, кг/кВт·ч.

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

$$E_\tau = \alpha_\tau Q_\tau + \frac{E_M + E_T}{W_\tau}, \text{ МДж/га}, \quad (18)$$

где  $E_M = A_M m_M \rho_M / T_M$ , МДж/ч – энергоемкость изготовления машины;  $E_T = A_T m_T \rho_T / T_T$ , МДж/ч – энергоемкость изготовления

трактора;  $\alpha_t$  – удельное энергосодержание топлива, МДж/кг;  $A_M$  и  $A_T$  – энергетические эквиваленты изготовления машины и трактора, МДж/кг;  $\rho_M$  – доля отчислений на ремонт и техобслуживание плуга;  $\rho_T$  – доля отчислений на капитальный и текущий ремонт трактора;  $T_M$  и  $T_T$  – годовой объем работы плуга и трактора соответственно, ч.

Таким образом, для оптимизации параметров и режимов работы проектируемых плугов по частным критериям используются целевые функции, представленные выражениями (15) и (17), а по обобщенному критерию применяется выражение (18).

При этих параметрах и режимах работы плуга энергетическое средство будет эксплуатироваться в экономичном режиме и его тяговый КПД будет достигать максимальных величин.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Егер С.М., Лисейцев Н.К., Самойлович О.Г. Основы автоматизированного проектирования самолетов. - М.: Машиностроение, 1986.
2. Кузьмик П.К., Маничев В.Б. Автоматизация функционального проектирования Серия САПР № 5 / Под ред. И.П. Норенкова. - М.: Высш. шк., 1986.
3. Фере М.Е., Воронов Е.М. Оптимальная ширина загона для энергонасыщенного пахотного агрегата // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1972.-№ 8.
4. Севернев М.М., Колос В.А., Дашков В.Н. Временная методика энергетического анализа в сельском хозяйстве. - Мн.: ЦНИИ-МЭСХ, 1991.