

ройство, позволяющее измерять нагрузки непосредственно на обрабатываемом лесоматериале в реальных условиях процесса окорки.

2. Полученные уравнения регрессии (1)–(6), описывающие процесс нагрузок, позволяют рассчитывать нагрузки в станке, возникающие в реальных условиях окорки, и использовать их для проектирования конструкций станков.

3. Результаты позволили обосновать исходные данные (см. табл.) для проектирования окорочных станков всех типоразмеров унифицированной гаммы «ОК».

### Литература

1. Патент РФ № 2013101371/28(001901). Стенд для исследований процесса окорки / И.В. Григорьев, А.М. Газизов, А.В. Теплов. – № 76597. – Заявл. 15.02.2008. опублик. 27.09.2008; Бюл. – № 27.
2. Добрачев А.А. Исследование работы и выбор параметров короснимателей роторных окорочных станков: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. – Свердловск: Изд-во УЛТИ, 1974. – 188 с.
3. Пигильдин Н.Ф. Окорка лесоматериалов. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 192 с.
4. Патент РФ № 2013101480/28(001915), 10.01.2013. Устройство для измерения нагрузок в роторных окорочных станках / В.В. Побединский, Д.А. Василевский, А.И. Попов [и др.]. – № МПК G01L 1/16. – Заявл. 01.2006; опублик. 04.03.2013.
5. Симонов М.Н. Теоретические основы механической окорки лесоматериалов и оптимизация параметров гаммы роторных окорочных станков: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01. – М.: Изд-во МЛТИ, 1980. – 389 с.



УДК 629.114.2

*Н.И. Селиванов*

### УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ РАБОЧЕГО ХОДА ТРАКТОРА НА ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ

*Обоснована структура управления взаимосвязанными параметрами – адаптерами режима рабочего хода трактора в составе почвообрабатывающего агрегата.*

**Ключевые слова:** режим рабочего хода, структурная схема, управление, адаптируемый параметр, трактор, агрегат.

*N.I. Selivanov*

### CONTROL OF THE TRACTOR WORKING STROKE MODE WHILE PROCESSING SOIL

*The control structure of the interconnected parameters – adapters of tractor working stroke mode as a part of the soil-cultivating unit is substantiated.*

**Key words:** working stroke mode, block diagram, control, adaptable parameter, tractor, unit.

---

**Введение.** Многообразие воздействующих случайных факторов при выполнении рабочего хода почвообрабатывающего агрегата приводит к изменению момента сопротивления на коленчатом валу двигателя. Колебания вызывают снижение среднего значения угловой скорости коленчатого вала и недоиспользование мощности двигателя. Это сопровождается снижением рабочей скорости и производительности, увеличением удельного (на единицу работы) расхода топлива, ухудшением качества выполнения технологического процесса. Для снижения отрицательного воздействия колебаний внешней нагрузки необходимо управлять режимом рабочего хода агрегата.

**Цель работы.** Обоснование структуры управления параметрами-адаптерами режима рабочего хода трактора на обработке почвы.

Для достижения поставленной цели предусматривалось решение следующих **задач**:

- 1) дать оценку эффективности замкнутых систем управления работой трактора;

- 2) установить структуру параметров-адаптеров режима рабочего хода трактора на обработке почвы;
- 3) обосновать структурную схему управления режимом рабочего хода трактора в составе почвообрабатывающего агрегата.

**Условия и методы исследования.** Оптимальное управление режимами рабочего хода трактора общего назначения на энергоемких операциях основной обработки почвы предполагает обеспечение в процессе движения агрегата с изменяющейся внешней (тяговой) нагрузкой оптимальных значений управляемых параметров, соответствующих наиболее эффективным по критериям ресурсосбережения режимам работы двигателя и трактора в целом. В основу оптимальной адаптации режима рабочего хода положены следующие условия и методы управления параметрами-адаптерами:

- 1) режим рабочего хода характеризуют управляемые скоростные, нагрузочные, тягово-сцепные параметры-адаптеры трактора и технико-экономические показатели агрегата;
- 2) управление режимом рабочего хода предусматривает прямолинейное движение скомплектованного по условию ресурсосбережения почвообрабатывающего агрегата;
- 3) взаимосвязь выходных управляемых параметров с входными параметрами устанавливается детерминированными линейными и нелинейными функциональными зависимостями составляющих тягового и энергетического баланса трактора;
- 4) в управлении режимами рабочего хода сельскохозяйственных тракторов используются в основном замкнутые системы с обратной связью и регулированием параметров-адаптеров по отклонению в пределах заданного оптимального интервала их изменения.

**Результаты исследования и их анализ.** Управление работой почвообрабатывающего агрегата как сложной динамической системой при внешних воздействиях  $F_i(t)$  возможно по двум схемам (рис. 1) [1].

По первой схеме (рис. 1, а) тракторист воспринимает визуально и на слух выходные сигналы  $y_i(t)$  измерительных приборов (ИП) трактора и осуществляет обратную связь, воздействуя на органы управления  $u_i(t)$ . Наряду с этим он ведет непрерывный контроль за ходом технологического процесса, обеспечивает безопасность движения агрегата с установленными параметрами  $z_i(t)$ . В реальных условиях рабочего хода из-за ограниченных физиологических возможностей человек не в состоянии обработать полностью поток взаимосвязанной информации и принять наиболее правильное решение. Поэтому ручное управление режимами работы трактора на почвообработке является недостаточно эффективным.

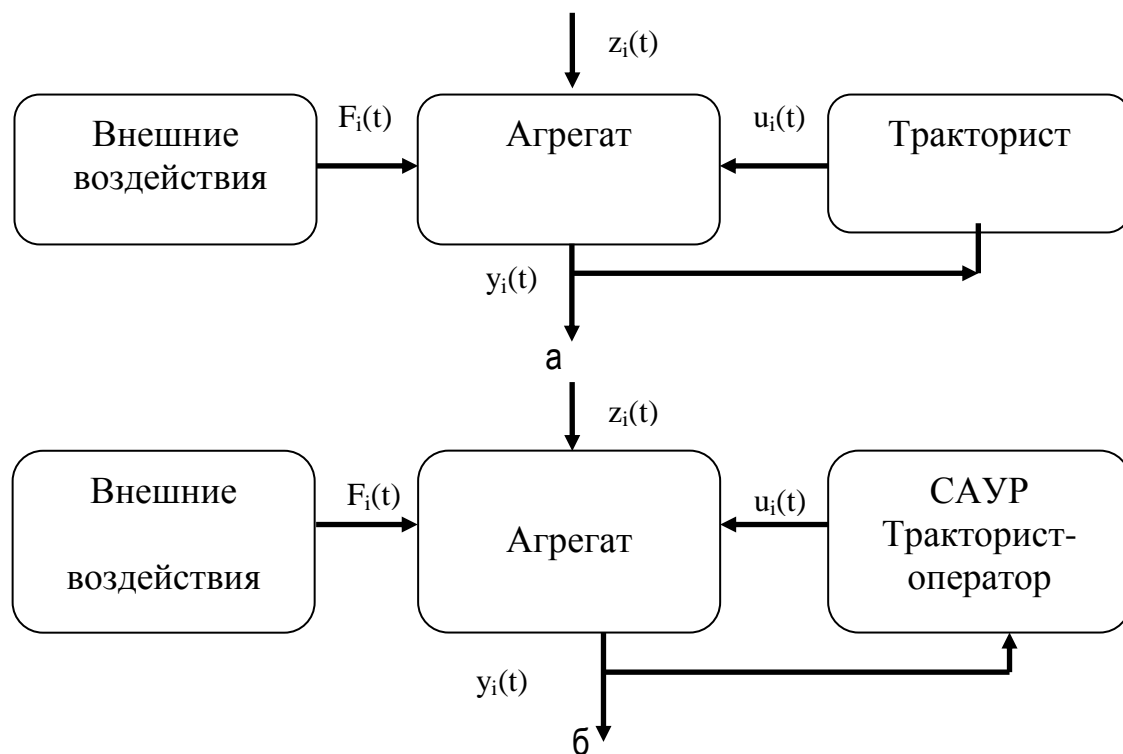


Рис. 1. Схемы управления работой почвообрабатывающего агрегата

По второй схеме (рис.1, б) обратную связь  $u_i(t)$  осуществляет система автоматического управления режимами (САУР). САУР принимает выходные сигналы  $y_i(t)$  ИП, преобразует их в цифровой вид, обрабатывает по определенному алгоритму, подаёт управляющий сигнал исполнительным механизмам, приводящим в действие рабочие механизмы трактора. Для функционирования САУР требуются надёжные средства автоматики на базе микропроцессорной техники или мехатронных систем и эффективные математические методы алгоритмизации обработки информации.

В мехатронных системах три составляющие: механические агрегаты, устройства привода управления (электрические или электрогидравлические) и элементы электронного микропроцессорного управления ими – образуют единый (триединый) неразрывный функционально законченный агрегат или систему. И если раньше функционально главными звеньями машин были механические узлы (выполнялись для этого очень сложными и точными), то теперь они изготавливаются максимально простыми. Вся сложность заключается в обрабатываемом программном обеспечении – компьютерных программах, которые записываются в микропроцессоры и составляют с ними единое целое [2].

Среди новых технических средств современной автоматики для тракторов можно выделить такие основные группы, как интеллектуальные датчики, интеллектуальные органы управления и информационные дисплеи. Они представляют собой соединение механических (иногда – электронных, как в случае дисплеев), электрических (преобразователей) и компьютерных информационных или управляющих элементов.

По второй схеме у тракториста ограниченное число функций по управлению: пуск трактора, контроль за работой САУР, вождение и остановка агрегата, вмешательство в работу САУР в экстремальных ситуациях.

В области автоматизации зарубежное тракторостроение сейчас переживает “перехлест”, когда возможности автоматизированной техники далеко опережают ограниченный потенциал управляющего ею тракториста-оператора. В этом кроется непонимание особенности работы современных тракторов, общее управление которыми осуществляет тракторист. А управление для него делается почти как для трактора-робота, где оператор не управляет, а только контролирует процесс безопасности [2]. Такое управление является нерациональным и вредным для мобильных агрегатов, поскольку вызывает стресс или приводит к аварии. Тракторист должен следить за дорогой и рабочим орудием, а не за экраном дисплея.

Принцип автоматического управления в замкнутых системах основан на установлении принадлежности измеренных значений выходных управляемых параметров-адаптеров  $y_i$  заданным оптимальным интервалам, ограниченными минимальными  $y_{i \min}$  и максимальными  $y_{i \max}$  значениями

$$y_i \rightarrow [y_{i \min}, y_{i \max}], i=1, \dots, n. \quad (1)$$

Если  $y_i$  имеет любое значение в пределах заданного интервала, то работа трактора считается устойчивой. В противном случае САУР подаёт управляющий сигнал и приводит систему в устойчивое состояние. Поэтому функцию (1) целесообразно представить в виде интервальной модели

$$y_i \rightarrow [(1-\Delta y)y_i^*, (1+\Delta y)y_i^*], \quad (2)$$

где  $\Delta y$  – допустимое отклонение параметра  $y_i$  от оптимального значения  $y_i^*$ .

Анализ структурных схем систем управления рабочим ходом показал, что совокупность основных адаптируемых параметров тракторов и почвообрабатывающих агрегатов на их базе по назначению можно разделить на четыре группы (табл.) [1]:

- 1) установленные и регулируемые до начала технологического процесса;
- 2) измеряемые и управляемые во время рабочего хода;
- 3) управляемые во время рабочего хода;
- 4) регулируемые во время холостого хода.

К первой группе относятся массоэнергетические параметры трактора, включающие номинальные значения эксплуатационной мощности  $N_{\text{эз}}$ , крутящего момента  $M_n$ , коэффициента приспособляемости  $K_m$  и частоты вращения коленвала двигателя  $n_n$ . Они устанавливаются заводом-изготовителем и регулируются до начала выполнения технологической операции, если двигатель имеет регулируемую скоростную характеристику и несколько уровней  $N_{\text{эз}}$ . Регулирование скоростной характеристики достигается изменением цикловой подачи  $g_{\text{ц}}$  (массового расхода топлива  $G_T$ ). Эксплуатационную массу трактора  $m_z$  изменяют установкой сдвоенных колес и балластированием. Предельный уровень балластирования трактора (отношение максимальной массы балласта к минимальной эксплуатационной массе трактора) составляет 0,14–0,25 [1, 3].

Распределение веса по осям  $\lambda_n$  и  $\lambda_k$  можно изменять перераспределением балластных грузов вдоль продольной базы трактора. Давление  $p_n$  в пятне контакта колеса с почвой регулируется подбором размера шин и давлением воздуха в них, а также массой балластных грузов.

Параметры второй группы характеризуют нагрузочный и скоростной режимы работы трактора и определяют все другие его параметры и технико-экономические показатели агрегата.

Наиболее объективным показателем загрузки двигателя является крутящий момент  $M_k$  на коленчатом валу. Нагрузочный режим характеризуется коэффициентом загрузки по моменту  $\varepsilon_m = M_k/M_n$ .

### Параметры-адаптеры

| Обозначение   | Наименование   |
|---|--|
| Регулируемые до начала технологического процесса (группа 1) |  |
| $N_{вэ}$  | Номинальная эксплуатационная мощность двигателя                    |
| $M_n$   | Номинальный крутящий момент  |
| $K_m$   | Коэффициент приспособляемости двигателя по моменту                 |
| $n_n$   | Номинальная частота вращения коленвала двигателя                   |
| $g_{ц} (G_T)$   | Цикловая подача (массовый расход топлива двигателем)               |
| $m_э$   | Эксплуатационная масса трактора                                    |
| $\lambda_n/\lambda_k$                                       | Распределение веса колёсного трактора по осям в статике            |
| $p_n$   | Давление на почву в пятне контакта колеса                          |
| Измеряемые и управляемые во время рабочего хода (группа 2)  |  |
| $M_k$   | Крутящий момент двигателя  |
| $n$   | Частота вращения коленвала двигателя                               |
| $v$   | Действительная скорость  |
| $P_{кр}$  | Тяговое усилие   |
| $n_k$   | Частота вращения ведущих колес                                     |
| $M_B$   | Крутящий момент на ВОМ   |
| $h$   | Глубина обработки  |
| $\delta$  | Буксование   |
| Управляемые во время рабочего хода (группа 3)               |  |
| $\varepsilon_m (\varepsilon_N)$                             | Коэффициент загрузки (использования мощности) двигателя            |
| $\lambda$   | Доля сцепного веса трактора, идущая на образование тягового усилия |
| $r_d$   | Динамический радиус качения ведущего колеса                        |
| $P_w$   | Давление воздуха в шинах   |
| $P_d$   | Догрузка колёс для увеличения сцепного веса                        |
| $f$   | Коэффициент сопротивления качению трактора                         |
| $i_{тр}$  | Передаточное число трансмиссии                                     |
| $g_w$   | Погектарный расход топлива   |
| $G_T(g_{кр})$   | Массовый (удельный тяговый) расход топлива                         |
| $\eta_T$  | Тяговый КПД  |
| Регулируемые во время холостого хода (группа 4)             |  |
| $B_p$   | Ширина захвата агрегата  |

Коэффициент  $\varepsilon_m$  определяет загрузку двигателя по скоростному режиму работы  $\xi_w = n_g/n_n$  с учетом характеристики  $\xi_w = f_1(\varepsilon_m)$ . На регуляторной ветви при  $\varepsilon_m < 1$  она имеет линейный характер, а для дизелей постоянной мощности (ДПМ) на корректорной ветви является гиперболической кривой.

Измерение действительной скорости  $v$  и частоты ведущих колес  $n_k$  необходимо для определения теоретической скорости  $v_T = \pi r_d n_k / 30$  и буксования  $\delta = (1 - v/v_T)$ .

Тяговым усилием  $P_{кр}$  можно управлять догрузкой колёс  $P_d$ , давлением воздуха в шинах  $p_w$ , изменением передаточного числа трансмиссии  $i_{тр}$ , количества ведущих осей и глубины обработки  $h$ .

У работающего с отбором мощности трактора часть мощности двигателя  $\eta_T(N_E - N_{ВОМ})$  реализуется через тяговое усилие, другая  $N_{ВОМ} = \lambda_B \cdot N_E$  – через ВОМ. Значения тягового КПД  $\eta_T$  и коэффициента  $\lambda_B$  зависят от тягового режима и вида технологической операции. Частота вращения ВОМ  $n_B$  является функцией  $n$  и передаточного числа  $i_B$  редуктора. Регулированием глубины обработки почвы  $h$  изменяется тяговое усилие  $P_{кр}$ , буксование трактора  $\delta$  и нагрузочный режим работы  $M_c(M_k)$  двигателя.

Управление параметрами третьей и четвертой групп в процессе рабочего или холостого хода призвано обеспечить оптимальные значения параметров второй группы и наивысшие технико-экономические показатели агрегата.

Коэффициент использования мощности определяется произведением  $\varepsilon_N^* = \varepsilon_M \cdot \varepsilon_w$ . При изменении сцепного веса за счет догрузки колёс  $P_d$  и давления в шинах  $p_w$  изменяются показатели тягово-сцепных свойств и, следовательно, буксование.

Коэффициент  $\lambda$  (доля сцепного веса трактора, идущая на образование тягового усилия) зависит от количества ведущих осей. При полном приводе  $P_{кр} = \varphi_{кр} \cdot g \cdot m_3$ , в противном случае  $P_{кр} = \varphi_{кр} \cdot \lambda \cdot g \cdot m_3$ .

Динамический радиус колеса  $r_d$  определяется величиной радиальной деформации шины, которая зависит от её конструкции и давления  $p_w$ . Регулированием давления воздуха  $p_w$  изменяют не только  $r_d$ , но и давление на почву  $p_n$ , буксование, теоретическую и действительную скорости трактора.

Коэффициент сопротивления качению трактора  $f$  зависит от конструкции и давления воздуха в шине, нагрузки на колёса и параметров опорной поверхности, изменяющихся в процессе движения.

Передаточное число трансмиссии  $i_{тр}$  изменяется с помощью САУР, если при движении на  $j$ -й передаче управлением скоростным режимом не достигается оптимальный нагрузочный режим работы двигателя.

Ширина захвата  $B_p$  устанавливается в начале технологического процесса, и её изменение производится во время холостого хода перед очередным рабочим ходом. При этом САУР должна определить величину изменения ширины захвата, которая зависит в основном от сопротивления рабочей машины.

Эффективное управление нагрузочно-скоростным режимом работы тракторов и почвообрабатывающих агрегатов достигается при минимальных значениях удельного  $g_{кр} = g_e \cdot \eta_T$  и погектарного  $q_w$  расходов топлива.

Все входные воздействия в САУР являются случайными в вероятностном смысле величинами и подчиняются нормальному закону распределения, поэтому адаптируемые во время рабочего хода параметры трактора, рабочей машины и технико-экономические показатели агрегата являются также случайными величинами.

Результаты формализации и идентификации системы «Окружающая среда (ОС) – почвообрабатывающий агрегат (МТА) – трактор» [3] позволяют рассматривать трактор как многомерную динамическую систему в составе агрегата (рис. 2). В соответствии со структурной схемой трактора она включает три блока: двигатель, трансмиссию и ходовую систему. Для описания функционирования каждого из них с целью адаптации требуется располагать зависимостями выходных параметров-адаптеров от соответствующих входных.

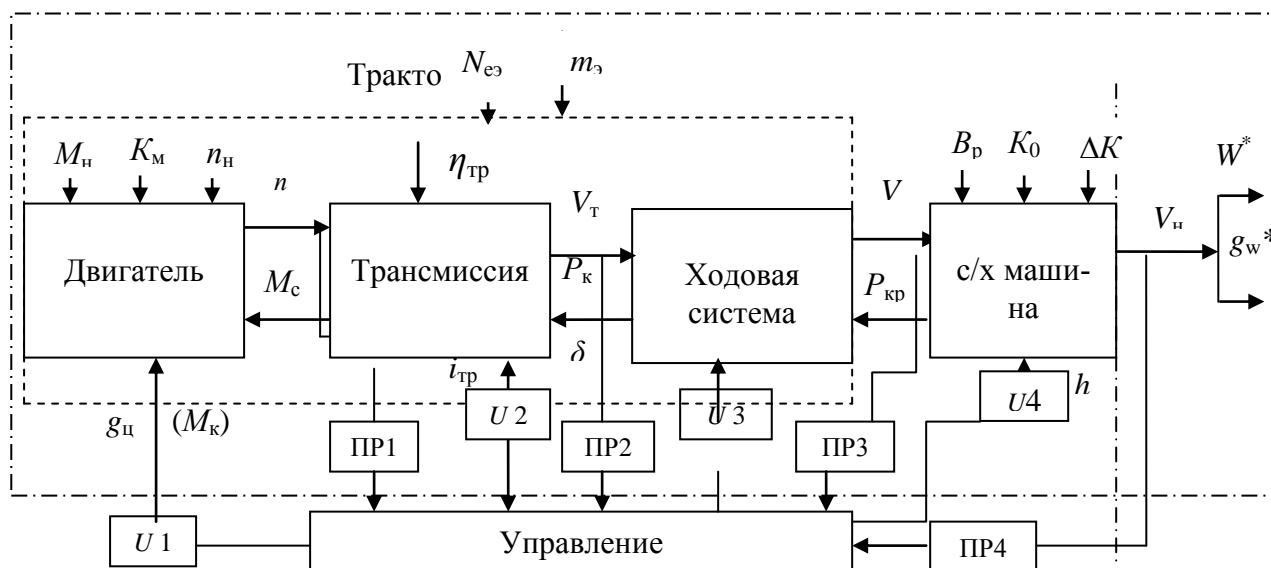


Рис. 2. Структурная схема управления режимами рабочего хода почвообрабатывающего агрегата

При установленных массоэнергетических параметрах трактора ( $N_{\text{еэ}}, m_3$ ) и характеристике двигателя ( $M_H, K_M, n_H, n_M$ ) выходным параметром-адаптером является частота вращения коленчатого вала  $n$ , которая зависит от момента сопротивления  $M_c = M_k$ . Функционирование этого блока при использовании трактора в тяговом режиме может быть описано зависимостью

$$n = f(M_k) = f(M_c, v_{\text{мс}}, K_M). \quad (3)$$

Механическая трансмиссия преобразует параметр  $n$  в теоретическую скорость  $V_T$  (частоту вращения ведущих колес  $n_k$ ) трактора, поэтому функционирование второго блока при входном параметре – касательной силе тяги на ведущих колесах  $P_k$  – оценивается выражениями:

$$\begin{cases} V_m = \pi \cdot n \cdot r_D / 30 \cdot i_{\text{мп}}, \\ P_k = M_c \cdot i_{\text{ТР}} \cdot \eta_{\text{ТР}} / r_D. \end{cases} \quad (4)$$

Взаимосвязь выходного  $V_T$  и входного  $P_k$  параметров определяется из условия обеспечения при  $r_D = \text{const}, i_{\text{ТР}} = i_{\text{дем}}$

$$V_m = \pi \cdot n \cdot M_c \cdot \eta_{\text{мп}} / 30 \cdot P_k. \quad (5)$$

Внешними воздействиями на третий блок являются тяговое усилие  $P_{\text{кр}}$  и сопротивление перекачиванию трактора  $P = m_3 \cdot g \cdot f$ . Выходной параметр представляет действительную скорость трактора  $V = V_T(1 - \delta)$ , которая одновременно является главным параметром-адаптером тягового агрегата. Её взаимосвязь с входными и установленными параметрами определяется системой уравнений:

$$\begin{cases} P_k = P_{\text{кр}} + P_f, \\ V = \varepsilon_N^* \cdot N_{\text{еэ}} \cdot \eta_{\text{мп}} \cdot (1 - \delta) / (P_{\text{кр}} + P_f). \end{cases} \quad (6)$$

Для установленных массоэнергетических ( $N_{\text{еэ}}, m_3$ ) и тягово-сцепных ( $\eta_{\text{Т макс}}, \delta_{\text{опт}}$ ) параметров трактора, известных характеристик тягового сопротивления агрегата ( $P_{\text{кр}}, v_{\text{р кр}}$ ) и интервалов изменения значений рабочей скорости ( $V_H^* \pm \Delta V$ ) критерий оптимизации параметров-адаптеров ( $n, (M_k), i_{\text{ТР}}$ ) можно представить в виде минимизируемой функции [3]

$$F = \left| \frac{\pi \cdot M_H \cdot \eta_H}{30 \cdot N_{\text{еэ}}} - 1 \right| + \left| \frac{\pi \cdot \eta_H \cdot \varepsilon_N^*}{30 \cdot V_H \cdot i_k \cdot \varepsilon_M^*} - 1 \right| + \left| \frac{P_{\text{кр}} \cdot m_3 \cdot g \cdot f}{\eta_{\text{ТР}} \cdot \varepsilon_M^* \cdot M_H \cdot i_k} - 1 \right| \rightarrow \min. \quad (7)$$

Функция (7) выпуклая, её минимум – безразмерная величина, близкая к нулю. Минимизация её производится по переменным  $n = n_H \cdot \varepsilon_N^* / \varepsilon_M^*$  и  $i_k = i_{\text{мп}} / r_D$ . Величина  $n$  изменяется в цикле с заданным шагом в пределах оптимального интервала  $(n_{\text{мин}} - n_{\text{макс}})_{\text{опт}}$ . Для каждого значения  $n$  методом дихотомии подбирается  $i_{k \text{ опт}}$ . Оптимальное значение параметров ( $n$  и  $i_k$ ) выбирается по  $F_{\text{мин}}$  и  $i_{k \text{ мин}}$ .

Эффективность управления режимом рабочего хода почвообрабатывающих агрегатов с установленными параметрами удельного тягового сопротивления рабочих машин  $K_0$  при  $V_0 = 1,4$  м/с и  $\Delta K$  определяется показателями чистой производительности  $W$  (м<sup>2</sup>/с), удельных энергозатрат  $E_n$  (кДж/м<sup>2</sup>) и погектарного расхода топлива  $g_w$  (кг/га):

$$\begin{cases} W = \varepsilon_N^* \cdot N_{\text{еэ}} \cdot \eta_m / K_0 [1 + \Delta K(V_H^2 - V_0^2)] \rightarrow W^*, \\ E_n = \varepsilon_N^* \cdot N_{\text{еэ}} / W \rightarrow \min, \\ g_w = 2,77 G_m / W \rightarrow \min. \end{cases} \quad (8)$$

### Выводы

1. Для управления режимом рабочего хода трактора используются в основном замкнутые системы автоматического управления с регулированием параметров-адаптеров по отклонению в пределах заданного интервала их изменения.

2. Структура управления режимом рабочего хода включает четыре группы взаимосвязанных, скоростных, нагрузочных и тягово-сцепных параметров-адаптеров, обеспечивающих оптимальную адаптацию трактора к технологическому процессу в составе почвообрабатывающих агрегатов.

3. Представлена структурная схема управления режимом рабочего хода почвообрабатывающего агрегата с обоснованными критериями оптимизации параметров-адаптеров в виде минимизируемой функции методом дихотомии.

### Литература

1. Основы теории мобильных сельскохозяйственных агрегатов / В.А. Самсонов [и др.]. – М.: Колос, 2000. – 248 с.
2. Новиков Г.В. Новые технические средства автоматики для тракторов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 4. – С. 22–26.
3. Селиванов Н.И. Технологические основы адаптации тракторов. – Красноярск: ПК «Знак», 2012. – 259 с.



УДК 631.354

Т.А. Алтухова, С.Н. Шуханов

### ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ РАБОТЕ ВИХРЕВОГО ОХЛАДИТЕЛЯ ЗЕРНА

*Экспериментальным путем получены зависимости коэффициента теплоотдачи от скорости обтекания зерна воздушным потоком. Это позволяет глубже познать процессы теплообмена, происходящие при охлаждении зерна с помощью вихревого аппарата.*

**Ключевые слова:** вихревой охладитель зерна, охлаждение зерна, коэффициент теплоотдачи, процесс теплообмена.

T.A. Altukhova, S.N. Shukhanov

### HEAT EXCHANGE PECULIARITIES IN THE VORTICAL GRAIN COOLER WORK

*The dependences of the heat exchange coefficient on the grain flow speed by the air flow are experimentally obtained. This allows to deeper understand the heat exchange processes occurring in the grain cooling with the help of vortical apparatus.*

**Key words:** vortical grain cooler, grain cooling, heat exchange coefficient, heat exchange process.

---

**Введение.** Основным показателем качества работы зерносушилок является эффективное охлаждение просушенного зерна. Существующие охладительные устройства, применяемые в зерносушилках, не отвечают современным требованиям.

С целью совершенствования вихревого охладителя зерна была поставлена **задача** исследовать процессы теплообмена в процессе его работы.

Не в полной мере изучены процессы теплообмена при охлаждении зерна, в частности при работе вихревого охладителя.

Из законов теории теплопроводности известно, что коэффициент теплоотдачи характеризует интенсивность протекания процесса теплообмена. Поэтому его значение является одной из основных характеристик для сравнения эффективности тех или иных способов тепловой обработки материала.

Для проведения экспериментальных исследований разработана и изготовлена лабораторная установка вихревого охладителя зерна (рис. 1). Она состоит из рабочей камеры 1, щелевого аппарата 2, выпуск-