

УДК 338. 329. 3

И. В. Емельянович, П. А. Амельченко, д-р техн. наук, проф., Н. И. Жуковский

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МТА НА БАЗЕ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ

В работе дается обоснование выбора целевых функций экономико-математических моделей МТА на базе колесных тракторов, учитывающих коэффициенты экономичности, функционально связанных с КПД трактора и резервами производительности используемых тракторов.

Существующие методы унификации машинно-тракторных агрегатов (МТА) на базе колесных тракторов [2–4] оперируют разными критериями степени их унификации. Отличие методов оценки степени унификации МТА на базе колесных тракторов состоит в обосновании целевых функций экономико-математических моделей МТА.

Как известно, производительность одних и тех же МТА на базе одного и того же колесного трактора зависит от следующих основных факторов:

- размеров обрабатываемых полей;
- вида сельскохозяйственных операций в годовом объеме занятости трактора.

Все методы оценки степени унификации при обосновании целевой функции экономико-математической модели исходят из условия обеспечения экономической эффективности параметров МТА, в большей степени полагаясь на известные рекуррентные зависимости [2–4], полученные теоретическими методами. По нашему мнению, для адекватного отражения реального процесса целевая функция должна базироваться на экспериментальных статистических данных эксплуатации МТА в различных условиях их использования. Основываясь на статистических данных, нами получены рекуррентные формулы целевых функций, отражающие критерии минимальных затрат и максимальной производительности МТА:

$$F_3 = \sum_{l=1}^{\bar{m}} \sum_{j=1}^{\bar{n}} \sum_{\kappa=1}^N \sum_{S=1}^J C_{ijsk} X_{ijsk} + \sum (a_j + E_m) \Pi_j X_j \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$F_3 = \left[\sum_{s=1}^J C_s - \sum_{i=1}^{\bar{m}} \sum_{s=1}^J \sum_{J=1}^{\bar{n}} \sum_{\kappa=1}^N C_{ijsk} X_{ijsk} + \sum_{j=1}^{\bar{n}} (a_j + E_n) \Pi_j X_j \right] / \left[\sum_{i=1}^{\bar{m}} \sum_{s=1}^J \sum_{j=1}^{\bar{n}} \sum_{\kappa=1}^N \frac{m_{ijsk}}{W_{ijsk}} \right] \rightarrow \max, \quad (2)$$

где i – индекс вида работ (операции), $i = 1, \bar{m}$; m – число видов работ; j – индекс вида агрегата ($j = 1, \bar{n}$); n – число видов агрегатов; κ – индекс расчетного периода ($\kappa = 1, \bar{N}$); N – число расчетных периодов; S – индекс возделываемых в хозяйстве культур ($S = 1, \bar{J}$); J – количество возделываемых в хозяйстве культур; C_s – стоимость всей продукции, производимой в хозяйстве, р.; C_{ijsk} – прямые затраты на эксплуатацию j -го агрегата на i -й операции при возделывании S -й культуры на κ -м периоде; X_{ijsk} – количество агрегатов вида j , участвующих в выполнении операции i при возделывании S -й культуры в периоде K ; a_j – коэффициент отчислений на реновацию; E_n – нормативный коэффициент эффективности капложений в отрасли, $E_n = 0,15$; Π_j – балансовая стоимость машин вида j ; m_{ijsk} – число рабочих, обслуживающих агрегат, выполняющий операцию i при возделывании

культуры S в периоде K ; W_{ijsk} – часовая производительность агрегата j на операции i при возделывании культуры S в периоде K .

На целевые функции (1) и (2) накладывается следующее ограничительное условие:

$$\sum_{j=1}^n X_{ijsk} W_{ijsk} d_n = B_{ijsk}, \quad (3)$$

где d_n – продолжительность периода K ; B_{ijsk} – объем работы, выполняемой в периоде K при возделывании культуры S .

Работа МТА в пределах заданного агротехнического срока рассчитывается по формуле

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n X_{ijsk} W_{ijsk} &= \alpha_1 \sum_{j=1}^n X_{ejsk} W_{ejsk} = \\ &= \dots = \alpha_i \sum_{j=1}^n X_{ijsk} W_{ijsk} = \alpha_m \sum_{j=1}^n X_{mjsk} W_{mjsk}, \quad (4) \end{aligned}$$

где α_m – коэффициент согласованной работы МТА.

Условие согласованного выполнения МТА технологических процессов в пределах заданного агротехнического срока представляется в виде

$$\sum_{j=1}^n X_{ijs1} W_{ijs1} = \sum_{j=1}^n X_{mjs2} W_{mjs2} = \sum_{j=1}^n X_{ijsk} W_{ijsk}. \quad (5)$$

Условие возникновения непредвиденных случайных факторов при работе МТА определяется следующими неравенствами:

$$\sum_{j=1}^n X_{ijs1} \geq 0; \quad x_j \geq 0. \quad (6)$$

Как известно, основным параметром, характеризующим эффективность работы трактора, является его тяговый КПД, который можно определить по известной формуле [1]

$$\eta_T = \eta_{mg} \cdot \eta_b \cdot \eta_f, \quad (7)$$

где η_T – тяговый КПД трактора; η_{mg} –

КПД трансмиссии; η_b – КПД, учитывающий потери от буксования движителей; η_f – КПД, учитывающий потери на сопротивление качению движителей машины.

Обычно полагают, что η_{mg} не зависит от величины передаваемой мощности и моментов, т. е. $\eta_{mg} = \text{const}$. Полагаем также, что η_b в интервале изменения сил тяги трактора, зависящего от вида выполняемых работ и условий эксплуатации, изменяется незначительно, т. е. $\eta_b \approx \text{const}$. При постоянных значениях η_{mg} и η_b получим формулу расчета η_f :

$$\eta_f = \frac{P_{kp}}{P_k} = \frac{P_k - P_f}{P_k} = 1 - \frac{P_f}{P_k}, \quad (8)$$

где P_{kp} – усилие на крюке трактора; P_k – касательная сила тяги; P_f – сила сопротивления движению МТА.

Касательная сила тяги на ведущих колесах – это важнейший тягово-динамический показатель, зависящий от многих факторов, в том числе от конструкции шин [5].

После подстановки (8) в уравнение (7) и при условии, что $\eta_{mg} \cdot \eta_b \approx 0,85$, получим уравнение тягового КПД

$$\eta_T = 0,85 \cdot \left(1 - \frac{P_f}{P_k} \right). \quad (9)$$

Из уравнения (9) видно, что при увеличении силы сопротивления P_f общий КПД машины падает.

В теории унификации МТА принято использовать безразмерные коэффициенты, такие как коэффициент загрузки трактора. Коэффициент загрузки трактора определяется по формуле

$$K = \frac{P_k}{P_{ki}}, \quad (10)$$

где P_{ki} – расчетное значение касательной силы тяги на i -й передаче.

С учетом (10) перепишем уравне-

ние тягового КПД в форме

$$\eta_T = 0,85 \left(1 - \frac{P_f}{K \cdot P_{ki}} \right). \quad (11)$$

Из формулы (11) видно, что тяговый КПД трактора увеличивается с возрастанием коэффициента загрузки трактора. Однако данный коэффициент в явной форме не дает оценку экономичности работы МТА. Влияния коэффициента загрузки трактора на КПД тем сильнее, чем больше коэффициент использования трактора: $\Psi = P_f / P_{ki}$.

На рис. 1 приведены кривые изменения КПД трактора в зависимости от коэффициента загрузки трактора. Кривые $\eta = f(K)$ принято называть характеристиками экономичности работы трактора [6].

Из рис. 1 следует, что для повышения КПД необходимо повышать коэффициент загрузки трактора, который не остается постоянным и зависит от условий работы, скорости движения трактора и т. д.

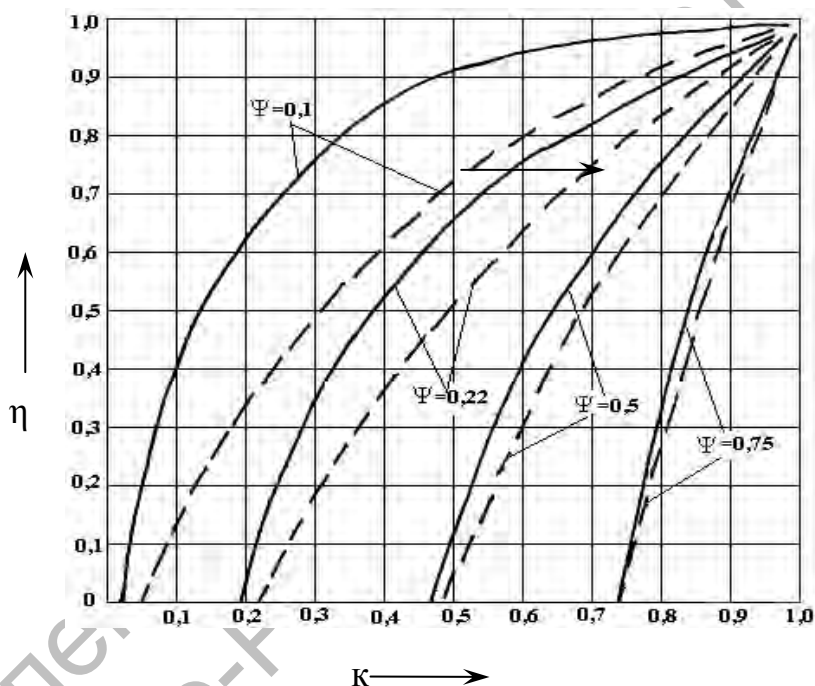


Рис. 1. Изменение тягового КПД в зависимости от коэффициентов загрузки трактора K и использования трактора Ψ (пунктирные линии – кривые изменения тягового КПД трактора при недогрузке)

Статистическими данными установлено, что при работе на высших передачах экономичность трактора при недогрузках падает.

Сопротивления различных сельскохозяйственных машин и орудий при прочих равных условиях находятся в линейной зависимости от ширины захвата, веса машины, которые должны приниматься во внимание для комплектации оптимального МТА с целью по-

вышения экономичности и производительности.

При постоянной скорости МТА наблюдается линейная зависимость изменения производительности от крюкового усилия [3]. Обозначив производительность W_B в общем виде через производительность W_m при расчетной нагрузке, получим

$$W_B = \rho_w W_m, \quad (12)$$

где ρ_w – коэффициент производительности, численно равный

$$\rho_w = \frac{W_B}{W_m} = \frac{K_B \cdot P_{кр}}{K_B P_{крm}} = K_{кр}, \quad (13)$$

где K_B – удельное сопротивление, кг/м; $K_{кр}$ – коэффициент использования крюкового усилия.

Следовательно, из изложенного можно утверждать, что коэффициент производительности ρ_w численно равен коэффициенту использования крюкового усилия трактора.

Между коэффициентом производительности и коэффициентом загрузки трактора существует следующая функциональная связь:

$$\rho_w = \frac{K - \Psi}{1 - \Psi}. \quad (14)$$

Для оценки производительности в относительных величинах удобно пользоваться коэффициентом резерва производительности σ_w для каждого конкретного режима работы трактора:

$$\sigma_w = \frac{W_m - W_c}{W_B} = \frac{1}{\rho_w} - 1. \quad (15)$$

Данный коэффициент связан с коэффициентом загрузки трактора следующей зависимостью:

$$\sigma_w = \frac{1 - K}{K - \Psi}. \quad (16)$$

На рис. 2 и 3 приведены графики изменения ρ_w и σ_w в зависимости от коэффициента загрузки двигателя K . Анализ изменения ρ_w и σ_w показывает, что с уменьшением нагрузки производительность снижается непропорционально коэффициенту загрузки трактора. Так как производительность трактора зависит от Ψ , то при одинаковых коэффициентах загрузки трактора производительность МТА на разных передачах будет различна.

В [6] для оценки экономичности ра-

боты тракторного агрегата принят погектарный расход горючего. Оценка производится коэффициентом экономичности, который для каждого режима работы трактора определяется по формуле

$$\rho_c = \rho_w \frac{G_m}{G_T}, \quad (17)$$

где G_T – часовой расход топлива для данного режима работы трактора; G_m – часовой расход топлива при работе трактора на расчетном режиме.

Часовой расход трактора G_T можно определить через коэффициент использования крюкового усилия:

$$G_T = f(K_{кр}),$$

или через коэффициент загрузки трактора:

$$G_T = f_1(K).$$

Тогда ρ_c определяется по формуле

$$\begin{aligned} \rho_c = \rho_w &= \frac{G_m}{G_T} = \frac{K - \Psi}{1 - \Psi} \cdot \frac{G_m}{f_1(K)} = \\ &= \frac{(K - \Psi) \cdot G_m}{(1 - \Psi) \cdot f(K_{кр})}. \end{aligned} \quad (18)$$

Из уравнения (18) видно, что коэффициент экономичности трактора зависит от коэффициента загрузки двигателя и от коэффициента использования крюкового усилия. Уравнение (18) позволяет дать комплексную оценку экономичности работы трактора.

Для оценки эффективности работы МТА часто оперируют понятием эксплуатационного коэффициента полезного действия трактора $\eta_э$. Этот коэффициент представляет собой отношение суммы реализованных работ на крюке за некоторый период времени к сумме работ, произведенных за тот же период тракторным двигателем.

Таким образом, $\eta_э$ представляет собой как бы средневзвешенную величину коэффициента полезного действия трактора за определенный цикл работ. Величина $\eta_э$ определяется по формуле

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\sum \eta_i \cdot t_i}{t_{\text{общ}}}, \quad (19)$$

где η_i – КПД трактора на каждом отдельном режиме работы продолжительностью t_i ; $t_{\text{общ}}$ – общая продолжительность работы.

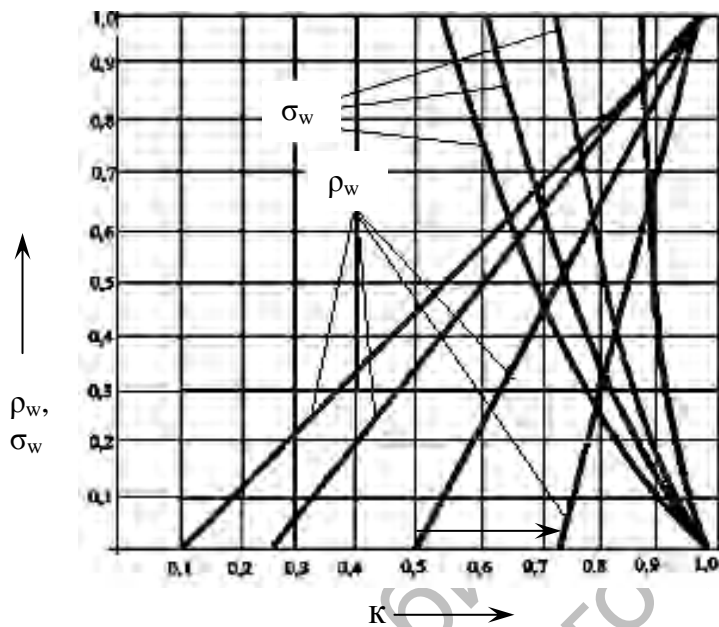


Рис. 2. Зависимость коэффициента и резерва производительности МТА от величины коэффициента крюкового усилия трактора

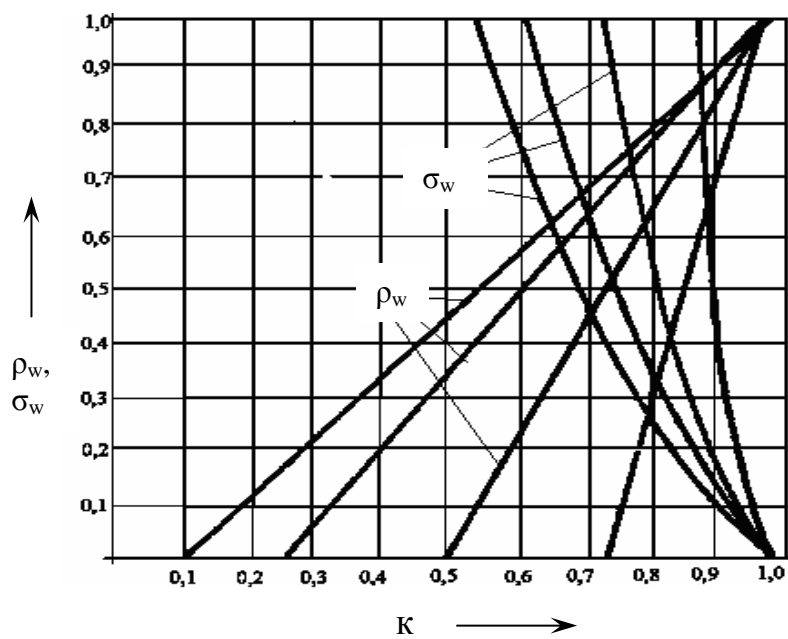


Рис. 3. Зависимость коэффициента и резерва производительности МТА от нагрузки двигателя трактора

Следовательно, целевые функции (1) и (2) экономико-математической модели, основанные на статистических данных эксплуатации МТА и на коэффициенте экономичности с достаточной степенью точности позволяют выбор оптимальных параметров МТА, соответствующих критериям минимальных затрат и максимальной производительности.

Выводы

1. Полученные на основе статистических данных целевые функции (1) экономико-математической модели унификации МТА (2) на базе колесных тракторов учитывают условия эксплуатации МТА и закономерности изменения коэффициентов загрузки тракторов и могут быть использованы в качестве теоретической модели при обосновании параметров унификации МТА на базе типоразмерного ряда тракторов «Беларус».

2. Эффективность использования МТА на базе типоразмерного ряда тракторов «Беларус» в большей степени зависит от коэффициента экономичности

р, крюкового КПД и коэффициента резерва производительности трактора, зависящих, в свою очередь, от условий эксплуатации МТА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тракторы. Теория / В. В. Гуськов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1988. – 375 с.
2. **Ксеневиц, И. П.** Совершенствование универсально-пропашных тракторов на основе унификации и комплексной стандартизации / И. П. Ксеневиц // Стандарты и качество. – 1978. – № 5. – С. 7–11.
3. Методика определения экономической эффективности модернизированных и новых конструкций тракторов и их агрегатов. – М. : ОНТИ НАТИ, 1972. – № 14. – С. 54–66.
4. **Котляр, Э. И.** К вопросу об определении уровня унификации / Э. И. Котляр // Тракторы и сельхозмашины. – 1971. – № 2. – С. 19–21.
5. **Бойков, В. П.** Исследование упругих характеристик тракторных шин для решения задач динамики машинно-тракторных агрегатов : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03. – Минск, 1978. – 247 с.
6. Об эффективности использования перспективных универсально-пропашных тракторов класса 2 / И. П. Ксеневиц [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 1977. – № 11.

ПО МТЗ
ОИМ НАН Беларуси
Материал поступил 21.04.2010

**I. V. Emelyanovich, P. A. Amelchenko,
N. I. Zhukovsky**
**Explanation of aimed function of economics –
mathematics model of orbital transfer vehicle
on the basis of wheeled tractors**

In the work the explanation of aimed function of economics – mathematics model of orbital transfer vehicle is given on the basis of wheeled tractors. This model takes into consideration efficiency coefficient, that is functionally connected with performance index and capacity reserve of the used tractor.