

зервный запас объема дежи, что намного увеличивает стоимость изготовления тестомесильных аппаратов из нержавеющей стали. Путем анализа технической и патентной литературы был предложен новый способ перемешивания теста на основе винтового месильного органа, обеспечивающего объемно-винтовое перемешивание замешиваемой массы. Выполненные исследования позволили определить изменение кривой в зависимости от дополнительного объема и резервной высоты дежи.

### Литература

1. Машины и аппараты пищевых производств / С.Т. Антипов [и др.]: учеб. для вузов / под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001. – 703 с.
2. Кошевой Е.П. Практикум по расчетам технологического оборудования пищевых производств. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 232 с.
3. Пат. № 2379893 Российская Федерация, МПК А21С1/02. Тестомесильная машина / В.Н. Невзоров, И.В. Мацкевич; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Краснояр. гос. аграр. ун-т»; заявл. 1317.06.08; опубл. 27.01.08.



УДК 629.114.2

Н.И. Селиванов, В.Н. Запрудский, Ю.Н. Макеева

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ АГРЕГАТОВ И УДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ НА ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ

*В статье обоснованы модели и алгоритм оптимизации диапазона рабочих скоростей почвообрабатывающих агрегатов. Установлены рациональные скоростные режимы использования агрегатов и удельные параметры тракторов для операционных технологий основной обработки почвы.*

**Ключевые слова:** оптимизация, параметр, энергетический баланс, трактор, скорость, энергонасыщенность, тяговый режим, эквивалента, энергозатраты.

N.I. Selivanov, V.N. Zaprudskiy, Yu.N. Makeeva

### SIMULATION OF THE AGGREGATESPEED MODE AND SPECIFIC INDICATORS OF THE WHEELED TRACTORS ON THE MAIN TILLAGE

*The models and the optimization algorithm for the operating speed range of tillage aggregates are substantiated in the article. The rational speed modes of the aggregate use and the tractor specific parameters for the operating technologies of the main tillage are established.*

**Key words:** optimization, parameter, energy balance, tractor, speed, energy saturation, traction mode, equivalent, power inputs.

**Введение.** Основными параметрами почвообрабатывающего агрегата являются эксплуатационные мощность и масса энергетического средства, ширина захвата и рабочая скорость, которые определяют основные технико-экономические показатели: производительность, эксплуатационные, топливные и энергетические затраты.

Новое поколение колесных тракторов общего назначения одинаковой серии и разных типоразмеров характеризуется единой элементной базой с переменными массоэнергетическими параметрами, расширяющими тягово-скоростные диапазоны их использования.

Для эффективного использования указанных тракторов разработана многоуровневая система [1] адаптации их эксплуатационных параметров к наиболее энергоемким операциям основной обработки почвы с учетом природно-производственных факторов.

Начальный уровень предполагает обоснование оптимальных диапазонов рабочей скорости  $\Delta V_{opti}^*$  на операциях основной обработки почвы в пределах агротехнических требований с использованием почвообрабатывающих машин-орудий с различными принципами воздействия на почву для последующего определения потребного удельного энергетического потенциала трактора  $(\xi_{\bar{N}\bar{\Theta}})^*$ . Одна и та же технология возделывания сельскохозяйственных культур в разных агрозонах и хозяйствах может применяться при существенном различии площади полей, длины гона и других нормообразующих факторов.

**Цель исследований.** Обоснование скоростных режимов использования агрегатов и энергетического потенциала колесных тракторов 4К4 на основной обработке почвы.

**Задачи исследований.** Обосновать структурную схему, модели и алгоритм оптимизации диапазона рабочих скоростей почвообрабатывающих агрегатов и удельных параметров трактора; установить рациональные скоростные режимы использования агрегатов для операционных технологий основной обработки почвы; определить рациональные соотношения удельных показателей технического уровня тракторов для разных групп операций основной обработки почвы.

**Материалы и методы исследований.** Исходными входными данными первого этапа проектирования работы почвообрабатывающих агрегатов на начальном уровне исследования являются виды, объемы  $\sum_{j=1}^m V_j$  и сроки выполнения механизированных работ  $t_i$ ; альтернативные варианты  $\sum_{j=1}^n n_j$  выполнения  $i$ -х технологий почвообработки; наличие и основные эксплуатационные показатели технических средств  $n_{ТС}$ ; обобщенные природно-производственные факторы (длина гона)  $l_r$ . Возможными для практической реализации критериями ресурсосбережения на этом этапе являются минимумы суммы удельных приведенных затрат  $C_{\Pi} \sum_{i=1}^m V_i$  или трудозатрат (рис. 1).

Основные параметры оптимизации и исходные данные для второго этапа этого уровня ресурсосбережения представляют оптимальные варианты операционных технологий основной обработки  $\sum_{i=1}^m n_{iopt}$ , а также энергетические средства  $n_{эCopt}$  и рабочие машины с установленными характеристиками  $K_{oi}$ ,  $\Delta K_i$  и  $v_{Koi}$  их тягового сопротивления. Критериями ресурсосбережения можно принять минимум эквиваленты удельных энергозатрат  $K_{EII} \rightarrow \min$  и максимум эквиваленты производительности  $K_{\Pi i} \rightarrow \max$ . Параметры оптимизации представляют номинальное значение рабочей скорости  $V_{Hi}^*$ , оптимальный диапазон  $\Delta V_{opt}^*$ , а также чистую производительность агрегата  $W_i^*$  при обработке почвы по соответствующей технологии.

Технологии и техническое обеспечение основной обработки почвы в каждой агрозоне и регионе эксплуатации обусловлены особенностями функционирования сельскохозяйственного производства и системой машин. В основу моделей  $M_{1.1}$ ,  $M_{1.2}$ ,  $M_{1.3}$  и  $M_{1.4}$  положены виды и объемы основных работ, качественный состав и приспособленность тракторов и машин-орудий к использованию в характерных условиях для обоснования оптимального диапазона рабочей скорости  $\Delta V_{opt}^*$  машин и агрегатов разного технологического назначения.

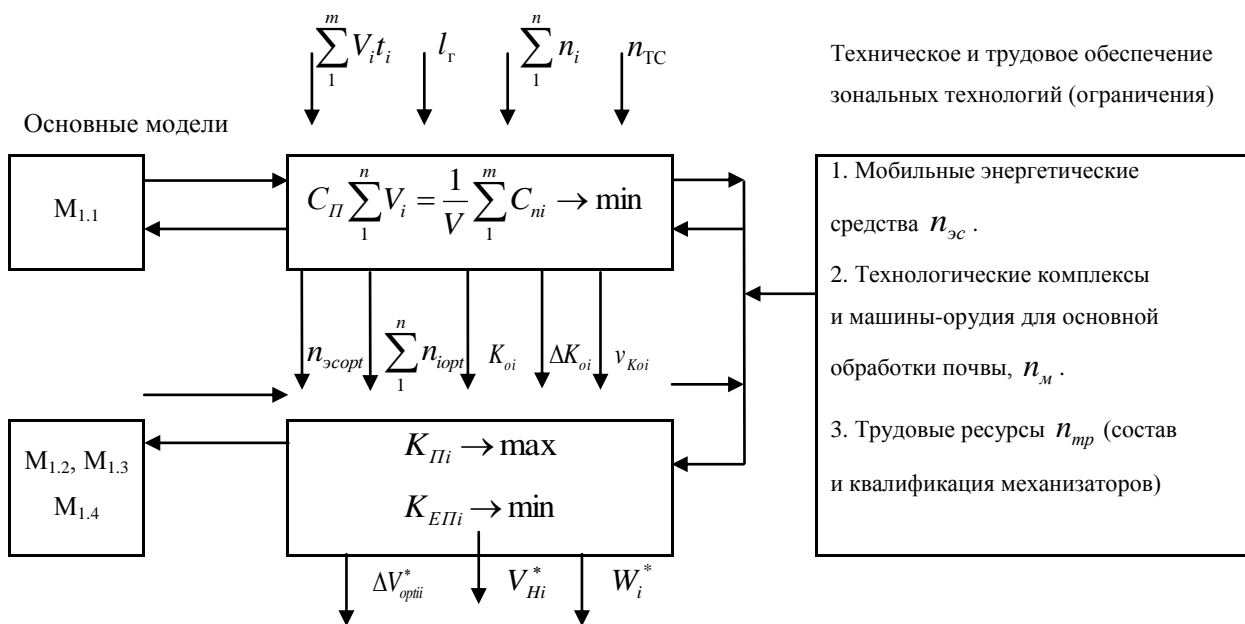


Рис. 1. Структурная схема адаптации рабочих машин к ресурсосберегающим технологиям основной обработки почвы

Трактор в процессе рабочего хода рассматривается как функционирование динамической системы при случайной нагрузке с учетом установленных ограничений и допущений:

1) взаимосвязь буксования  $\delta$  и коэффициента сцепления  $\varphi$  для однотипных по движителю колесных тракторов на одноименных почвенных фонах в диапазоне тяговых нагрузок, соответствующих  $(\varphi_{opt}-\varphi_{max})$ , аппроксимируется формулой  $\delta = a(\varphi-f)/[b-(\varphi-f)]$  при установленных значениях коэффициентов  $a$  и  $b$  и  $\varphi_{max} = idem$ ;

2) в интервале рабочих скоростей от  $V_{min} \geq V_0 = 1.4m/c$  до  $V_{max}$  коэффициент сопротивления качению трактора для установившегося режима прямолинейного движения на горизонтальной поверхности определяется по уравнению вида  $f = f_0 + c(V-V_0)$ .

С учетом принятых допущений уравнение энергетического баланса трактора в тяговом режиме при  $\alpha = 0^\circ$  запишется в виде

$$\xi_N^* N_{e3} \eta_{TP} \eta_\delta = K_a B_p V + (1 + \mu_f) f m_\Delta g V. \quad (1)$$

Левая часть уравнения (1) представляет номинальную эксплуатационную мощность двигателя  $N_{e3}$ , приведенную к ведущим колесам трактора при установленных значениях коэффициента ее использования  $\xi_N^*$ , КПД трансмиссии  $\eta_{TP}$  и КПД буксования  $\eta_\delta = (1 - \delta)$ .

Первое выражение в правой части уравнения (1) определяет затраты мощности  $N_{KP}$  на перемещение рабочей машины с удельным сопротивлением  $K_a = K_0 \cdot \mu_K$  и шириной захвата  $B_p$  со средней скоростью  $V$ . При оценке тягового сопротивления почвообрабатывающих машин и орудий сопротивление их качению целесообразно учитывать в удельном тяговом сопротивлении  $K_0$  при  $V_0$ , тогда

$$N_{KP} = K_0 [1 + \Delta K (V^2 - V_0^2)] B_p V = K_0 \cdot \mu_K \cdot B_p \cdot V. \quad (2)$$

Второе выражение в правой части уравнения (1) представляет затраты мощности двигателя на качение колесного трактора  $N_f$  с учетом потерь в шинах и подвеске  $\mu_f \approx (0,05-0,1)f_0$ . Тогда при  $f = (1 + \mu_f)f_0 + c(V-V_0)$

$$N_f = f \cdot m_\Delta \cdot g \cdot V. \quad (3)$$

Мощность  $N_{KP}$  можно выразить через тяговое усилие  $P_{KP}$ . Поскольку

$$P_{KP} = K_0 [1 + \Delta K (V^2 - V_0^2)] B_p = \varphi_{KP} m_\Delta g, \quad (4)$$

уравнение (1) примет вид

$$\xi_N^* \eta_{TP} \eta_\delta N_{e3} = (\varphi_{KP} + f) m_\Delta g V. \quad (5)$$

Оптимальное значение показателя технологичности  $\mathcal{E}^*$  при расчете эксплуатационных параметров трактора представим в виде [2]

$$\mathcal{E}^* = \left( \frac{N_{e3}}{m_\Delta} \right)^* = \left( \frac{V \cdot g (\varphi_{KP} + f)}{\xi_N^* \eta_{TP} \eta_\delta} \right)^*. \quad (6)$$

При определении по функции (6) оптимальной энергонасыщенности  $\mathcal{E}^*$  или удельной материалоемкости  $m_{y0}^* = 10^3 / \mathcal{E}^*$  трактора для выполнения конкретной или родственных технологических операций независимо от длины гона  $l_{ri}$  необходимо установить:

а) оптимальные диапазоны  $\Delta V_{opt}^* = (V_{max}^* - V_{opt}^*)$  и номинальные  $V_H^*$  значения рабочей скорости при разных характеристиках удельного сопротивления  $\Delta K$  рабочих машин или агрегатов;

б) рациональный по тяговому КПД режим использования трактора, соответствующий номинальному.

Наивысшая эффективность работы трактора в составе тягового агрегата достигается при минимальных удельных (на единицу обрабатываемой площади) энергозатратах ( $Дж/м^2$ )

$$E_n = \xi_N^* N_{e3} / B_P V = \xi_N^* N_{e3} K_a / P_{KP} V = K_0 \mu_K / \eta_m = K_0 E_K \rightarrow \min \quad (7)$$

и максимальной чистой производительности ( $м^2/с$ ) [3]

$$W = \frac{\xi_N^* N_{e3} \eta_m}{K_0 \cdot \mu_K} \rightarrow W^* \quad (8)$$

При удельном расходе топлива двигателя  $g_e$  и тяговом КПД трактора  $\eta_T$  критерий  $E_n \rightarrow \min$  эквивалентен минимуму расхода топлива на единицу площади ( $кг/м^2$ )  $g_w = g_e \cdot E_n \rightarrow \min$ , а критерий  $E_K = \mu_K / \eta_m \rightarrow \min$  эквивалентен критериям  $E_n \rightarrow \min$  и  $g_w \rightarrow \min$ , поэтому является эквивалентой погектарного ( $кг/га$ ) расхода топлива.

Выражение (8) для определения чистой производительности можно записать в виде

$$W = P_{kp} V / K_0 \mu_K = P_{kp} K_n / K_0, \quad (9)$$

где  $K_n = V / \mu_K$  – эквивалента производительности;  $\mu_K = [1 + \Delta K \cdot (V^2 - V_0^2)]$ .

Энергозатраты на единицу производительности  $E_{np} = E_n / W$ , которые являются эквивалентой прямых эксплуатационных затрат, с учетом, что  $E_n = K_0 \cdot E_K$  и  $W = P_{kp} V / K_0 \mu_K$ , выразятся как

$$E_{np} = K_0^2 E_K \mu_K / (10^3 P_{kp} V). \quad (10)$$

Тогда эквиваленту энергозатрат  $K'_E = E_K \mu_K / (10^3 P_{kp} V)$  можно представить в виде

$$K_{EП} = \frac{E_K \mu_K}{V} = \frac{E_K}{K_n} = \frac{\mu_K^2}{\eta_T \cdot V}, \quad (11)$$

поскольку  $K_{EП} = 10^3 K'_E P_{kp}$ .

Аналогично из уравнений (6) и (9) получим  $K_N = K_n E_K$  – эквиваленту мощности  $N_{e3} = W E_K / \xi_N^*$ ;  $K_{m3} = K_N / \mathcal{E}$  – эквиваленту эксплуатационной массы трактора  $m_3 = N_{e3} / \mathcal{E}$  [4]. Указанные коэффициенты характеризуют удельные показатели трактора независимо от  $K_0$  и  $P_{kp}$  и используются для определения  $V_H^*$  и удельного энергетического потенциала  $(\xi_N \mathcal{E})^* = g \cdot \varphi_{kp}^* \cdot K_N^*$ .

Эквивалента производительности  $K_n$  зависит только от скорости рабочего хода  $V$  и величины  $\Delta K$ . Показатели удельных энергозатрат  $E_K$ ,  $K_{EП}$ , потребной мощности  $K_N$  и эксплуатационной массы  $K_{m3}$ , кроме этих параметров, характеризуются величиной тягового КПД трактора.

Потенциальный диапазон изменения скорости трактора и агрегата, ограниченный  $V_{max}^*$  и  $V_{min}^*$ , можно установить с использованием приведенных выше эквивалент. При этом максимальная скорость  $V_{max}^*$  соответствует наивысшей производительности  $K_n = V / \mu_K \rightarrow \max$ , а минимальная  $V_{min}^*$  – наименьшим удельным энергозатратам  $K_{en} = E_K / K_n \rightarrow \min$ .

Значения указанных скоростей движения определяются соответственно из условия максимума производительности  $dK_n / dV = 0$  и минимума энергозатрат  $dK_{EП} / dV = 0$ :

$$\begin{cases} V_{max}^* = \sqrt{(1 - \Delta K V_0^2) / \Delta K}; \\ V_{min}^* = \sqrt{(1 - \Delta K V_0^2) / 3 \Delta K} \end{cases} \quad (12)$$

Значения максимальной и минимальной скоростей зависят только от величины  $\Delta K$ . Величина тягового КПД трактора на них не влияет. При любом  $\Delta K$  соблюдается равенство  $(V_{max}^* - V_{min}^*) = 0,472 V_{max}^*$  и  $V_{max}^*/V_{min}^* = 1,73$ . Поэтому агрегат, составленный по критерию  $K_{\Pi max}$  при  $V_{max}^*$ , будет иметь более высокие энергозатраты по сравнению с  $K_{E\Pi min}$ . И, наоборот, агрегат, составленный по критерию  $K_{E\Pi min}$  при  $V_{min}^*$ , будет иметь низкую производительность.

Значения рабочей скорости агрегата должны находиться в установленном агротехническими требованиями диапазоне, ограниченном минимальной  $V_{a min}$  и максимальной  $V_{a max}$  скоростями. Для современных и перспективных почвообрабатывающих посевных машин и комплексов при  $\Delta K = 0,06 - 0,18 c^2/M^2$ ,  $V_{max}^* \leq V_{a max}$ , а  $V_{min}^* < V_{a min}$  [5]. Поэтому необходимо обоснование оптимального по энергозатратам и производительности диапазона  $\Delta V_{opt}^* = (V_{opt}^* - V_{max}^*)$  и номинального ( $V_{opt}^* \leq V_H^* \leq V_{max}^*$ ) значения рабочей скорости для агрегатов разного технологического назначения.

Нижняя граница диапазона рабочих скоростей агрегата  $V_{opt}^*$  выбирается из условия  $V_{min}^* < V_{opt}^* < V_{max}^*$  независимо от типа и тягового режима использования трактора. В основу ее определения следует положить компромиссный вариант, учитывающий характер зависимостей  $K_{\Pi}$ ,  $K_{E\Pi} = f(V)$  или  $K_{E\Pi}/K_{\Pi} = \min$ . Значение  $V_H^* \approx 0,5(V_{opt}^* + V_{max}^*)$  является основным параметром для расчета по уравнению (6) энергонасыщенности трактора с учетом основных тяговых режимов его использования.

Наивысшая эффективность работы трактора на любой скорости  $V$  в диапазоне  $(V_{opt}^* - V_{max}^*)$  при  $K_{\Pi} = idem$  ограничена режимами работы [1]:

- 1) с максимальным тяговым КПД  $\eta_{Tmax}$  ( $\varphi_{Kp opt}$ ) и энергозатратами  $K_{E\Pi 1}$  при  $K_{N1}$ ,  $(\xi_{N^* \mathcal{E}})_1$ ;
- 2) предельно допустимым буксованием  $\delta_d$  ( $\varphi_{Kp max}$ ), тяговым КПД  $\eta_{Td} < \eta_{Tmax}$  и энергозатратами  $K_{E\Pi 2}$  при  $K_{N2}$ ,  $(\xi_{N^* \mathcal{E}})_2$ .

При обосновании номинальной скорости  $V_H^*$  следует учитывать эффективность работы трактора на указанных режимах. Для определения расчетного значения  $(\xi_{N^* \mathcal{E}})^*$  обобщенный показатель эффективности тягового режима работы трактора при  $V_H^*$  можно представить в виде безразмерного функционала:

$$K_{\mathcal{E}} = K_N \cdot E_K \cdot K_{m\mathcal{E}} \cdot g / K_{\Pi} = E_K^2 / \varphi_{Kp} \rightarrow \min . \quad (13)$$

Сравнительная оценка эффективности указанных режимов использования трактора при определенной характеристике  $\Delta K$  тягового сопротивления производится относительным показателем качества

$$\lambda_{K_{\mathcal{E}}} = K_{\mathcal{E}2} / K_{\mathcal{E}1} = \lambda_{KN} \cdot \lambda_{K_{m\mathcal{E}}} \cdot \lambda_{E_K} / \lambda_{K_{\Pi}} . \quad (14)$$

При  $\lambda_{K_{\mathcal{E}}} \geq 1$  наиболее эффективным является режим максимального тягового КПД, который принимается основным для определения оптимальной энергонасыщенности трактора  $\mathcal{E}^*$ . Если  $\lambda_{K_{\mathcal{E}}} < 1$ , расчет массоэнергетических параметров трактора для родственной группы технологических операций с определенной величиной  $\Delta K$  производится по режиму  $\bar{\varphi}_{Kp} = 0,5(\varphi_{Kp opt} + \varphi_{Kp max})$ .

Алгоритм оптимизации скоростного режима агрегата и удельных параметров колесного трактора 4К4 при заданных значениях коэффициентов  $a, b, f_0, c, \Delta K, \eta_{TP} = const$  на указанных выше основных режимах работы:  $\eta_{\delta} = (1 - \delta)$ ;  $\varphi_{Kp} = b\delta / (a + \delta)$ ;  $V_{max}^*$  и  $V_{min}^*$  по формуле (12);  $f = (1 + \mu_i)f_0 + c(V - V_0)$  в интервале  $(V_{max}^* - V_{min}^*)$  с шагом  $\Delta V = 0,1$  м/с;  $\eta_T = \eta_{TP}\eta_{\delta}\varphi_{Kp} / (\varphi_{Kp} + f)$ ;  $\mu_K = 1 + \Delta K(V^2 - V_0^2)$ ;  $E_K = \mu_K / \eta_m$ ;  $K_{\Pi} = V / \mu_K$ ;  $K_{E\Pi} = E_K / K_{\Pi}$ ;  $K_{E\Pi} / K_{\Pi}$ ;  $V_{opt}^* = V_{(CK_{E\Pi min})}$  при  $C \in [1,05 - 1,10]$  или  $K_{E\Pi} / K_{\Pi} \rightarrow \min$ ;  $V_H^* = 0,5(V_{opt}^* + V_{max}^*)$ ; эквиваленты  $E_K, K_N, K_{m\mathcal{E}}$  при  $V_1 = V_2 = V_H^*$ ;  $K_{\mathcal{E}}$  по (13);  $\lambda_{K_{\mathcal{E}}}$  по (14);  $\varphi_{Kp H}$ ;  $(\xi_{N^* \mathcal{E}})^*$  по (6) и  $m_{y\delta}^*$ .

**Результаты исследований и их обсуждение.** На рис. 2 приведены результаты моделирования эквивалент  $K_{\Pi}, K_{E\Pi}, K_E = K_{E\Pi} / K_{\Pi} = f(V, \Delta K)$  для колесного трактора 4К4 на одинарных колесах при  $\eta_T = 0,62 - 0,63$ .

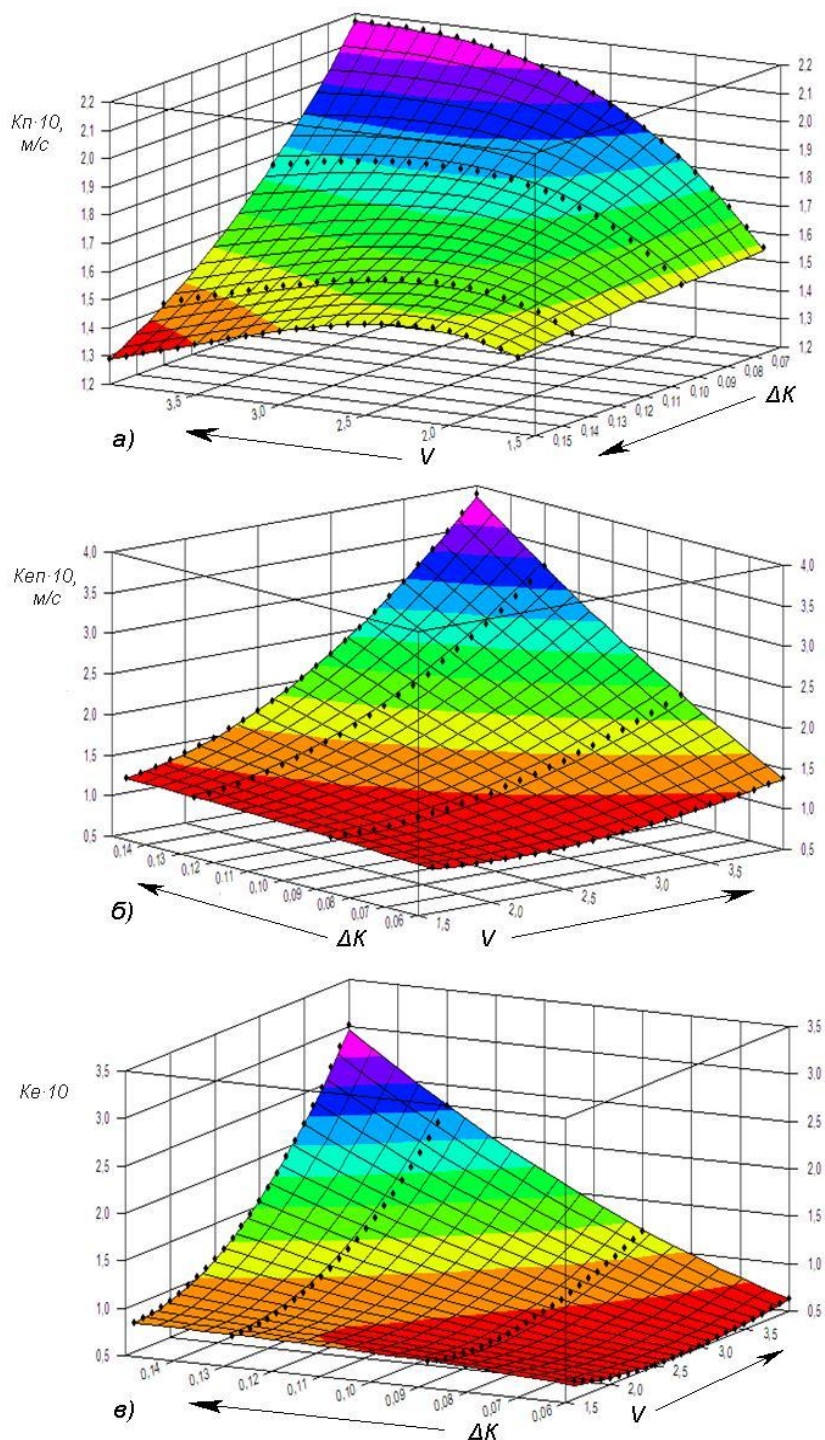


Рис. 2. Зависимость эквивалент  $K_{П}$ (а),  $K_{ЕП}$ (б) и  $K_E$ (в) от скорости  $V$  и приращения удельного сопротивления  $\Delta K$  агрегата

Уравнения регрессии имеют вид:

$$\begin{cases} K_{П} = 0,488 + 1,081 \cdot V - 0,714 \cdot \Delta K - 0,112 \cdot V^2 + 25,491 \cdot \Delta K^2 - 3,798 \cdot V \cdot \Delta K. \\ K_{ЕП} = 3,852 - 1,858 \cdot V - 24,057 \cdot \Delta K + 0,235 \cdot V^2 + 27,018 \cdot \Delta K^2 + 10,936 \cdot V \cdot \Delta K. \\ K_E = 3,859 - 1,951 \cdot V - 27,341 \cdot \Delta K + 0,231 \cdot V^2 + 48,300 \cdot \Delta K^2 + 10,100 \cdot V \cdot \Delta K. \end{cases} \quad (15)$$

Использование предложенного алгоритма позволило обосновать диапазон рабочих скоростей почвообрабатывающих агрегатов и энергетический потенциал тракторов 4К4 для его реализации при изменении коэффициента приращения удельного сопротивления  $\Delta K$  в широком интервале.

Изменение коэффициента  $\Delta K$  от 0,18 до 0,06 приводит к повышению  $V_{max}^*$  и  $V_{min}^*$  от 1,90 до 3,83 м/с и от 1,40 до 2,21 м/с соответственно (табл. 1, рис. 3). Значение скорости  $V_{opt}^*$ , определенное из условия  $K_{EP}(V_{opt}^*) = (1,06 - 1,10) K_{EP_{min}} \approx (K_{EP}/K_{\Pi})_{min}$ , возрастает. При этом от 1,67 до 2,83 м/с и позволяет обеспечить производительность, близкую к максимальной ( $K_{\Pi}^0 = K_{\Pi_{opt}}/K_{\Pi_{max}} = 0,954 - 0,990$ ). Увеличение  $K_{EP_{min}}$  до 10 % при  $\Delta K \geq 0,15 \text{ с}^2/\text{м}^2$  способствует достижению на скорости  $V_{opt}^* \leq 1,8 \text{ м/с}$  максимальной производительности ( $K_{\Pi}^0 = 0,99$ ), что особенно важно для наиболее энергоемких технологических операций.

Таблица 1

**Влияние характеристики тягового сопротивления  $\Delta K$  на рациональный диапазон рабочих скоростей почвообрабатывающих машин и агрегатов**

$\Delta K, \text{ с}^2/\text{м}^2$	$V_{max}^*, \text{ м/с}$	$V_{min}^*, \text{ м/с}$	$V_{opt}^*, \text{ м/с}$	$V_H^*, \text{ м/с}$	$K_{\Pi}^0$	$K_{EP}^0$
0,06	3,83	2,21	2,83	3,33	0,956	1,06
0,08	3,25	1,87	2,40	2,82	0,956	1,06
0,09	3,02	1,75	2,20	2,61	0,956	1,06
0,10	2,83	1,64	2,10	2,47	0,957	1,06
0,12	2,52	1,46	1,92	2,22	0,964	1,07
0,13	2,39	1,40	1,80	2,10	0,964	1,07
0,15	2,17	1,40	1,78	2,00	0,981	1,10
0,18	1,90	1,40	1,67	1,78	0,990	1,10

Диапазон ( $V_{opt}^* - V_{max}^*$ ) и значения номинальной скорости  $V_H^*$  при каждом  $\Delta K$  находятся в пределах агротехнических требований и могут быть приняты за основу при определении удельных массоэнергетических параметров колесных тракторов 4К4 для операций основной обработки почвы.

Для обеспечения номинальной скорости  $V_H^*$  при любых  $\Delta K$  удельный энергетический потенциал  $(\xi_N \Theta)^*$  трактора на режиме допустимого буксования в 1,26 раза выше, чем на режиме максимального тягового КПД. Превышение показателей расхода топлива ( $K_N$ ) и удельных энергозатрат ( $E_K$ ) при одинаковой производительности ( $K_{\Pi}$ ) на этом режиме достигает 3–4 %. Однако использование массы ( $K_m$ ) при этом повышается на 18 %, что обеспечивает в конечном счете более высокую эффективность ( $\lambda_{K\Theta} = 0,86-0,89$ ) функционирования тракторов на режиме предельно допустимого буксования.

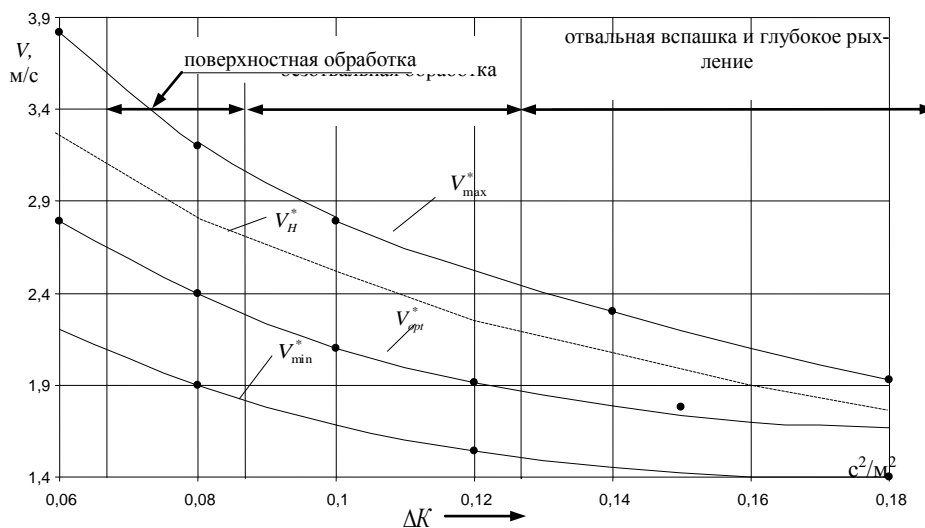


Рис. 3. Влияние характеристики тягового сопротивления  $\Delta K$  на рациональный диапазон скоростей почвообрабатывающих машин и агрегатов

С учетом энергоемкости применяемых технологий и их технического обеспечения все операции основной обработки почвы в АПК региона можно разделить на три группы [5, 6, 7]:

1) отвальная вспашка и глубокое рыхление на глубину 0,21–0,23 м и 0,40–0,50 м соответственно при  $K_0 = 11,0–13,65$  кН/м,  $\Delta K = 0,13–0,15$  с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $v_{K0} = 0,10$  и  $V_a = 1,9–2,3$  м/с;

2) послеуборочная безотвальная комбинированная обработка (сплошная культивация) и чизелевание на глубину 0,14–0,16 м и 0,20–0,30 м соответственно при  $K_0 = 4,70–6,50$  кН/м,  $\Delta K = 0,09–0,10$  с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $v_{K0} = 0,07$  и  $V_a = 2,1–3,0$  м/с;

3) послеуборочная поверхностная обработка (лушение стерни), предпосевная обработка, обработка и посев по нулевой технологии на глубину 0,06–0,12 м при  $K_0 = 3,10–4,90$  кН/м,  $\Delta K = 0,06$  с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>,  $v_{K0} = 0,07$  и  $V_a = 2,8–3,8$  м/с.

Результаты расчета энергонасыщенности и показателей эффективности тракторов на основном тяговом режиме  $\bar{\varphi}_{KP} = 0,5(\varphi_{KPopr} + \varphi_{KPrmax})$  при  $V_H^*$  для выделенных групп родственных операций представлены в табл. 2.

Таблица 2

Номинальные значения показателей эксплуатационных свойств колесных тракторов для современных технологий основной обработки почвы

Группа родственных операций	$\Delta K$ , с <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	$V_H^*$ , м/с	Одинарные колеса			Сдвоенные колеса		
			$(\xi_{N\Theta})^*$ , кВт/т	$m_{уд}^*$ , кг/кВт	$K_N^*$ , м/с	$(\xi_{N\Theta})^*$ , кВт/т	$m_{уд}^*$ , кг/кВт	$K_N^*$ , м/с
1	0,06	3,30	21,408	46,712	5,323	19,044	52,510	4,735
2	0,09	2,65	17,191	58,169	4,274	15,292	65,393	3,802
3	0,13	2,20	14,272	70,067	3,548	12,694	78,777	3,156

Уменьшение  $\Delta K$  с 0,13 до 0,06 приводит к росту номинальной скорости  $V_H^*$ , удельного энергетического потенциала  $(\xi_{N\Theta})^*$  и потребной мощности трактора ( $K_N^*$ ) на поверхностной обработке почвы по сравнению с глубоким рыхлением в 1,5 раза независимо от установки одинарных или сдвоенных колес. Сдвигание передних и задних колес позволяет уменьшить  $(\xi_{N\Theta})^*$  в среднем на 12,5 % за счет соответствующего повышения тягового КПД трактора. Эффективность использования трактора повышается при этом до 21 % ( $\bar{\lambda}_{K\Theta} = 0,79$ ).

### Выводы

1. Обоснована структурная схема, модели и алгоритм оптимизации диапазона рабочих скоростей и удельных параметров колесного трактора на основной обработке почвы на тяговом режиме при  $\bar{\varphi}_{KP}^* = 0,5(\varphi_{KPrmax} + \varphi_{KPopr})$ .

2. Установлены рациональные скоростные режимы использования агрегатов для операций основной обработки почвы при изменении в широком диапазоне коэффициента приращения удельного сопротивления рабочих машин и агрегатов.

3. Определены рациональные соотношения удельных показателей технического уровня колесных тракторов 4К4 для разных групп операций основной обработки почвы.

### Литература

1. Селиванов Н.И., Кузнецов А.В. Система адаптации колесных тракторов высокой мощности к зональным условиям // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 6. – С. 232–237.
2. Селиванов Н.И., Селиванов И.А. Технологические потребности в высокомоощных колесных тракторах // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 5. – С. 215–220.
3. Селиванов Н.И. Регулирование эксплуатационных параметров тракторов // Вестн. КрасГАУ. – 2013. – № 7. – С. 234–239.
4. Селиванов Н.И., Селиванов И.А. Удельные эксплуатационные параметры колесных тракторов общего назначения // Тенденции формирования науки нового времени: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2014. – С. 121–124.



5. Эксплуатационные параметры колесных тракторов для зональных технологий почвообработки / Н.И. Селиванов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 157.
6. Селиванов Н.И. Эксплуатационные параметры колесных тракторов высокой мощности // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 3. – С. 176–184.
7. Запрудский В.Н. Повышение эффективности использования почвообрабатывающих агрегатов на базе колесных тракторов высокой мощности: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 2013. – 22 с.



УДК 658.001.42

А.П. Ловчиков, В.П. Ловчиков, Ш.С. Иксанов

### МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО КОМБАЙНИРОВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С ДВОЙНЫМ СРЕЗОМ СТЕБЛЕЙ

*В статье рассматривается методический подход к разработке модели процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей. Рассмотрены факторы, способные влиять на эффективность нового технологического процесса.*

**Ключевые слова:** процесс, прямое комбайнирование, система, подсистема, модель, фактор, двойной срез, стебель, колос, промежуточный продукт, солома, комбайн, режущий аппарат.

A.P. Lovchikov, V.P. Lovchikov, Sh.S. Iksanov

### METHODICAL APPROACH OF THE DEVELOPMENT PROCESS OF DIRECT COMBINING OF GRAIN CROPS WITH DOUBLE CUT STEMS

*In article methodical approach to development of model of process of direct combining of grain crops with a double cut of stalks is considered. The factors capable to influence efficiency of new technological process are considered.*

**Key words:** process, direct combining, system, a subsystem, model, a factor, a double cut, a stalk, an ear, an intermediate product, straw, the combine cutting the device.

**Введение.** Общеизвестно [1, 2, 3, 4], что уборочный процесс в виде прямого комбайнирования зерновых колосовых культур является многопара-метрической технологической системой, схема функционирования которой имеет иерархическую структуру, включающую в себя модели отдельных процессов, явлений и их взаимосвязи. Технической основой таких систем в современных условиях являются зерноуборочные комбайны, которые можно рассматривать как преобразующие технические системы.

**Цель исследований.** Обоснование методических положений к разработке процесса прямого комбайнирования зерновых колосовых культур с двойным срезом стеблей.

**Задачи исследований.** Рассмотреть технологические свойства зерновых культур и произвести их классификацию; разработать схемы технологического воздействия рабочих органов машины на растение и на их основе обосновать информационную модель технологического процесса зерноуборочного комбайна с двойным срезом стеблей зерновых культур.

**Материалы и методы исследований.** Эффективность уборочного процесса в виде прямого комбайнирования зерновых колосовых культур во многом зависит от использования комбайнов, поскольку, как отмечается в работах [1, 2, 3, 4], их технологическая загрузка зависит от изменения физико-механических свойств растений, с которыми напрямую связаны и технологические свойства (рис.1).

Из рис. 1 видно, что технологические свойства стеблестоя зерновых культур условно можно разбить на две группы факторов – управляемые и неуправляемые. К управляемым факторам можно отнести соотношение зерна и соломы по массе, которое определяется длиной стебля. Частично к данной группе факторов можно отнести и засорённость хлебной массы.