

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УБОРОЧНЫХ РАБОТ



Всесоюзная ордена Ленина и ордена Трудового
Красного Знамени академия сельскохозяйственных наук
имени В.И.Ленина

Всероссийское отделение

Всероссийский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский и проектно-технологический институт
механизации и электрификации сельского хозяйства
(ВНИПТИМЭСХ)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
УБОРОЧНЫХ РАБОТ



Зе рноград 1983

7

ББК
40.72
П429

Редакционная коллегия:

академик ВАСХНИЛ М.С. Рунчев (ответств. редактор), кандидат технических наук Ю.М. Сисюкин (зам. ответств. редактора), доктор технических наук Э.И. Лигкович, кандидаты технических наук В.А. Железников, Б.А. Землянский, кандидаты экономических наук А.П. Перерва, В.Ф. Бирман (ответств. секретарь), инженер М.К. Комарова.

УДК 631.35:631.15

Повышение эффективности уборочных работ.
Зерноград, 1983.

Материалы сборника освещают результаты теоретических и экспериментальных исследований по проблемам, связанным с обеспечением высокой эффективности использования средств механизации для уборки зерновых и колосовых культур, включая их послеуборочную доработку.

Особое внимание уделено применению методов системного анализа, в частности математического моделирования, для повышения эффективности наборов машин, их технологических комплексов в конкретных производственных условиях.

Сборник предназначен для научных работников, конструкторов, преподавателей и студентов вузов, специалистов сельского хозяйства.

ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ МАШИН

Система машин для комплексной механизации сельского хозяйства представляет собой основу производства и поставок техники колхозам и совхозам. Она существенно определяет качество сельскохозяйственных работ, затраты труда и средств на их проведение и, в конечном счете, эффективность сельскохозяйственного производства в целом. В научном плане разработка системы машин, по существу, — главная проблема механизации сельскохозяйственного производства.

Разработка и обоснование системы машин опирается на достижения земледельческой механики (результаты обоснования и исследования технологических процессов, рабочих органов, синтеза машин и агрегатов и т.д.), на исследования по эксплуатации и организации использования средств механизации, результаты оптимизации параметров машин, агрегатов и технологических комплексов, сопровождается выявлением технико-экономической эффективности сельскохозяйственного оборудования.

Действующая и разрабатываемая в настоящее время система машин еще не удовлетворяет необходимым требованиям сельскохозяйственного производства, что в известной мере сдерживает рост его эффективности. Расчет оптимальных технологических комплексов производится, как правило, на основе уже созданных машин и агрегатов. На стадии создания основных рабочих органов в зональных научных учреждениях работа, в основном, определяется личными склонностями конкретных специалистов и поэтому носит, нередко вероятностный характер и далеко не всегда целенаправленно координируется головными институтами. Зачастую упускаются жесткие количественные требования к снижению удельных затрат труда, энергии, материалов. Учет же влияния агробиологических условий строится не на изучении всего интервала параметров внешней среды, а лишь "в среднем" для зоны. После подготовки институтами проектов агротехнических тре-

ований на машины и агрегаты, основу новизны которых составляют созданные рабочие органы, разработки включаются в координационные планы (программы) и выполняются уже под руководством головных институтов-координаторов. Таким образом, вероятно создаваемые рабочие органы приобретают возможность включения в состав планово создаваемых машин. Такой метод создания новой техники, как показывает практика, не обеспечивает высокий технико-экономический уровень разработки системы машин в целом.

Существующая методика обоснования системы машин /1/ практически не учитывает связи их параметров с организационными формами использования средств механизации. Предполагается, что одни и те же средства механизации одинаково удовлетворительно смогут функционировать в рамках различных организационных форм. Между тем даже самое приблизительное изучение проблемы машиноиспользования вскрывает довольно тесную связь между организационными формами проведения работ и конструктивно-технологическими параметрами средств механизации. Так, крупногрупповое использование мобильной техники в полеводстве предъявляет повышенные требования к ее надежности, определяет комплектацию, ставит задачи дополнительной разработки специального и вспомогательного оборудования (бункеры-накопители, высокопроизводительные средства технического обслуживания в уборочно-транспортных комплексах и т.д.). Формы организации использования техники накладывают определенные ограничения и на технологические процессы, которые в свою очередь влияют на техническую и технологическую структуру средств механизации. Высокопроизводительное использование зерноуборочных комбайнов, например, особенно большой пропускной способности, плохо согласуется с поточной технологией уборки незерновой части урожая (НЧУ) в измельченном виде с применением навесных измельчителей и прицепных сменных тележек. В этом случае нужны другие средства механизации уборки НЧУ и другое конструктивное оформление комбайна.

Существующая методика не учитывает применяемых способов управления машинами и агрегатами, технологическими процессами и производством в целом и их влияния на кон-

структивную структуру машин и агрегатов. Между тем от метода управления зависит уровень оснащения агрегатов средствами автоматизации и контроля технологического процесса, диапазоны регулирования технологических параметров рабочих органов, их конструктивные массы. Современные же средства автоматизации имеют довольно высокую стоимость, доходящую иногда до 20–30% стоимости автоматизируемого объекта (например, при автоматизации зерноуборочного комбайна).

Существенно влияет на комплектацию средств механизации размещение стационарных объектов. Наличие или отсутствие на зерноочистительно-сушильных комплексах (ЗСК) хранилищ для временного хранения свежесобранного вороха и обработанного зерна и объемы хранилищ определяются расположением ЗСК относительно полей севооборота и хлебоприемного пункта (ХПП). Известно, что стоимость хранилищ значительно превосходит стоимость зерноочистительно-сушильной части ЗСК. Однако существующая методика обоснования системы машин рассматривает эти вопросы лишь в самом общем виде.

Действующая система машин призвана реализовать агротехнические процессы возделывания сельскохозяйственных культур, предусмотренные зональными системами ведения сельского хозяйства. Однако, как уже отмечалось, сложившаяся практика разработки системы машин обеспечивает соответствие технологических комплексов только средним условиям зоны. Любые отклонения агробιологических условий протекания сельскохозяйственных процессов от средних значений даже в характерном для зоны интервале приводят к значительным сбоям производственного процесса и невозвратимым потерям продукции. Методика не располагает действенным инструментом, обеспечивающим разработку средств механизации адекватно всему интервалу условий внешней среды. Между тем последовательность разработки системы машин на основе системного анализа как раз и предусматривает определение наиболее существенных связей со средой, которые могут быть установлены путем представления системы машин как подсистемы, входящей в систему более высокого уровня – систему ведения сельского хозяйства в зоне и подзоне.

Система ведения сельского хозяйства разрабатывается применительно к административному региону (краю, области, республике без областного деления). В соответствии с современными представлениями, изложенными в одобренной Отделением экономики и организации сельского хозяйства ВАСХНИЛ Программе и методике разработки научно обоснованных систем ведения сельского хозяйства /2/, она должна включать учет производственных ресурсов, совершенствование размещения и специализации сельскохозяйственного производства, вопросы развития межхозяйственной кооперации и агропромышленной интеграции, интенсификации производства, повышения его эффективности и перевода на промышленную основу, системы интенсивного земледелия и т.д. Приведенная на рис. 1 общая структурная схема системы ведения сельского хозяйства представляет попытку реализации требований указанной Программы и методики. В схему включены оптимальные организационно-технологические подсистемы (организационно-технологические комплексы, сельскохозяйственные предприятия промышленного типа, реализующие интенсивное землепользование на основе оптимальных севооборотов), многоуровневые подсистемы управления с применением математического моделирования сложных вероятностных подсистем. В предлагаемую структуру системы машин входит в виде оптимальных комплексов машин для выполнения основных и вспомогательных технологических процессов (самостоятельные подсистемы). Оптимальные комплексы машин реализуют оптимальные агротехнические процессы и, с другой стороны, образуют рациональные (в некоторых случаях и оптимальные) управляемые организационно-технологические структуры. Агротехнические процессы, в свою очередь, соответствуют оптимальным севооборотам. Таким образом, на основе зональной системы ведения сельского хозяйства устанавливаются главные воздействия, которым подвергаются технологические комплексы и которые влияют на их оптимизацию, т.е. определяются связи исследуемой подсистемы с внешней средой.

Последовательность разработки системы машин включает анализ основных прямых и обратных связей, источником которых является внешняя среда. На рис. 2 схематически представлена последовательность разработки системы машин,

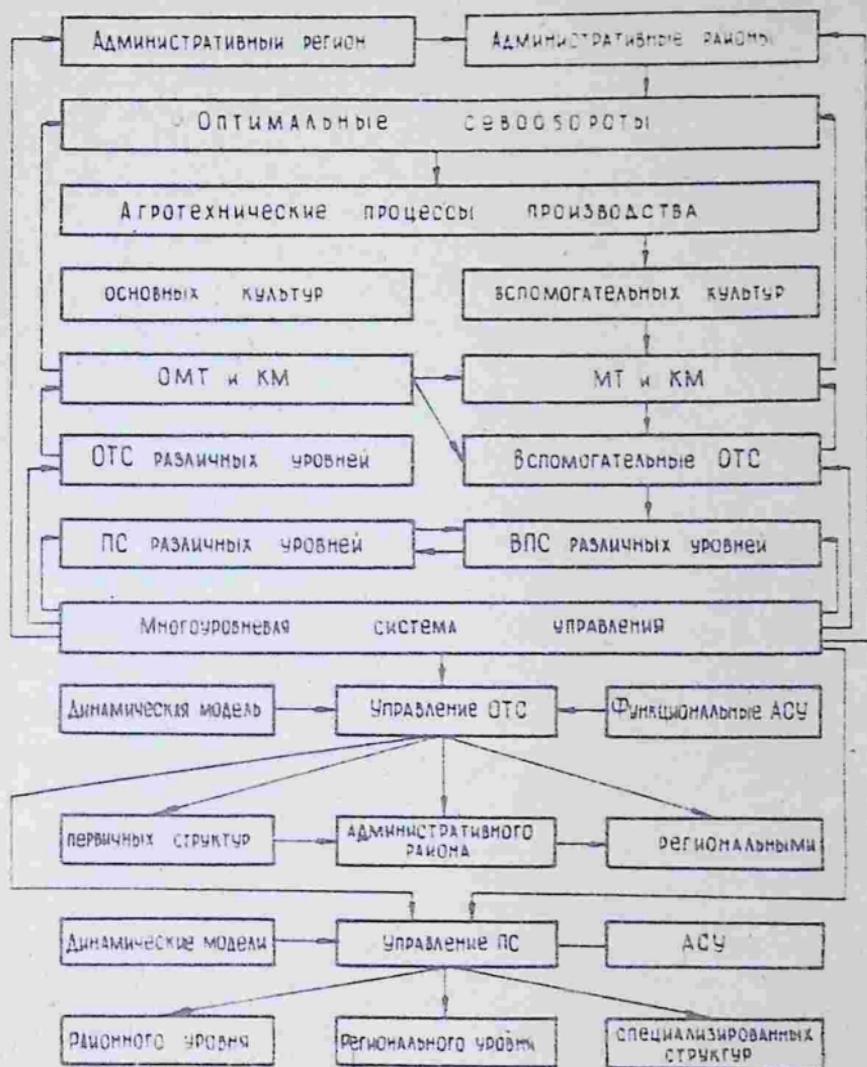


Рис. 1. Структурная схема системы ведения сельского хозяйства: ОТС – организационно-технологическая система; КМ – комплекс машин; ПС – подсистема; ОМТ – оптимальная механизированная технология; МТ – механизированная технология; ВПС – вспомогательная подсистема

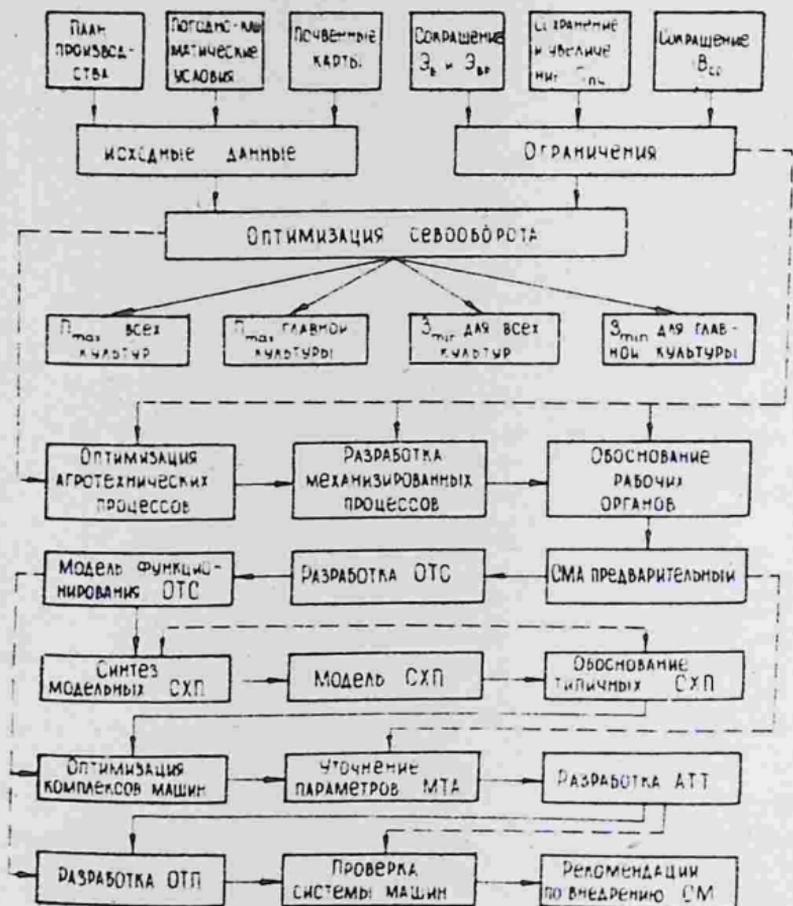


Рис. 2. Последовательность разработки системы машин: Эв, Эвр – водная и ветровая эрозия; Ввод – воздействие на окружающую среду; Ппч – почвенное плодородие; Пмакс – максимальные затраты на производство; ОТС – организационно-технологическая структура; СМА – синтез машин и агрегатов; СХП – сельскохозяйственное предприятие; МТА – машинно-тракторный агрегат; АТТ – агротехнические требования; ОТП – организационно-технические правила производства работ; СМ – система машин

объединяющая вопросы целенаправленного обоснования рабочих органов и организационно-технологических структур, уточнение последовательности обоснования хозяйств, решение задачи оптимизации севооборотов, формирующей исходные данные для обоснования агротехнических процессов.

Применительно к оптимизируемым севооборотам (и одновременно с их оптимизацией, судя по информации, необходимой для этой цели) разрабатываются оптимальные агротехнические процессы. Они включают необходимые агротехнические приемы с соответствующими агросроками возделывания входящих в севооборот культур, необходимый режим внесения удобрений, рациональные методы воздействия на почву и растения на всех стадиях производства урожая во всем спектре агробиологических и физико-механических свойств почвы и растений в многообразии условий производства, культур севооборотов в зонах и подзонах.

При разработке рабочих органов решается целый ряд оптимизационных задач, направленных на уточнение качества их работы, повышение производительности и снижение энергоемкости. Другие оптимизационные задачи (снижение материалоемкости, оптимизация некоторых конструктивных параметров и т.п.) решаются в рамках синтеза машин и агрегатов.

На основе параметров новых рабочих органов и с учетом существующих конструкций определяются условия функционирования машин и производится их предварительный синтез, который позволяет примерно определить технологические и технико-эксплуатационные параметры. Цель такого синтеза — разработать организационно-технологические структуры использования новых средств механизации и с помощью математической модели этих структур уточнить условия функционирования, а затем оптимизировать технологические комплексы машин.

Разработанные таким образом организационно-технологические структуры применительно к условиям различных зон и подзон позволяют осуществить синтез модельных хозяйств, технико-экономические и организационные параметры которых наиболее пригодны для рационального использования новой техники. Параметры синтезированных модельных хозяйств позволяют подобрать типичные хозяйства, с наложением на

которые производится оптимизация комплексов. После оптимизации окончательно уточняются параметры технологических комплексов, которые затем реализуются в натуральных образцах; проверяются в производственных условиях и представляют материал для разработки агротехнических требований.

Отметим, что на всех стадиях разработки системы машин очень большое (если не главное) значение имеет математическое моделирование. С помощью моделей удается изучить пока реально не существующие организационно-технологические комплексы (ОТК) и уточнить их структуру, конструктивно-технологические схемы новых машин и параметры рабочих органов — и все это при неизмеримо меньших затратах, чем потребность полного натурального эксперимента. Более того, ни один натуральный эксперимент не мог бы дать тех результатов, которые предоставляет моделирование, — хотя бы потому, что натуральный эксперимент практически невозможно сегодня организовать для всех встречающихся в зоне и подзоне условий.

Применяемые модели можно разделить на ряд уровней, соответствующих этапам разработки системы машин. Моделями самого низкого уровня являются модели оптимизации рабочих органов и оптимального синтеза машин и агрегатов. Их можно отнести к классу микромоделей. Далее следуют модели функционирования ОТК и стационарных объектов и модели оптимизации размещения последних. Объекты эти являются довольно сложными, режимы их работы стохастические.

Следующий уровень представлен моделями оптимизации технологических процессов и комплексов машин. Методики их выбора и обоснования широко известны как в рамках общей методики разработки системы машин [3], так и в виде результатов исследований зональных институтов. Известны также и недостатки, которыми эти методики характеризуются в части критериев оптимизации, учета условий внешней среды и т.д.

В настоящем исследовании предлагается другой критерий оптимизации. Имея в виду, что технологические комплексы прямо влияют на производство продукции, в качестве критерия оптимальности выбирается максимально возможное в

конкретных условиях производство урожая каждой культуры оптимального севооборота l , которое определяется технологическим комплексом x_l из набора G_l технологических комплексов, способных осуществить производство l -й культуры севооборота. Разрабатываемая на основе такого критерия математическая модель системы машин отражает экономичности производства продукции, его связи с почвенно-климатическими условиями, технологическими процессами и принятыми комплексами машин для возделывания, уборки и переработки урожая севооборота. Математическая модель системы машин может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 & Y_{\text{пр}y_1} Q_1 \{K_{\mu}(x); T_g(x)\} \prod_1^{n_1} F_{1i} \{K_{\mu}(x)\} \prod_1^{n_1} \varphi_{1i} \{K_{\mu}(x); t\} \rightarrow \\
 & \rightarrow Y_{\text{пр}y_1} - \min \sum_1^{K_1} P_{1j}(x) \\
 & x \in G'_{n_1} \qquad \qquad \qquad x \in G_{n_1}
 \end{aligned}$$

(1)

$$\begin{aligned}
 & Y_{\text{пр}y_2} Q_2 \{K_{\mu}(x); T_g(x)\} \prod_1^{n_2} F_{2i} \{K_{\mu}(x)\} \prod_1^{n_2} \varphi_{2i} \{K_{\mu}(x); t\} \rightarrow \\
 & \rightarrow Y_{\text{пр}y_2} - \min \sum_1^{K_2} P_{2j}(x) \\
 & x \in G'_{n_2} \qquad \qquad \qquad x \in G_{n_2}
 \end{aligned}$$

.....

$$\begin{aligned}
 & Y_{\text{пр}y_l} Q_l \{K_{\mu}(x); T_g(x)\} \prod_1^{n_l} F_{li} \{K_{\mu}(x)\} \prod_1^{n_l} \varphi_{li} \{K_{\mu}(x); t\} \rightarrow \\
 & \rightarrow Y_{\text{пр}y_l} - \min_l \sum_1^{K_l} P_{li}(x) \\
 & x \in G'_{n_l} \qquad \qquad \qquad x \in G_{n_l}
 \end{aligned}$$

$$Y_{\text{пocy}} = Y_0 + \frac{(B-B_0)K_{\varphi}(W_n - W_k + \sum J)}{240q\gamma(100 - \omega_0)\sum R_0} + t_{\delta} \sigma_{\text{дву}} \quad P_j(x) = F_i\{K_{\mu}(x)\}$$

$$G'_n \in G_n$$

ограничения по труду:

ограничения по затратам:

$$\frac{\sum_i^{P(x)} \tau_i(x)}{\Theta} \leq r(S, Q_T, \Pi, C_n, C_u)$$

$$\sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^{n_j} \Pi_{3i}(x) \leq C(S, \Theta_T, \Pi, C_n)$$

Здесь $Y_{\text{пocy}}$ - программируемая величина урожая конкретной культуры севооборота, полученная на основе анализа агро-экосистемы производства /4/: $Q_i\{K_{\mu}(x); T_g(x)\}$ - функционал, показывающий полноту реализации агротехнического процесса $T_g(x)$ в зависимости от применяемого технологического комплекса $K_{\mu}(x)$; $F_i\{K_{\mu}(x)\}$ - функционал, определяющий снижение производства урожая на каждой операции в зависимости от применяемого технологического комплекса (уплотнение почвы ходовыми системами агрегатов, эрозия почвы, механические потери урожая за уборочными агрегатами и т.д.); $\Phi_i\{K_{\mu}(x); t\}$ - функционал, определяющий потери урожая при увеличении длительности t проведения работ в зависимости от применяемого варианта технологического комплекса (также по каждой операции процесса);

$\tau_i(x)$ - длительность работ при максимальном количестве операций $P(x)$, выполняемых одновременно; $P_{ij}(x)$ - механические потери выращенного урожая; $r(S, \Theta_T, \Pi, C_n, C_u)$ - трудовые ресурсы хозяйства как функция возделываемой площади S , объема товарной продукции Θ_T , уровня рентабельности Π , специализации C_n , социально-культурных условий C_u ; Θ - фонд времени одного механизатора; Π_3 - средства, выделяемые хозяйству для проведения технологического процесса; Y_0 - средний урожай, который может быть получен на полях с бонитетом B_0 ; B_0 - бонитет наиболее слабо окультуренных полей зоны или подзоны; B - бонитет конкретного поля в севообороте; K_{φ} - коэффициент использования фотосинтетически активной радиации посевом, отвечающий идеальным почвенно-климатическим условиям зоны (подзоны); W_n и W_k - соответственно начальные и конечные влагозапасы в почве поля; $\sum J$ - осадки за период вегетации; $\sum R_{\delta}$ - суммарный за период вегетации радиа-

ционный баланс; q - калорийность единицы сухого органического вещества; γ - отношение полезной продукции к побочной в общем урожае биомассы; $\sigma_{\text{рвч}}$ - среднеквадратическое отклонение действительно возможного урожая, который производится на конкретном поле с учетом его реального плодородия; t_g - безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от хозяйственного параметра.

Таким образом, построенная математическая модель увязывает технологические комплексы с конкретными условиями производства урожая.

При этом в качестве ограничений выступают трудовые ресурсы, которыми располагает конкретное сельскохозяйственное предприятие (СХП), и выделяемые ему средства для производства продуктов севооборота. Оба ограничения представляются, в свою очередь, зависящими от параметров сельскохозяйственного предприятия.

Графовая модель G технологического комплекса, из которой выбираются варианты X (стратегии), максимизирующие производство культуры севооборота, представляет собой совокупность полного набора технологических операций и обозримого набора средств механизации и энергосредств - существующих, перспективных и прогнозируемых - с соответствующими технико-эксплуатационными параметрами /5/. Для выбора оптимального набора машин, образующих технологический комплекс, оптимизация ведется для полного набора из L культур для всего севооборота с построенным всех графовых моделей для каждой культуры. Таким образом формируется набор $\{G\}_L$ графовых моделей для оптимизации (таблица 1) с учетом реальных предшественников для каждой культуры. Надо отметить, что на стадии отработки аналитического аппарата решения задачи и в связи с отсутствием части информации для реализации продуктивного критерия в проведенной выше модели /5/ используется обычно применяемый критерий оптимизации - минимум приведенных затрат.

При получении исходной информации для оптимизации технологического комплекса по графовой модели севооборота

Распределение графовых моделей G_i ($1 \leq i \leq 10$) технологических комплексов

Таблица

Годы ротации культур	Номера полей севооборота									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ПАР G_5	ОЗИМАЯ G_1	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА СИЛОС G_4	ОЗИМАЯ G_1	ЗЕРНОВО-ВЫЕ G_3	ОЗИМАЯ G_1	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА СИЛОС G_4	ПОДСОЛНЕЧНИК G_3
2	ОЗИМАЯ G_1	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА СИЛОС G_2	ОЗИМАЯ G_1	ЗЕРНОВО-ВЫЕ G_3	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА ЗЕРНО G_4	ОЗИМАЯ G_1	ПОДСОЛНЕЧНИК G_3	ПАР G_5
3	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА СИЛОС G_2	ОЗИМАЯ G_1	ЗЕРНОВО-ВЫЕ G_3	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА ЗЕРНО G_4	ОЗИМАЯ G_1	ПОДСОЛНЕЧНИК G_3	ПАР G_5	ОЗИМАЯ G_1
4	КУКУРУЗА НА СИЛОС G_2	ОЗИМАЯ G_1	ЗЕРНОВО-ВЫЕ G_3	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА ЗЕРНО G_4	ОЗИМАЯ G_1	ПОДСОЛНЕЧНИК G_3	ПАР G_5	ОЗИМАЯ G_1	ОЗИМАЯ G_1
5	ОЗИМАЯ G_1	ЗЕРНОВО-ВЫЕ G_3	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА ЗЕРНО G_4	ОЗИМАЯ G_1	ПОДСОЛНЕЧНИК G_3	ПАР G_5	ОЗИМАЯ G_1	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА СИЛОС G_2
6	ЗЕРНОВО-ВЫЕ G_3	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА ЗЕРНО G_4	ОЗИМАЯ G_1	ПОДСОЛНЕЧНИК G_3	ПАР G_5	ОЗИМАЯ G_1	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА СИЛОС G_2	ОЗИМАЯ G_1
7	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА ЗЕРНО G_4	ОЗИМАЯ G_1	ПОДСОЛНЕЧНИК G_3	ПАР G_5	ОЗИМАЯ G_1	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА СИЛОС G_2	ОЗИМАЯ G_1	ЗЕРНОВО-ВЫЕ G_3
8	КУКУРУЗА НА ЗЕРНО G_4	ОЗИМАЯ G_1	ПОДСОЛНЕЧНИК G_3	ПАР G_5	ОЗИМАЯ G_1	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА СИЛОС G_2	ОЗИМАЯ G_1	ЗЕРНОВО-ВЫЕ G_3	ОЗИМАЯ G_1
9	ОЗИМАЯ G_1	ПОДСОЛНЕЧНИК G_3	ПАР G_5	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА СИЛОС G_2	ОЗИМАЯ G_1	ЗЕРНОВО-ВЫЕ G_3	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА ЗЕРНО G_4	КУКУРУЗА НА ЗЕРНО G_4
10	ПОДСОЛНЕЧНИК G_3	ПАР G_5	ОЗИМАЯ G_1	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА СИЛОС G_2	ОЗИМАЯ G_1	ЗЕРНОВО-ВЫЕ G_3	ОЗИМАЯ G_1	КУКУРУЗА НА ЗЕРНО G_4	ОЗИМАЯ G_1

особые трудности представляет идентификация исходной информации, так как машины и агрегаты, "укладываемые" в модель, проходят исследования в различных условиях, поэтому получаемые их технико-эксплуатационные показатели часто не сравнимы. С целью приведения исходных параметров к одинаковым условиям была разработана модель, идентификации (рис. 3). На основе имеющихся или специально разрабатываемых аналитических конструкций полученные в одном классе условий внешние параметры машин и агрегатов преобразуются в соответствующие параметры для другого класса условий или для всего спектра условий (урожайность, влажность, твердость почвы и т.д.), в которых средство механизации не проверялось, но применительно к которым ведется оптимизация. В качестве примеров были определены технико-эксплуатационные показатели кукурузоуборочных агрегатов и зерноуборочных комбайнов - существующих, перспективных и прогнозируемых - при изменении рядности от двух до шести и пропускной способности 10...18 кг/с для всего интервала условий применения этих средств механизации в Северо-Кавказской зоне. Были установлены закономерности изменения массы, мощности двигателя, расхода горючего, цены, а также пропускной способности и производительности, что позволило вычислить все необходимые технико-эксплуатационные показатели по имеющимся фактическим данным применительно к одному классу условий. Такие наборы закономерностей должны быть составлены для всех видов средств механизации.

Условия протекания технологического процесса в зонах и подзонах по годам могут значительно отклоняться от средних значений. Определяя стратегию полевых работ, работники хозяйств стремятся выполнять все технологические процессы в оптимальные агросроки во всем наборе условий в зоне. Поэтому им необходимо располагать для этих целей соответствующим комплексом средств механизации, т.е. разрабатываемые технологические комплексы должны обеспечить проведение полевых работ в соответствии с агротребованиями не только в одном узком классе, а во всем интервале встречающихся в зоне условий.

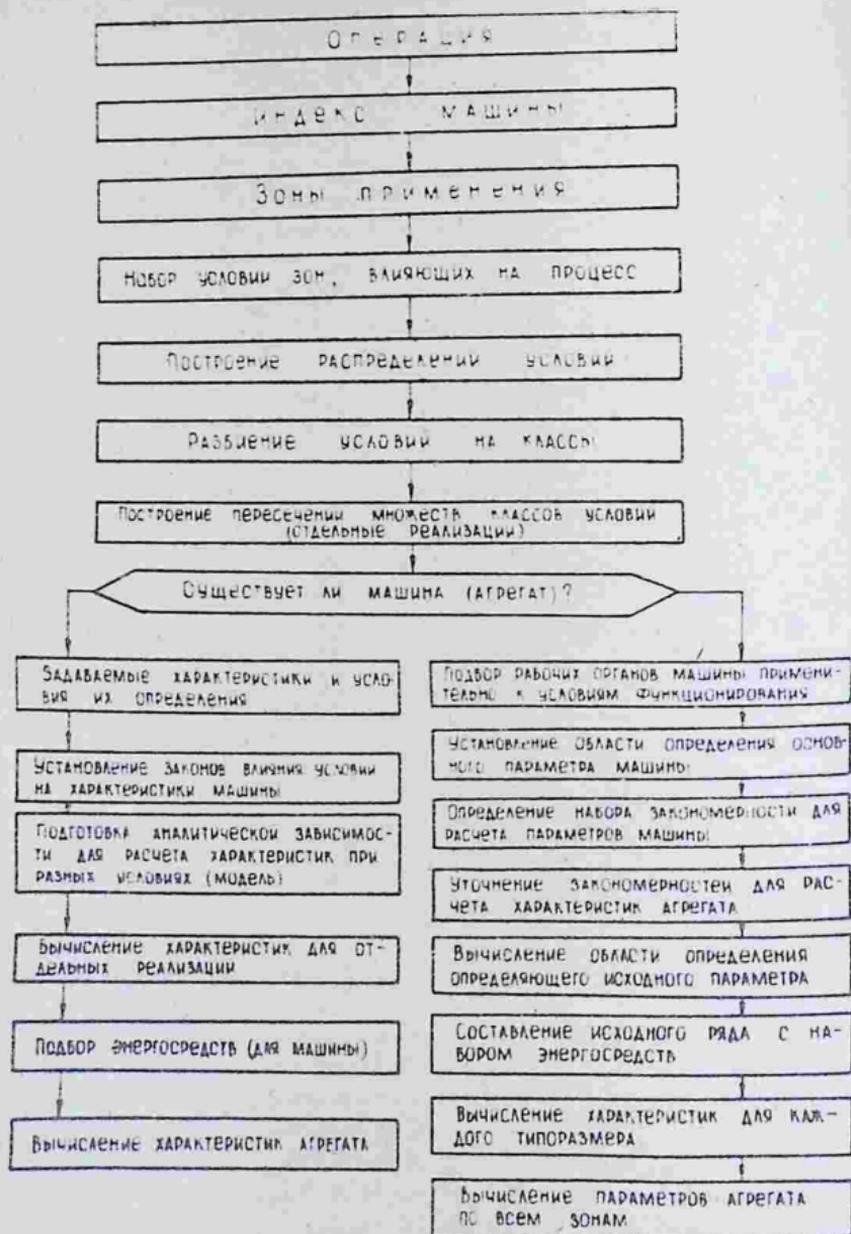


Рис. 3. Алгоритм идентификации исходных данных

Для лучшего соответствия проектируемых технологий и комплексов машин внешним условиям целесообразно построить статистическое распределение основного параметра (например, влажности почвы, урожайности незерновой части колосовых культур, урожайности кукурузы, трав и т.д.), затем произвести разбиение этого распределения на периоды, (классы), в течение каждого из которых влияние колебания изучаемого параметра на протекание процесса можно считать несущественным (рис. 4).

Для каждого класса условий подбирается обозримый набор технологий и комплексов машин, которые подвергаются оптимизации по выбранному критерию K с целью выявления технологии и комплекса машин, обеспечивающих наилучшее значение этого критерия. Если бы сельхозпредприятие могло иметь рассчитанные таким образом оптимальные комплексы машин, это давало бы возможность выполнить все технологические процессы в оптимальные сроки при минимуме потерь во всех условиях в течение цикла. Однако такой подход привел бы к необходимости создавать очень широкие наборы техники, часть которых в некоторые годы совсем не использовалась бы. Для того, чтобы уменьшить требуемое количество машин, следует исключить одинаковые (однотипные) из разных комплексов. Если $\{N_i\}$ - множество машин в оптимальном комплексе, соответствующем i -му классу, то должно соблюдаться следующее условие:

$$\begin{aligned} & \left\| \begin{array}{cccc} \{N_1\} \cap \{N_2\} & \{N_2\} \cap \{N_3\} & \dots & \{N_{n-1}\} \cap \{N_1\} \\ \{N_1\} \cap \{N_3\} & \{N_2\} \cap \{N_4\} & \dots & \{N_{n-1}\} \cap \{N_2\} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \{N_1\} \cap \{N_n\} & \{N_2\} \cap \{N_n\} & \dots & \{N_{n-1}\} \cap \{N_n\} \end{array} \right\| \\ & = \left\| \{N_i\} \cap \{N_j\} \right\| = \emptyset, \quad 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n, i \neq j \end{aligned} \quad (2)$$

Библиотека
СамСХИ
ИДБ. № 299424

Закономерность распределения внешних условий

Количество технологий в классах	Количество машин в технологии	Условия оптимизации технологий в классах
$K_1 = 4$	$M_1 = 6$ $M_2 = 8$ \vdots	$\sum_{i=1}^{M_i} K_i \rightarrow \min$ $M_2 = N_1$ $\{ \leq i \leq 8$
$K_2 = 12$	$M_1 = 4$ $M_2 = 11$ \vdots	$\sum_{i=1}^{M_i} K_i \rightarrow \min$ $M_2 = N_2$ $\{ \leq i \leq 11$
$K_3 = 10$	$M_1 = 5$ $M_2 = 7$ \vdots	$\sum_{i=1}^{M_i} K_i \rightarrow \min$ $N_2 = N_3$ $\{ \leq i \leq 7$
$K_4 = 21$	$M_1 = 6$ $M_2 = 9$ \vdots	$\sum_{i=1}^{M_i} K_i \rightarrow \min$ $M_{10} = N_4$ $\{ \leq i \leq 9$
$K_5 = 22$	$M_1 = 6$ $M_2 = 8$ \vdots	$\sum_{i=1}^{M_i} K_i \rightarrow \min$ $M_2 = N_5$ $\{ \leq i \leq 8$
$K_6 = 5$	$M_1 = 4$ $M_2 = 11$ \vdots	$\sum_{i=1}^{M_i} N_i \rightarrow \min$ $M_2 = N_6$ $\{ \leq i \leq 11$

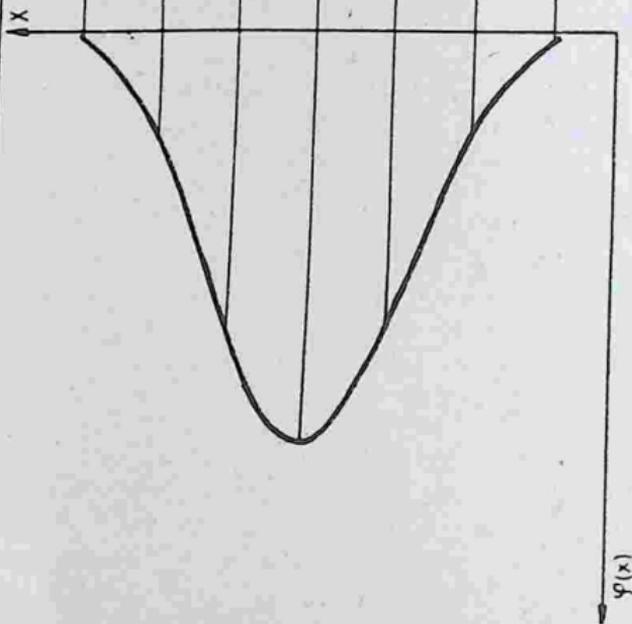


Рис. 4. К оптимизации технологий в зависимости от условий протекания процесса

Это условие означает, что попарное пересечение множеств машин в оптимальных технологических комплексах есть пустое множество, тогда имеющийся в хозяйстве набор машин для конкретного процесса может обеспечить формирование оптимальных комплексов машин для всех классов условий, встречающихся в зоне (подзоне). Если и в этом случае содержание минимального набора машин окажется для хозяйства дорогостоящим (не впишется в ограничения), то каждому классу условий следует приписать вероятность его появления в период цикла и вновь решить оптимизационную задачу с учетом возможных потерь продукта. В основе решения задачи лежит графовая модель технологического комплекса.

Оптимизация стационарных технологических процессов и комплексов машин для их выполнения решается одновременно с оптимизацией их структуры и размещения на территории предприятия. Весь технологический процесс в этом случае, начиная от источников сырья в поле до сдачи готовой продукции, представляется сетью, которая реализует материальные и энергетические потоки в производственном процессе; узлами сети являются машины и агрегаты, промежуточные емкости, склады сырья и готовой продукции, а ориентированными ветвями — технологические связи (по существу, это тоже графовая модель).

Для решения задачи оптимизации разработаны все необходимые аналитические конструкции и детерминированная математическая модель [5]. Конкретная задача оптимизации структуры, состава и размещения решена для зерноочистительно-сушильных комплексов (ЗСК). Моделирование процесса функционирования ЗСК включает описание всей технологической цепочки "поле — хлебоприемный пункт (ХПП)", начиная от работы уборочно-транспортных комплексов и поступления свежесобранного зерна на ЗСК до вывоза зерна на хлебоприемный пункт (ХПП). При этом режим вывоза очищенного зерна также имеет определенное значение для оптимизации структуры, состава и размещения ЗСК. В нашей задаче перевозка зерна на ХПП предполагается прерывной, осуществляемой комплексными автотранспортными отрядами по мере накопления партий зерна. Построена ма-

тематическая модель для детерминированного и вероятностного случаев, позволяющая определить оптимальные объемы партий зерна, производительности автотранспортных отрядов и приемного оборудования на ХПП. В модель системы с целью оптимизации размещения включены вопросы обоснования хранилищ свежееубранного вороха и емкостей для временного хранения очищенного зерна. Общие оптимизационные соотношения с использованием разных вариантов временного хранения зерна представляются зависимостью:

$$\sum_1^n z_{\text{тр}}^{(x_i - S_k)} + \left\{ \begin{matrix} z_{\text{пз}}^n \\ z_{\text{пз}}^{(+E)} \\ z_{\text{пз}}^{(-E)} \end{matrix} \right\} + \left\{ \begin{matrix} z_{\text{тр}}^{(\text{ЗСК-ПНЗ})} \\ z_{\text{п}}^{(\text{ПНЗ})} \end{matrix} \right\} + \left\{ \begin{matrix} z_{\text{тр}}^{(\text{ЗСК-ХПП})} \\ z_{\text{тр}}^{(\text{ПНЗ-ХПП})} \end{matrix} \right\} \rightarrow \min \quad (3)$$

Здесь $\sum_1^n z_{\text{тр}}^{(x_i - S_k)}$ - затраты на перевозку зерна с i -го поля на k -й ЗСК (выполняется транспортом УТК); $z_{\text{пз}}^n$ - затраты на переработку зерна на ЗСК поточным методом; $z_{\text{пз}}^{(+E)}$ - затраты на переработку вороха с использованием хранилищ для свежееубранного вороха (+E); $z_{\text{пз}}^{(-E)}$ - затраты на переработку вороха с использованием послеуборочного временного хранения зерна (-E); $z_{\text{тр}}^{(\text{ЗСК-ПНЗ})}$ - затраты на транспортировку зерна с ЗСК на ПНЗ (за исключением той части валового сбора зерна, которая перерабатывается на ПНЗ); $z_{\text{тр}}^{(\text{ЗСК-ПНЗ})}$ - затраты на транспортировку с ЗСК на ХПП; $z_{\text{тр}}^{(\text{ЗСК-ХПП})}$ - затраты на транспортировку с ПНЗ на ХПП.

Минимизация затрат на весь процесс производится на графе, построенном в соответствии с конфигурацией хозяйства и его дорожной сети. В качестве вершин графа выбираются поля севооборотов, точки, пригодные для размещения ЗСК, ПНЗ и ХПП. Ребрам ставятся в соответствие транспортные магистрали. Разработанная математическая модель для решения этой задачи проверена применительно к различным хозяйствам и административным районам зоны Северного Кавказа. Но она рассматривает однопотокую

систему (поступление зернового вороха). Для полного решения задач оптимизации стационарных объектов необходимо разработать конкретные алгоритмы при многопоточных всходах.

Оптимизация технологических процессов и комплексов включает в состав моделей и оптимальный синтез агрегатов. Если задача оптимального синтеза касается агрегата или машины для выполнения только одной конкретной операции, то она может быть решена на микроуровне в рамках необходимой для этого информации. Дополнительные трудности возникают при решении оптимизационной задачи, когда отдельные агрегаты или их части, входящие в синтезируемую систему, используются еще и на других операциях. Примером синтеза такой структуры может служить машинно-тракторный агрегат. В него входят энергетическая машина, трактор и рабочая машина (или группа машин и орудий) для выполнения конкретной операции. Операция может состоять из элементов (или переходов), для последовательного выполнения которых (в рамках одной операции) в составе рабочей машины имеется набор рабочих органов.

Неотъемлемой частью моделируемых технологических процессов являются процессы управления. Реализуемые подсистемами управления, они теснейшим образом вводят эти подсистемы в изучаемые нами структурные образования. Рассматриваемые организационно-технологические системы (ОТС) являются управляемыми системами. К управляемым системам относятся сельскохозяйственные машины и агрегаты. При разработке основ моделирования этих систем, строго говоря, надо было бы вводить и модели управляющих подсистем. Но ввиду того, что проблемы управления в ОТС сельскохозяйственного назначения разработаны еще недостаточно, приходится вводить управление в виде функциональных блоков (со связями), изучая его отдельно. Подсистемы управления, как правило, многоуровневые. Они например включают в себя:

- зерноуборочные комбайны, которые требуют управления технологическими параметрами рабочих органов (конкретно в каждом комбайне);
- объединение комбайнов в УТК, каждый из которых является управляемым объектом;

- группы УТК, работающие в конкретных СХП, и каждая такая группа УТК, ЗСК и т.п. требует управления в соответствии с общей целью уборки в СХП;

- все УТК СХП административных районов и межхозяйственные УТК, транспортные колонны и т.п., требующие управления с целью решения общерайонных задач уборки;

- районные подсистемы УТЗП,^х подчиненные региональной системе и управляемые с целью решения региональных задач.

Каждый уровень системы имеет, хотя и согласованные, но собственные цели управления. Для оптимизации стратегий на каждом уровне разработаны специальные математические модели на основе теоретико-вероятностного аналитического аппарата, так как все объекты в системе УТЗП работают в вероятностном режиме.

Обоснование и оптимизация процессов управления вызывает к жизни вполне материальные средства регулирования рабочих органов в машинах и агрегатах и средства коммуникации, которые имеют довольно высокую стоимость и, в свою очередь, формируют требования к структуре средств механизации.

Оптимизация подсистем управления позволит определить необходимое количество приборов и средств автоматизации, устанавливаемых как на полевых агрегатах, так и на стационаре, определить рациональный порядок их взаимодействия, выдвинуть требования к автоматизации сельхозмашин, ввести комплексное проектирование автоматизированных агрегатов.

Рассмотренная система моделей позволяет решать проблему проектирования технологических комплексов. Целью такого проектирования является разработка конструкций оптимальных для заданных агротехнических процессов и условий внешней среды средств механизации путем применения поэтапного математического моделирования и экспериментальной проверки натуральных образцов на основе человеко-машинных систем. В такой постановке проектирование технологического комплекса можно рассматривать как одну из задач автоматизированного проектирования.

В настоящее время автоматизация проектирования находит все большее применение в различных областях машиностроения. Преимущества этого метода весьма значительны, и среди основных - резкое сокращение сроков проектирования и улуч-

^хУТЗП - уборочно-транспортный и заготовительный процесс

шение его качества. Однако метод требует хорошего математического обеспечения. В сельхозмашиностроении метод автоматизированного проектирования еще не вышел из стадии научных исследований, главным образом, из-за крайней слабости математического описания сельскохозяйственных технологических процессов. Математическое моделирование всех этапов разработки системы машин, кроме качественного повышения уровня создаваемых средств механизации, позволяет сократить и сроки их разработки, явившись основой создания систем автоматизированного проектирования (САПр).

На рис. 5 представлена агрегированная блок-схема проектирования технологического комплекса. Проектирование начинается с обоснования потребности в разработке технологического комплекса, оно выполняется в рамках систем более высоких уровней по сравнению с той системой, в которой ведется проектирование. Обоснование может быть выполнено на основе зональной системы ведения сельского хозяйства, выдвигающей задачи по возделыванию какой-либо новой для зоны культуры (при отсутствии средств механизации или их части, пригодных для возделывания этой культуры в зоне), или если есть необходимость введения более прогрессивного агротехнического процесса применительно к известным культурам (например, индустриальная технология возделывания пропашных культур) и т.д. Потребность в разработке нового технологического комплекса может быть обусловлена намечающимися демографическими сдвигами в зоне. Наконец, она может быть вызвана плановыми мероприятиями по повышению производительности труда.

Здесь производится расчет данных для проектирования, которые включают зону применения, тип технологического процесса, вид и состояние культуры, задаваемый уровень затрат труда, полноту сбора урожая и т.д.

Каждый блок приведенной схемы содержит одну или несколько математических моделей, при этом часть содержащихся в схеме моделей имеет более высокий уровень по сравнению с моделями уровня обоснования системы машин. Так, кроме упоминавшейся выше модели обоснования потребности в разработке технологического комплекса, сюда относятся модель выделения ресурсов для постановки средств

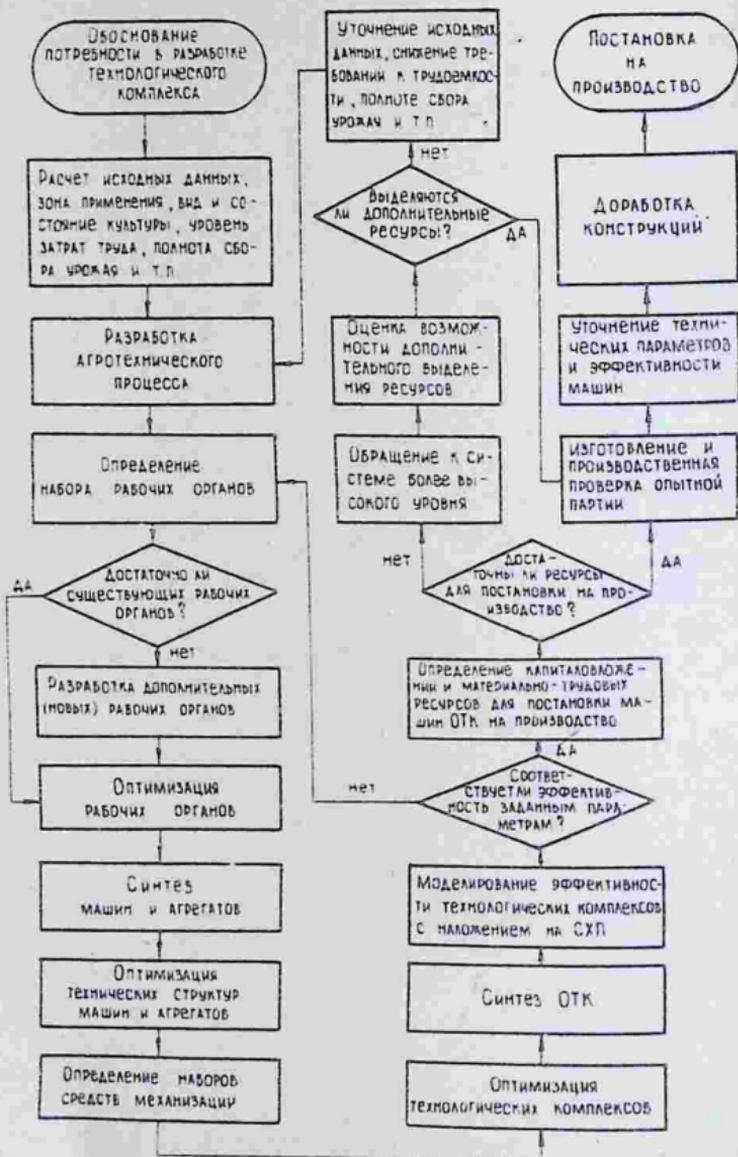


Рис. 5. Агрегированная блок-схема проектирования технологического комплекса

механизации технологического комплекса на производство. Дело в том, что задачи по разработке системы машин решаются в условиях ограниченных ресурсов. Поэтому средства механизации, параметры и набор которых оптимизированы в рамках разрабатываемых систем машин, не всегда удается реализовать в сельхозмашиностроении на основе планово выделяемых ресурсов. В этом случае необходимо воспользоваться моделями более высокого уровня, с помощью которых оценивается возможность дополнительного выделения денежных, материально-технических и трудовых ресурсов для освоения новых средств механизации. Определение этой возможности и принятие решения выполняются с помощью группы моделей в рамках отрасли или даже народного хозяйства в целом с оценкой того недобора сельскохозяйственной продукции, который неизбежно будет иметь место при отсутствии нового комплекса или его части в сельскохозяйственном производстве в течение сколько-нибудь длительного периода. В случае невозможности выделения дополнительных ресурсов производится перепроектирование агротехнического процесса в направлении снижения требований к качеству технологического процесса (например, снижение требования к полноте сбора продуктов урожая и т.п.), уровню затрат труда и др.

Надо подчеркнуть, что на всех стадиях проектирования задачи решаются с помощью математических моделей, а не натуральных образцов, что позволяет вводить новые этапы проектирования при неизмеримо меньших затратах времени и средств.

Таким образом, обоснование системы машин с помощью математического моделирования не только позволяет разработать хорошо приспособленные к погодно-климатическим условиям средства механизации, но и дает возможность приступить к решению проблемы автоматизированного проектирования технологических комплексов, что должно резко сократить затраты времени и средств на разработку и повысить технический уровень создаваемого оборудования.

Разработка алгоритмно-программного комплекса (АПК) для обоснования системы машин представляет собой межотраслевую проблему значительной сложности, требующую для своей

реализации огромного объема исходную информацию. Поэтому разработка АПК ведется в несколько этапов, границы между которыми в известном смысле условны (таблица 2). Этапность решения задачи позволяет, в частности, проверить адекватность всех элементов АПК.

Таблица 2
Этапы разработки модели системы машин

Номер этапа	Содержание этапа	Цель этапа
1	Разработать графовые модели технологических процессов по заданным севооборотам; оптимизировать технологические комплексы на графах по критерию приведенных затрат и имеющимся исходным данным для конкретной зоны	Проверить графовые модели
2	Разработать модели идентификации исходных данных и влияния внешних условий на составы технологических комплексов, ввести их в графовые модели и выполнить оптимизацию	Проверить графовые модели применительно к реальным условиям
3	Разработать модели оптимизации технологических комплексов для севооборота по критерию максимизации производства продукции при ограничениях по затратам труда и средств для типичного СХП	Проверить возможности учета реальных факторов при обосновании СМ
4	Решить задачу для севооборота в целом с введением влияния организационных форм использования техники и управления	Проверить адекватность модели
5	Разработать алгоритмно-программный комплекс для обоснования СМ	Определить СМ для конкретных условий СХП, подзон и зон

Номер этапа	Содержание этапа	Цель этапа
6	Разработать САПр технологических комплексов, удовлетворяющих ограничениям конкретных условий	Определить основные параметры перспективных технологических комплексов
7	Разработать САПр машин и агрегатов	Оптимизировать параметры создаваемых средств механизации

Рассмотренная методика обоснования системы машин с привлечением системного анализа позволяет создавать технологические комплексы, адекватные конкретным условиям зон и подзон, способные решать вопросы проведения работ в широком классе условий. Будучи как по своей природе, так и по характеру исходной информации межотраслевой, проблема разработки системы машин, особенно на базе предложенного здесь алгоритмно-программного комплекса, может быть реализована только с помощью целевых комплексных программ, носящих зональный характер, с оснащением зональных институтов соответствующими вычислительными средствами и подготовленным персоналом. Внедрение в исследовательский процесс описанного здесь метода потребует и некоторого пересмотра исследовательских программ по разработке новых рабочих органов, машин и агрегатов, которые в первую очередь и должны поставлять исходную информацию для оптимизации технологических комплексов. Эти исследования должны предусматривать также поэтапную разработку средств механизации: рабочий орган — орудие — машина-агрегат с соответствующими взаимовлияниями. Наконец, перспективные средства механизации должны разрабатываться сразу с уче-

том автоматизации. Но все эти вопросы будут конкретно подтверждены после проработки системы машин на основе предложенного алгоритмно-программного комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа и методика работ по заданию 16.08 "Разработка общей и зональной системы машин на 1981-1985 гг., а также основные направления в развитии системы машин для комплексной механизации растениеводства на 1986-1990 гг." - М., 1977.
2. Пути совершенствования и повышения эффективности системы ведения сельского хозяйства в РСФСР. - М., 1981.
3. Труды Всесоюзного научно-исследовательского института механизации. - М., 1968, т.45.
4. Моделирование продуктивности агросистем. - М., 1982.
5. Липкович Э.И. Аналитические основы системы машин. - Ростов-на-Дону, 1983.

Кандидаты технических наук
В.Я.Жуков (ВНИПТИМЭСХ),
А.Г.Далальянц, инженер
А.Р.Распопов (ГСКБ ПО
"Ростсельмаш")

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОЛОТИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ЗЕРНО- УБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

В настоящее время на полях колхозов и совхозов нашей страны работают комбайны с пропускной способностью 5-6 кг/с. Для уборки высокоурожайных культур в агротехнические сроки с наименьшими потерями требуются комбайны еще более высокой производительности.

В последнее время в отечественном и мировом комбайностроении уделяется особое внимание поискам путей интенсификации рабочего процесса в зерноуборочном комбайне с целью увеличения его пропускной способности и улучшения

качества зерна. Ведется изыскание новых параметров рабочих органов комбайна, новых способов организации технологического процесса.

Одним из путей увеличения пропускной способности комбайна является повышение сепарирующего действия молотильного аппарата. Как показали исследования, решающим фактором увеличения сепарирующего действия молотильного аппарата при больших подачах является увеличение пути, проходимого хлебной массой в молотильном зазоре, что достигается путем удлинения деки. Но современные молотильные аппараты и без того имеют значительный угол обхвата, поэтому дальнейшее его увеличение может привести к недостаточной надежности технологического процесса при работе на длинностебельном и влажном хлебе и повышению повреждения зерна.

Увеличение длины деки может быть осуществлено за счет роста диаметра барабана. Проведенные во ВНИПТИМЭСХ исследования по изучению степени влияния диаметра барабана на агротехнические показатели работы молотильного аппарата показали, что увеличение диаметра барабана при постоянном угле обхвата деки повышает сепарирующее действие и значительно уменьшает невымолот зерна: увеличение диаметра барабана на 0,1 м повышает сепарацию зерна на 1,4% (в абсолютной величине) и снижает невымолот зерна на 10% (в относительных величинах).

Однако по результатам экспериментальных исследований не представляется возможным решить вопрос о выборе рациональных параметров молотильного аппарата. Поэтому были выполнены аналитические исследования процесса обмола та и сепарации в молотильном устройстве. В итоге получено общее уравнение сепарирующего действия молотильного аппарата, устанавливающее связь сепарации зерна с подачей хлебной массы и параметрами молотильного аппарата [1]:

$$z(t) = \frac{x_1}{\beta - (29,152 - 1,52q) e^{-(0,51 + 0,058q)D}} \left\{ \beta \left[1 - \exp \left[\frac{\alpha \cdot D}{V_{\text{вх}} + V_{\text{вых}}} (29,152 - 1,52q) e^{-(0,51 + 0,058q)D} \right] \right] \right\}$$

$$-(29,152 - 1,52q)e^{-(0,51+0,058q)D} \left(1 - e^{-\frac{\beta \alpha D}{V_{\text{вх}} + V_{\text{вых}}}}\right) + (X_0 - X_1) \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{\alpha \cdot D}{V_{\text{вх}} + V_{\text{вых}}}(29,152 - 1,52q)e^{-(0,51+0,058q)D}\right] \right\},$$

где X_0 - общее количество необмолоченных зерен; X_1 - количество необмолоченных зерен после первого удара бича на входе хлебной массы в молотильном пространстве; β - коэффициент, характеризующий интенсивность обмолота; α - угол обхвата барабана декой; $V_{\text{вх}}$ - скорость хлебной массы на входе молотильного пространства; $V_{\text{вых}}$ - скорость хлебной массы на выходе из молотильного пространства; q - величина подачи хлебной массы; D - диаметр барабана.

Данное уравнение трансцендентное и его анализ проводился на ЭВМ.

Результаты анализа представлены графически зависимостью сепарирующего действия молотильного аппарата от диаметра барабана и угла обхвата деки для различных подачей хлебной массы (рис. 1).

Для выбора параметров молотильного аппарата необходимо задаваться величиной подачи хлебной массы и величиной сепарирующего действия с целью полного использования пропускной способности молотильного устройства. Например, сепарирующее действие при 80% и подаче 3,6 кг/с (при ширине молотилки 0,9 м) можно получить в молотильных аппаратах с барабаном диаметром 0,5 м и угле обхвата деки 150° или диаметром барабана 0,8 м и угле обхвата деки 115°. Ясно, что при разработке комбайна пропускной способностью 4,5-5,0 кг/с (при ширине молотилки 1,2 м) по экономическим причинам нецелесообразно иметь молотильный аппарат 0,8 м. В то же время сепарирующее действие 80% при подаче 6 кг/с (при ширине молотилки 0,9 м) не могут обеспечить молотильные аппараты с барабаном диаметром менее 0,8 м и углом обхвата до 180°.

Анализ влияния диаметра барабана, при равном угле обхвата деки, на сепарирующее действие молотильного аппарата при различных секундных подачах хлебной массы

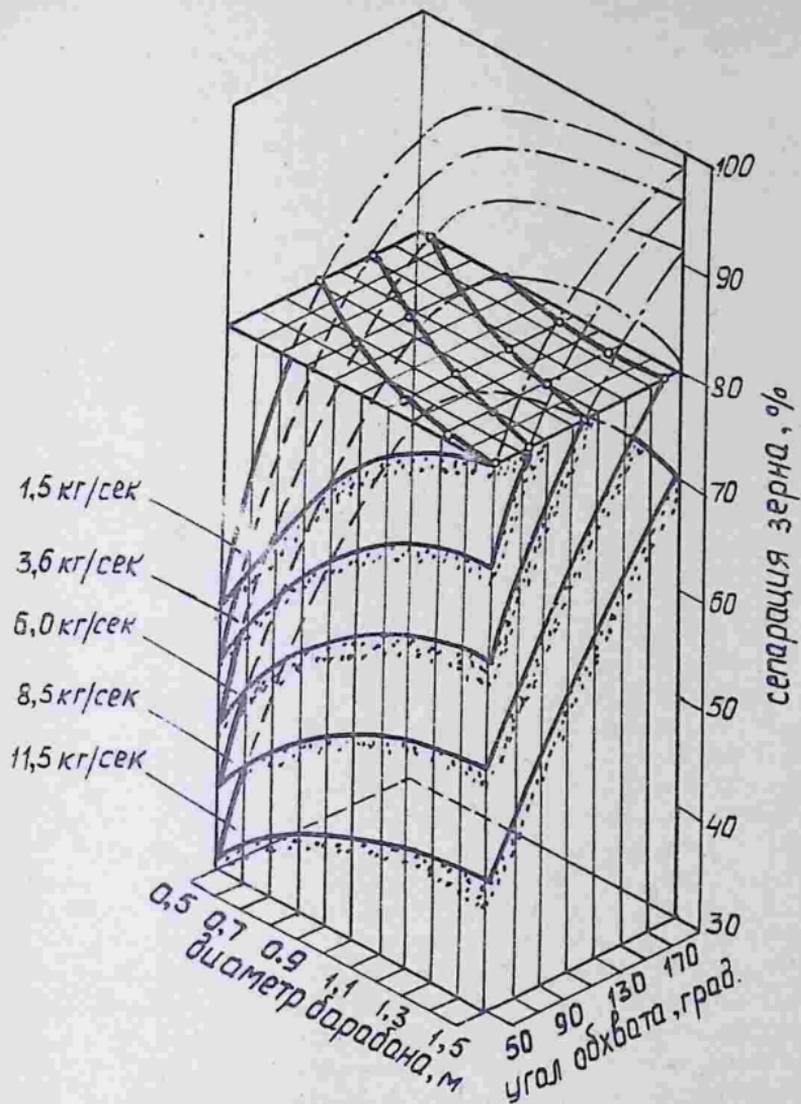


Рис. 1. Влияние диаметра барабана и угла обхвата деки на сепарирующее действие молотильного аппарата

(рис. 2) показывает, что при малом уровне подач (до 5 кг/с при ширине молотилки 0,9 м) увеличение диаметра барабана приводит к росту сепарирующего действия. Однако при дальнейшем увеличении подачи начинает выделяться оптимальный диаметр барабана, при котором сепарирующее действие молотильного аппарата максимальное. Так, при подаче 7 кг/с — это молотильный аппарат с барабаном диаметром 1,0–1,1 м и углом обхвата деки 150° , а при подаче 11 кг/с (при ширине молотилки 0,9 м) — это молотильный аппарат с барабаном 0,9–0,95 м и таким же углом обхвата деки.

Указанные обстоятельства объясняются тем, что с увеличением диаметра барабана интенсивность сепарации зерна в начале подбарабанья снижается. Это вызвано уменьшением кривизны деки и, следовательно, снижением центробежного поля, в котором происходит сепарация зерна. Увеличение подачи хлебной массы также уменьшает интенсивность выделения зерна в начале подбарабанья: оно уменьшается в первых и повышается в последних зонах по длине подбарабанья. Поэтому с ростом диаметра барабана при равном угле обхвата интенсивность увеличения сепарирующего действия снижается и при определенном уровне подач увеличение длины сепарирующей поверхности не достаточно для компенсации уменьшения интенсивности сепарации. Это необходимо учитывать при выборе рациональных параметров молотильного устройства.

Экспериментальные исследования влияния параметров молотильного устройства на его сепарирующее действие [2], позволили установить, что равное сепарирующее действие имеют молотильные аппараты с барабаном диаметром 1,265 м и углом обхвата деки 105° и барабаном диаметром 0,83 м и углом обхвата деки 136° (таблица 1).

Значит, увеличение диаметра барабана в 1,5 раза компенсируется удлинением сепарирующей поверхности молотильного аппарата меньшего диаметра только на 30%.

Выполненные исследования и проведенный анализ позволили установить, что для комбайна пропускной способностью 7–8 кг/с рациональными параметрами молотильного устройства являются: барабан диаметром 0,8–0,85 м, подбарабанье с углом обхвата 130 – 150° , ширина молотилки 1,2–1,5 м. Полученные результаты явились основой для разработки ГСКВ

Таблица 1

Сепарирующее действие (%) молотильного аппарата
в зависимости от его параметров при
различных подачах хлебной массы

Подача, кг/с	Параметры молотильного устройства		
	диаметр барабана - 0,83 м, угол об- хвата - 105°, дли- на деки - 0,76 м	диаметр барабана - 0,83 м, угол об- хвата - 136°, дли- на деки - 0,985 м	диаметр барабана - 1,265 м, угол об- хвата - 105°, дли- на деки - 1,158 м
4	95,8	98,3	98,3
5	94,3	97,7	97,7
6	92,7	96,8	96,8
7	91,2	95,6	95,8
8	89,5	94,0	95,0

По "Ростсельмаш" молотильного устройства комбайна
"Дон-1500" с проектной пропускной способностью 8 кг/с.

Отличительными особенностями конструкции комбайна
"Дон-1500" по сравнению с комбайном СК-5А являются: уве-
личение ширины молотилки до 1500 мм; увеличение диамет-
ра барабана до 800 мм с одновременным удлинением деки на
240 мм; удлинение соломотряса до 4100 мм; увеличение
сепарирующей поверхности очистки на 170 %; увеличение
емкости бункера до 6 м³, копнителя - до 14 м³; увеличе-
ние мощности двигателя до 220 л.с.

Повышение технического уровня комбайна "Дон-1500"
достигается за счет: применения раздельно-агрегатного уни-
фицированного моста ведущих колес с шинами повышенной
проходимости низкого давления; установки кабины повышен-
ной комфортности с соблюдением требований гигиены и эр-
гономики; применение электронной системы контроля за ре-
жимом работы агрегатов; повышения уровня гидрофикации
комбайна и применения электрической системы дистанцион-
ного управления; применения гидростатического привода хо-
довой части или механического однокортурного вариатора
с автоматическим натяжением ремня.

С целью отработки технологического процесса молотильно-сепарирующих устройств, выявления эффективности новой конструкции зерноуборочного комбайна "Дон-1500" ГСКБ ПО "Ростсельмаш" разработаны и изготовлены опытные образцы машин. Лабораторные исследования комбайна "Дон-1500" проводились в сравнении с комбайнами СК-5А "Нива"; Е-516 "Фортшритт", ГДР; "Доминатор-106" фирмы Клаас, ФРГ; европейской модели фирмы Дир энд Компани; "Джон Дир-985" США. Техническая характеристика комбайна "Дон-1500" и комбайнов зарубежных фирм представлена в табл. 2, а результаты лабораторных исследований - в табл. 3.

Оптимальное сочетание параметров молотильно-сепарирующего устройства комбайна "Дон-1500" позволило увеличить его пропускную способность на 80% по сравнению с комбайном СК-5А "Нива" и на 30-40% - в сравнении с зарубежными комбайнами "Доминатор-106" и "Джон Дир-985".

При обмолосе хлебной массы с отношением зерна к соломке от 1:1,5 до 1:2,0 пропускная способность комбайна "Дон-1500" на 4,5% ниже, чем у комбайна Е-516. Однако, учитывая, что ширина молотилки комбайна Е-516 на 125 мм больше, а соломотряс на 700 мм длиннее, чем у комбайна "Дон-1500", пропускная способность молотилок комбайнов Е-516 и "Дон-1500" по удельным показателям находится на одном уровне. Поэтому при дальнейших лабораторных исследованиях комбайна "Дон-1500" эталонной машиной принят комбайн Е-516. Результаты лабораторных исследований комбайна "Дон-1500" послужили основанием для совершенствования элементов молотильно-сепарирующего устройства и выбора рациональных режимов его рабочих органов.

В уборочный сезон 1982 года были проведены государственные испытания комбайнов "Дон-1500" в различных МИС страны. Результаты их агротехнической оценки представлены в табл. 4, а эксплуатационно-технологической - в табл. 5.

Комбайны "Дон-1500" на уборке пшеницы Безостая 1, Полесская 70, Ильичевка, Ростовчанка, Саратовская 29, Шадринская при испытаниях в КубНИИТиМ, ВНИИМОЖ, Сев.-Кав. МИС, ЦМИС, Сиб.МИС, Целин.МИС по сравнению

Краткая техническая характеристика
комбайна "Дон-1500" и зарубежных зерноуборочных
комбайнов

Страна, фирма	Модель	Ширина молотилки, мм	Диаметр барабана, мм	Площадь очистки, м ²	Площадь сепарации, м ²	Емкость бункера, м ³	Мощность двигателя, л.с.	Масса комбайна, кг	
СССР	Дон-1500	1500	800	4,63	7,43	6,0	160...220	12800 (с жаткой В=6 м)	
США	Дир энд К ^о ДД3820	1660	559	3,8	6,36	7,8	200	11415 (с жаткой 6,6)	
Дир энд К ^о	ДД1885	1560	610	5,3	5,55	4,2	195	8700	
ФРГ	Клаас	Д-106	1580	450	5,1	7,0	6,5	205	9500
ГДР	Фортшритт	Е-516	1625	800	4,0	7,86	4,5	228	12470 (с жаткой В=6,7 м)

Таблица 3

Результаты лабораторных исследований комбайна
"Дон-1500" в сравнении с комбайном СК-5А и комбайнами
зарубежных фирм

Наименование показателей (средние зна- чения)	"Дон-1500"	Е-516	СК-5А	Клас натор 106"	"Джон Дир- 985"
--	------------	-------	-------	-----------------------	--------------------

1. Подача при-
веденная
(кг/с)

5,7	6,7	6,1	7,0	3,49	5,37	7,74	3,36	5,59	7,89	3,04	5,46	5,7
-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

2. Общие потери,
%

1,6	1,5	1,0	1,5	2,32	4,37	10,81	0,48	2,41	5,24	0,34	2,27	3,2
-----	-----	-----	-----	------	------	-------	------	------	------	------	------	-----

3. Чистота зерна,
%

97,39	97,39	98,48	98,48	90,5	92,14	-	98,9	92,1	-	97,1	98,0	97,66
-------	-------	-------	-------	------	-------	---	------	------	---	------	------	-------

4. Дробление, %

5,09	5,09	2,91	2,91	8,37	7,39	-	4,21	6,32	-	3,32	4,76	5,42
------	------	------	------	------	------	---	------	------	---	------	------	------

Пшеница Северо-Донская

Отношение зерна к соломе от 1:1,5 до 1:2,0

Показатели	Сев.-Кав. МИС		Ц М И С	Сиб. МИС	Целин. МИС
	"Дон-1500"	"Дон-СК-5А 1500"			
Способ уборки	Прямое комбайнирование		Прямое комбайнирование валков		Подбор валков
Культура, сорт	Озимая пшеница Ростовчанка		Озимая рожь Озимая Харьковская пшеница 60		Яровая пшеница Саранская 29 Шадринская тольская 29
Урожайность зерна, ц/га	58,3		16,0-31,0		42,0 18,5
Влажность зерна	19,3-15,3		18,0-25,0		25,0 18,7
Соломы	32,6-38,2		23,0-35,0		30,0 17,3
Пропускная способность при 1,5% потерь зерна, кг/с	9,6 5,3		7,0 3,9		7,61 3,78 8,36 5,27
Дробление зерна, %	1,5 3,3		0,5 0,8		0,84 0,61 0,92 1,2
Чистота бункерного зерна, %	96,2 96,1		96,6 97,3		96,4 97,1 95,0 97,0
Повышение пропускной способности в сравнении с СК-5А, %	81,0		80,0		102,0 - 59,0 -

Таблица 5

Результаты эксплуатационной технологической оценки комбайна "Дон-1500" в сравнении с комбайном СК-5А "Нива" на государственных МПС страны в 1982 году

Эксплуатационно-технологические показатели	КубНШТИМ				В Н И И М О Ж			
	"Дон-1500"	СК-5А	Дон-1500"	СК-5А	"Дон-1500"	СК-5А	"Дон-1500"	СК-5А
Способ уборки	Прямое комбайнирование		Подбор валков		Прямое комбайнирование		Подбор валков	
Культура, сорт	Озимая пшеница Безостая 1				Озимая пшеница Полесская 70			
Урожайность зерна, ц/га	47,1	50,8	41,9	42,4	41,5	41,5	41,5	41,5
Отношение зерна к соломе	1 : 1,2		1 : 1,15		1 : 1,84		1 : 1,84	
Производительность за 1 ч, т:	10,2	6,7	9,3	6,0	6,64	4,37	7,2	4,18
основного времени эксплуатационного времени	4,19	3,64	4,0	3,3	3,8	2,5	3,24	2,36
Потери зерна, %	1,96	2,04	1,65	1,96	1,15	3,45	2,8	3,0
Повышение производительности комбайна (%) "Дон-1500" в сравнении с СК-5А за 1 ч:	52,0	-	55,0	-	52	-	72	-
основного времени эксплуатационного времени	15,0	-	21,0	-	52	-	32	-

Продолжение таблицы 5

Эксплуатационно-технологические показатели	Сев.-Кав., МПС		Ц Т II С	
	"Дон-1500"	СК-5А "Дон-1500"	"Дон-1500"	СК-5А "Дон-1500"
Способ уборки	Прямое комбайнирование	Подбор валков	Подбор валков	Прямое комбайнирование
Культура, сорт	Озимая пшеница Ростовчанка	Яровой ячмень	Озимая рожь Харьковская 60	Озимая пшеница Миrowsкая 808
Урожайность зерна, ц/га	58,3	15,6-22,2	20,0-27,6	24,5
Отношение зерна к соломе	1 : 1,51	1 : 0,6		26,6
Производительность за 1 ч, т:				
основного времени эксплуатации	12,46	6,0	6,22	1,96
Потери зерна, %	4,55	2,02	2,36	0,83
Повышение производительности комбайна (%) "Дон-1500" в сравнении с СК-5А за 1 ч:	0,96	0,96	-	-
основного времени эксплуатации	108,0	-	217,0	-
основного времени эксплуатации	125,0	-	185,0	-
основного времени эксплуатации			114,0	59,0
основного времени эксплуатации			1,44	1,08
основного времени эксплуатации			2,19	3,2
основного времени эксплуатации			3,01	1,89
основного времени эксплуатации			1,74	1,81
основного времени эксплуатации			2,7	2,0
основного времени эксплуатации			2,2	2,7
основного времени эксплуатации			2,2	2,7
основного времени эксплуатации			3,96	2,3
основного времени эксплуатации			1,81	1,81
основного времени эксплуатации			2,0	2,1
основного времени эксплуатации			72,0	-
основного времени эксплуатации			34,0	-
основного времени эксплуатации			34,0	-
основного времени эксплуатации			33,0	-

Эксплуатационно-технологические показатели	Целин, МИС		Ш Ч М И С	
	"Дон-1500"	СК-5А		"Дон-1500"
Способ уборки	Годбор валок с 20 м	валок с 12 м	Прямое комбайнирование	
Культура, сорт	Пшеница Алмаз	Пшеница Саратовская 29	Озимая пшеница	
Урожайность зерна, ц/га	19,5	18,5		
Отношение зерна к соломе	1:1	1:1		
Производительность за 1 ч, т:				
основного времени	12,77	5,82	12,8	10,1
эксплуатационного времени	7,66	3,44	8,52	6,56
Потери зерна, %	1,97	0,73	1,05	0,96
Повышение производительности комбайна (%) Дон-1500 ^{II} в сравнении с СК-5А за 1 ч:				
основного времени	120,0	-	27,0	-
эксплуатационного времени	122,0	-	30,0	-

с комбайном СК-5А при уровне потерь 1,5% обеспечили прирост пропускной способности в среднем на 78% (от 54 до 102%).

На уборке озимой ржи Харьковская 60 в ЦМИС прирост составил 80%. На уборке ячменя Завет 3 в КубНИИТ и М прирост пропускной способности был ниже и составил 23%. В КубНИИТ и М было выявлено преимущество комбайна "Дон-1500" в сравнении с зарубежными комбайнами "Джон Дир-985", "Доминатор-106", выполненными по классической схеме.

Пропускная способность комбайна "Дон-1500" составила 9,2 кг/с, а комбайнов "Джон Дир-985" и "Доминатор-106" - соответственно 7,9 и 7,6 кг/с. Несколько превышает пропускную способность комбайна "Дон-1500" комбайн фирмы "Интернешнл Харвестер", имеющий роторный молотильный аппарат.

Практически на всех МИС и на всех культурах дробление зерна комбайном "Дон-1500" было значительно ниже, чем у комбайна СК-5А, и соответствовало агротехническим требованиям.

При эксплуатационно-технологической оценке (табл. 5) комбайн "Дон-1500" превысил производительность комбайна СК-5А "Нива" за 1 ч основного времени в среднем на 120% (от 27 до 216%) и за 1 ч эксплуатационного времени - на 100% (от 15 до 185%). Максимальная производительность за 1 ч основного времени - 12 т была получена в условиях Северо-Кавказской и Целинной МИС.

В процессе испытаний был выявлен ряд конструктивных и производственных недостатков, отразившихся на показателях надежности машин и качестве выполнения технологического процесса, что привело к существенному снижению производительности комбайна "Дон-1500" за 1 ч эксплуатационного времени. Результаты испытаний послужили основанием для разработки мероприятий по совершенствованию конструкции высокопроизводительного комбайна "Дон-1500" и их реализации в машинах образца 1983 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков В.Я. О влиянии диаметра барабана на сепарирующее действие молотильного аппарата. - В сб.: Механиза-

дия и электрификация сельскохозяйственного производства, вып. 17. Ростов-на-Дону, 1974.

2. Кленин Н.И., Ломакин С.Г., Лачуга Ю.Ф. Влияние параметров молотильного устройства на технологические и энергетические показатели его работы. - Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1972, № 2.

Кандидат технических наук
В.Н.Курочкин,
математик Л.Д.Пасечная

О МОДЕЛИРОВАНИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Важное место в иерархии моделей систем машин занимают модели функционирования организационно-технологических комплексов (ОТК). Модели эти являются довольно сложными, а режимы их функционирования - стохастическими [1].

С одной стороны, применение этих моделей позволяет определить такие параметры машин, как мощность двигателя, емкость бункера и др., влияющие на показатели функционирования всего ОТК. С другой стороны, модель используется для синтеза самого ОТК и проверки синтезированных с помощью графовых моделей агрегатов с учетом внешних условий. В частности, модель может быть использована для установления взаимосвязей между показателями производственных элементов и подсистемы технического обслуживания ОТК. Учитывая же, что имеется несколько типов различных ОТК, построение их конкретных моделей было бы делом трудоемким, нами поставлена задача построения адекватной универсальной модели ОТК.

Методикой данной работы было предусмотрено использование методов имитационного моделирования. При этом было решено процесс эксплуатации машин представить как потребление ресурсов. Ресурсная модель рассматривает участвующие в процессе эксплуатации машины ОТК как основные (обрабатываемые, изменяющие предмет труда) и вспомогательные (транспортные). Потребляемые в процессе труда ресурсы

классифицировали как технологические, технические и людские (см. таблицу).

Классификация отдельных процессов растениеводства

Процесс	Вид		Род		Прерывность		Знак	
	I	II	I	II	дискретный	непрерывный	положительный	отрицательный
Культивация	1	0	0	1	0	0	0	0
	0	1	1	0	0	0	0	0
	0	1	0	1	0	0	0	0
Весенний сев	1	0	1	0	1	0	1	0
	1	0	0	1	0	0	0	0
	0	1	0	1	0	0	0	0
	0	1	1	0	0	0	0	0
Уборка зерновых культур	1	0	1	0	1	0	0	1
	1	0	0	1	0	0	0	0
	0	1	1	0	0	0	0	0
	0	1	0	1	0	0	0	0
Уборка силосных культур	1	0	1	0	0	1	1	0
	1	0	0	1	0	0	0	0
	0	1	1	0	0	0	0	0
	0	1	0	1	0	0	0	0

К технологическим отнесены ресурсы, расходуемые в соответствии с технологией (на севе, например, это периоды от текущего момента до времени расхода зерна из семенного ящика, период времени до прочистки семяпровода и др.).

К техническим отнесены ресурсы эксплуатируемых машин, определяемые конструкцией: продолжительность периода времени от текущего момента до выработки периодичности ремонта и др.

К людским отнесены ресурсы, связанные с работниками, участвующими в процессе: трактористами, шоферами. При этом основывались на том, что необходимо обеспечить питание людей, выделить для них спецодежду, учить на курсах переподготовки и повышения квалификации и др.

Род ресурсов определяли по каждому виду. К первому

роду первого вида были отнесены ресурсы планируемого технологического обслуживания (периодическая разгрузка или загрузка бункеров, ящиков сельскохозяйственных машин, продолжительность периода времени совместной работы машинно-тракторного агрегата и транспортного средства до заполнения кузова, планируемая перестройка рабочего режима машины и др.).

В свою очередь, ресурсы первого рода первого вида могут быть положительными (для посевных агрегатов) и отрицательными (для уборочных агрегатов). В первом случае емкости при работе разгружаются, во втором — заполняются. Аналогично можно классифицировать и некоторые другие ресурсы.

Обслуживание первого рода первого вида может требоваться на всем протяжении работы машинно-тракторного агрегата (например, совместная работа силосоуборочного агрегата и транспортного средства). Такое обслуживание назвали непрерывным.

Ко второму роду по первому виду относятся статистические ресурсы непредвиденно возникающих потребностей в технологическом обслуживании (очистка рабочих органов и т.п.).

Ресурсы второго вида (технические) аналогично классифицировали на ресурсы первого рода — планируемые (например, ресурс ТО-1, ТО-2, ТО-3) и случайные (см. таблицу).

Большинство выше указанных ресурсов носят вероятностный характер и могут быть заданы с необходимой достоверностью статистически-точечными оценками описывающих их законов распределений.

Разработка модели свелась, таким образом, к составлению алгоритма, имитирующего использование перечисленных ресурсов во время сельскохозяйственных процессов.

Как известно, эти процессы начинаются ранней весной. Подготовленные к работе агрегаты выходят в поле для закрытия влаги. Для их работы необходимы ГСМ, техническое обслуживание и устранение отказов, очистка борон от растительных остатков, питание, отдых и пересмены механизаторов, переезды с поля на поле.

В последующие периоды (весенне-летний, уборочный, послеуборочный, летне-осенний, осенний) количество необходимых

ресурсов будет иным. Наибольшее количество ресурсов потребляется во время уборки. Поэтому универсальная, приемлемая для моделирования всех перечисленных периодов, ресурсная имитационная модель разработана на основе описания уборочного периода. Вербальное его описание не приводится, так как происходящие в этот период процессы общеизвестны.

Возможность использования модели как универсальной предусматривалась путем приравнивания нулю не используемых в данном случае ресурсов и конкретизации оставшихся.

В качестве целевой функции использован минимум приведенных затрат и ущерба от простоев техники, а также потерь урожая в расчете на единицу произведенной продукции.

В общем случае приведенные затраты складываются из затрат на ГСМ, запасные части, ремонт, ТО, заработную плату, амортизацию машин и др., холостой работы машин, а также ущерба от непроизводительных простоев машин и потерь урожая.

В свою очередь, приведенные затраты зависят от сезонной загрузки машин. Для получения сопоставимых результатов последняя была принята по нормативам для зоны Северного Кавказа. В математизированном виде приведенные затраты J_i равны:

$$J_i = [T_1 J_{ом} + (T_1 + T_8) J_{омх} + (T_3 + T_5 + T_7) J_{омз} + (T_4 + T_6 + T_9) J_{омнз} + T_{11} J_{гз} + T_{12} J_{тр} + T_{см} J_{то} + (T_4 + T_6) J_{зч} + T_{15} J_{пто} + J_1 J_{вм} + T_3 J_{вмнз} + T_3 J_{вмсп}] W^{-1},$$

где J_i - приведенные затраты, руб/ч; $J_{ом}$ - то же, но за час чистой работы основной машины; $J_{омх}$ - то же, но за час холостой работы основной машины; $J_{омз}$ - то же, но за час запланированных простоев основной машины; $J_{омнз}$ - то же, но за час незапланированных простоев основной машины; $J_{гз}$ - затраты доставки запасных частей, руб/ч; $J_{тр}$ - затраты транспортирования неисправной машины, руб/ч; $J_{зч}$ - затраты на запасные части, руб/ч; $J_{то}$ - затраты на техническое обслуживание в по-

левых условиях, руб/ч; $J_{пто}$ - затраты на техническое обслуживание на стационаре, руб/ч; $J_{вм}$ - работы вспомогательной машины, руб/ч; $J_{вмнз}$ - затраты на незапланированные простои вспомогательной машины, руб/ч; $J_{вмсп}$ - затраты совместной работы основной и вспомогательной машины, руб/ч; T_1 - чистое время работы; T_2 - время на повороты; T_3 - время на технологическое обслуживание; T_4 и T_6 - время на устранение технологических и технических отказов; T_5 - время на техническое обслуживание и время на ЕТО машин, агрегируемых с основной машиной; T_7 - время на отдых обслуживающего персонала во время смены; T_8 - время холостых переездов; T_9 - простои по причинам, не зависящим от основной машины; T_{11} - простои из-за доставки запчастей; T_{12} - простои из-за транспортных средств; T_{13} - простои из-за ремонта и ТО на стационаре; W - производительность системы, т/ч или га/ч.

Приведенные затраты по отдельным машинам определяли в соответствии с общепринятой методикой.

Алгоритм моделирования включает в себя операторы генерации элементов рабочего времени основной и вспомогательной машин, постов обслуживания, ресурсов всех видов и родов, а также операторы, выполняющие логические, служебные, арифметические операции.

Возможность использования модели для исследований большинства процессов растениеводства была реализована введением служебных операторов, видоизменяющих работу модели в зависимости от исследуемого периода сельскохозяйственных работ. Например, при моделировании сева зерновых колосовых культур комплексам машин задаются технологические ресурсы первого и второго родов, технические ресурсы первого и второго родов. При этом ресурсы первого рода задаются дискретными и положительными. При вспашке ресурс первого вида первого рода отсутствует. Таким же образом задаются все основные процессы растениеводства.

Таким образом, множество сельскохозяйственных процессов растениеводства записывается в двоичном исчислении (например, культивация: 10010000; 01100000; 01010000 и т.д.).

Двоичная запись процесса задается в информационном обеспечении модели. Помимо этого, информационное обеспечение включает семь массивов, описывающих процесс использования машин, ресурсы, продолжительность моделирования и количество реализаций, продолжительность переездов, загрузок, передачи сообщений, а также характеризующих общую организацию процесса и стоимостные параметры.

На печать выводятся элементы сменного времени, получаемые в ходе моделирования, а также приведенные затраты на единицу продукции.

На первом этапе исследований проверили модель на устойчивость по реализациям. Известными статистическими методами установили, что с доверительной вероятностью 0,95 при ошибке 5% достаточно моделирования 200 ч реального процесса при 7 реализациях. Далее проверили алгоритм на адекватность, для чего моделировали реальный процесс уборки зерновых колосовых культур. Сравнивали полученные при моделировании элементы сменного времени и данные фотохронометражных наблюдений. В результате установили соответствие модели оригиналу с доверительной вероятностью 0,85 при погрешности не более 10%. Затем в качестве проверки моделировали сев и уборку силосных культур и также получили положительные результаты.

Свойства адекватности и устойчивости модели по реализациям позволяют перейти к углубленным исследованиям процесса технической эксплуатации машин в соответствии с задачами моделирования. Далее приводится пример использования модели для решения отдельных вопросов эксплуатации машин.

Рассмотрим изменение показателей эффективности использования МТП подразделения в зависимости от продолжительности доставки запасных частей. При увеличении среднего времени доставки запасных частей от 2,7 (оптимальное для средних условий Ростовской области) до 5 часов чистое время работы основных машин сокращается с 7,8 до 7,5 ч, время на устранение отказов соответственно увеличивается на 23%, в том числе простои из-за доставки запасных частей — на 61%. Возрастают ущерб от простоев и приведенные затраты на 1 га убранной площади на 0,57 руб/ч. Из-

меняются и статистические показатели распределения простоев основных машин в сторону увеличения. Аналогично, изменяя в информационном обеспечении модели содержание элементов процесса, можно выбрать наиболее оптимальное сочетание их производительности.

В итоге выполненной работы был сделан вывод о возможности использования принципа моделирования ресурсов при разработке алгоритма имитации сельскохозяйственных процессов и создания универсальной модели эксплуатации МТП по периодам полевых работ.

Использованный принцип позволяет в 1,2...1,5 раза сократить трудоемкость разработки алгоритма эксплуатации машин в сельском хозяйстве. Отпадает необходимость в разработке имитационного алгоритма для каждого из семи характерных периодов полевых работ в силу универсальности ресурсной модели.

Приведенный пример подтверждает возможность использования модели для синтеза машин и оптимизации организационно-технологических комплексов. В частности, подтверждена возможность изучения влияния уровня технического обслуживания на стоимость производимой продукции в ходе обоснования системы эксплуатации техники. Разработанная ресурсная модель с доверительной вероятностью 0,95 при погрешности не более 10% описывает указанный процесс, устойчива по реализации и позволяет исследовать процесс эксплуатации машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Липкович Э.И. Аналитические основы системы машин. - Ростов-на-Дону: Ростовское кн. изд-во, 1983 г. - 112 с.
2. Курочкин В.Н. Применение методов теории сложных систем к обоснованию рациональной эксплуатации машин. - Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1980, № 1, с. 50-52.

Кандидат технических наук
В.Н.Курочкин,
математик Л.М.Сергеева,
экономист Ю.А.Тимофеев

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНЫМ И ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ В АДМИНИСТРАТИВНОМ РАЙОНЕ

На современном этапе развития сельского хозяйства планирование и управление уборочно-транспортным и заготовительным процессом (УТЗП) в хозяйстве или административном районе обычно ведется на основе элементарного расчета одной-двух возможных ситуаций. Полученные таким образом решения или не являются оптимальными, или вообще не могут быть реализованы из-за несоответствия фактическому состоянию системы. Как следствие, сроки и затраты на выполнение уборочных работ превышают нормативные, хотя и имеются определенные предпосылки для их соблюдения.

Основные причины сложившегося положения в том, что не обеспечено согласование операций УТЗП, не соответствуют потребностям межоперационные заделы, не отрабатываются режимы работы как подсистем, так и отдельных машин.

Таким образом, адекватное решение задач интенсификации УТЗП может быть получено в том случае, когда в ходе планирования и оперативного управления будет выполняться анализ альтернативных ситуаций распределения трудовых и материальных ресурсов, организации производства и труда с учетом влияния внешних и внутренних взаимосвязей процесса. Однако указанный вариант решения задачи интенсификации УТЗП связан со значительным объемом вычислительных работ. Их автоматизация требует разработки математической модели районного УТЗП. Эта задача решается в данной работе.

Алгоритм модели был основан на расчете суточного объема выполнения работ, последовательность которых задается технологией УТЗП. В первые дни ведется скашивание хлеба стоя на свал как комбайнами, так и навесными жатками; затем валки подбирают и убирают хлеба напрямую.

Производительность агрегатов ($W_{ж}$ и $W_{к}$) на этих операциях, как известно, зависит от ширины захвата, скорости, хлебостоя, полеглости и других факторов:

$$W_{ж} = Ш \{ (1+0,33П) [1+0,065(V_x - 20)] \}^{-1*} \quad (1)$$

$$W_{к} \begin{cases} (1+0,33П) \{ [1+0,55(И - 15)] [1+1,2(C - 0,8)]^{\alpha} \\ \times [1+0,004(\beta - 10)^2] [1+0,025(S-5)^{0,5}] \}^{-1}, \alpha=1 \\ K \{ [1+0,55(И - 15)] [1+1,2(C - 0,8)] [1+0,025 \times \\ \times (S-5)^{-0,5}] \}^{-1}, \alpha=0, \end{cases} \quad (2)$$

где $П$ - полеглость; C - соломистость; V_x - скорость перемещения; $Ш$ - ширина захвата; β - влажность зерна; S - засоренность материала; α - вид уборки (1 - прямое комбайнирование; 0 - подбор валков); $W_{ж}$ - производительность жатки; $W_{к}$ - производительность комбайна.

По соотношениям, полученным Р.Э.Штейном и Н.И.Боровым, ведется расчет производительности зерноочистительных и сушильных комплексов и агрегатов по уборке незерновой части урожая:

$$\begin{aligned} W_{зп} &= Q_{но} \eta (\beta_o K_2)^{-1} K_k K_2; \\ W_b &= 20 (И_c)^{-1}; \\ W_{пв} &= 3,6q V_p, \end{aligned} \quad (3)$$

где $W_{зп}$ - производительность зерноочистительно-сушильного комплекса; W_b - производительность толкающих волюш; W_c - производительность стоговозов; $W_{пв}$ - производительность подборщика валков; β_o - неравномерность поступления зерна; K_k - коэффициент вида культуры; K_2 - коэффициент засоренности зерна; $И_c$ - урожайность; q - пропускная способность; η - коэффициент использования рабочего времени.

Производительность транспортных отрядов определяется по формуле

$$W_a = T_n V_r \gamma_q \gamma_c (l_{гр} t_{пр} \beta V_r)^{-1} A_{cc} q \alpha,$$

* По данным Н.И.Шабанова.

$$\alpha = \prod_{k=1}^m \frac{\sigma^2}{t_k^2} \sum_{i=1}^m [p_r(0) - p_r(2 \frac{t_{cp} T}{\sigma^2})] [1 - \frac{\sigma}{t_{cp}} \sum_{i=1}^m p_r(2 \frac{t_{cp} T}{\sigma^2} + \frac{t_r - t_g}{\sigma^2}) p_n p_n(\frac{t_{cp} T}{\sigma}) + \frac{t_g}{t_{cp}}]^{-1}, \quad (4)$$

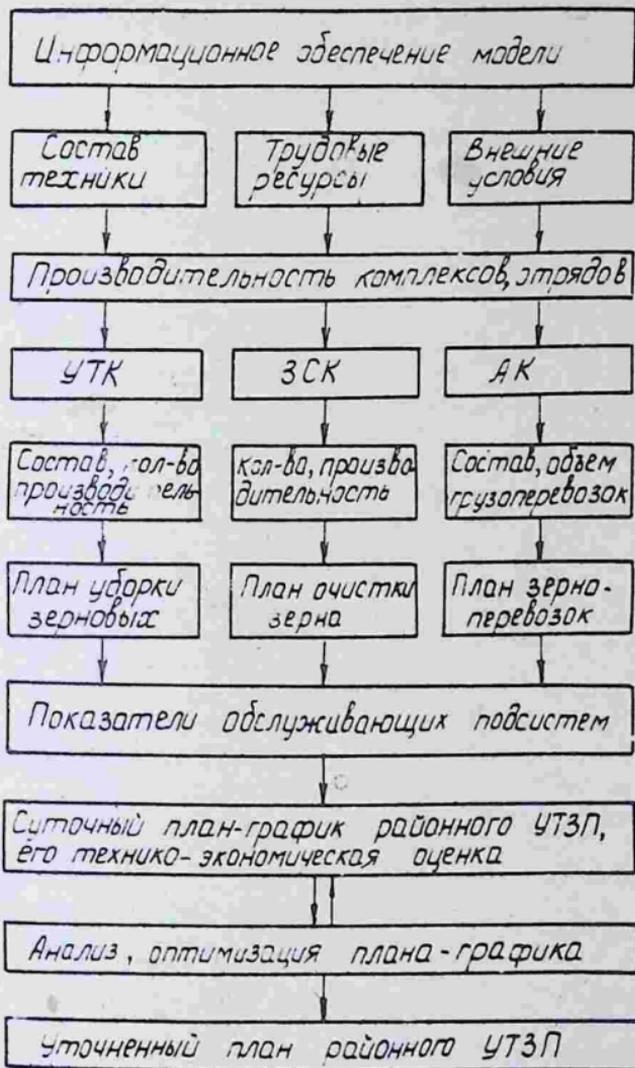
где W_a - производительность транспортного отряда; V_n - время работы в наряде; V_T - техническая скорость; χ_d, χ_c - динамический и статистический коэффициенты использования грузоподъемности; T - периодичность ТО; l_{er} - плечо ездки с грузом; t_{np} - продолжительность ездки с грузом; t_g - средняя продолжительность ТР, t_{cp} - средняя наработка на отказ; t_T - средняя продолжительность ТО; A_{cc} - списочный состав; α - коэффициент технического использования; m - количество машин в автоколонне; σ - дисперсия наработки на отказ.

Структура разработанной модели управления районным УТЗП (см. рисунок) включает исходную информацию, прогноз на уборку, расчет контрольных показателей работы машин, формирование всех видов комплексов, определение потребности в материально-техническом обеспечении, расчет технико-экономических показателей процесса. Выходной материал модели - уточненный план-график УТЗП в сельхозпредприятиях и в целом по району.

Реализуется модель следующим образом. Вначале вводятся справочные данные о хозяйстве и районе, сведения о наличии техники, биологические характеристики урожая, текущие сведения о ходе уборки.

Выполняется расчет производительности техники как функции пропускной способности, погодных условий, биологических характеристик зерна, хлбной массы и др. по формулам (1-4), вычисляется количество дней массового скашивания на свал, продолжительность обмола. Затем рассчитываются операции очистки зерна ЗСК, сбора измельченной и неизмельченной соломы, лущение стерни.

Одновременно накапливаются массивы суточных планов-



Структура модели управления УТЗП.

графиков УТЗП и экономических показателей. По окончании расчетов и оптимизации результаты готовы к использованию.

Использование разработанной в соответствии с моделью программы возможно в двух вариантах:

для прогнозирования за семь-девять дней до начала уборочных работ будущих операций на основании предварительных данных о биологическом состоянии урожая (производственное планирование);

для корректирования суточных планов в связи со сложившейся ситуацией в ходе оперативного управления УТЗП.

В первом случае устанавливаются пропорции между производством продукции на различных операциях, обеспечивающие соблюдение агротехнических сроков и технологических параметров обработки зерна и незерновой части урожая, оптимальные уровни заделов и запасов. При этом исходят из ресурсов различных уровней системы.

Оперативное управление решает задачи тактики уборочных работ. Для этого собирают исходную информацию об УТЗП, осуществляют централизованный контроль за выполнением суточных планов-графиков и состоянием техники, полей, материально-техническим обеспечением, координируется работа всех комплексов на уровне предприятий и района, рассматриваются ситуации распределения работ между элементами, ввода резервов и пр.

Производственная проверка и внедрение предложений по управлению УТЗП с применением разработанных моделей была выполнена в Егорлыкском районе Ростовской области. За неделю до начала уборки был рассчитан на ЭВМ план-график УТЗП по хозяйствам и в целом для района. Непосредственно перед началом уборки план был скорректирован в соответствии со сложившимися производственными условиями. План-график составлялся с анализом хода УТЗП, на основании чего и вырабатывались предложения по проведении мероприятий, направленных на более эффективное проведение уборки зерновых колосовых.

Принятие решений и их реализация выполнялись в сфере производства существующими органами управления (штаб уборки, РАПО. и др.).

В результате производственной проверки установлена эффективность применения вычислительной техники для планирования и управления на основе разработанной математической модели УТЗП. Годовой экономический эффект составит 169,2 тыс. руб при объеме внедрения, равном 50 тыс.га.

Аспирант А.Ф.Жолобов,
математик Н.Н.Приходько

АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ФОРМИРОВАНИЙ ПО УБОРКЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА БАЗЕ МЕЖХОЗЯЙСТВЕННОЙ КООПЕРАЦИИ

Возникновение в последние годы различных межхозяйственных механизированных формирований (МХМФ), создаваемых на базе кооперации хозяйств административного района, обусловлено необходимостью дальнейшего повышения эффективности уборочного процесса и сокращения продолжительности уборочного периода в хозяйствах, так как она все еще в 2...3 раза превышает соответствующие агротехнические нормативы.

Основными факторами, определяющими возможность создания МХМФ, являются разные сроки начала уборки в хозяйствах одного района и существенное различие в них показателя сезонной нагрузки на зерноуборочный комбайн. Первый из указанных факторов определяет очередность вступления хозяйств в уборку, второй – продолжительность уборочного процесса в них (при прочих равных условиях). Вместе взятые, эти факторы определяют возможность широкого маневрирования зерноуборочной техникой и, следовательно, целесообразность создания различных механизированных формирований на базе кооперации хозяйств административного района.

Анализ литературных источников и проведенные обследования хозяйств Ростовской области показывают, что разница в сроках начала уборки между хозяйствами одного административного района составляет 5-7 дней, а сезонная нагрузка на комбайн в хозяйствах колеблется в пределах от 80 до 290 гектаров на комбайн. Это и позволяет при-

менять на уборке зерновых культур временные механизированные формирования, скомплектованные за счет технических средств и рабочей силы разных сельхозпредприятий.

Наиболее распространенными формами МХМФ являются уборочно-транспортные (жатвенные) отряды и колонны, получившие применение в частности, в Миллеровском и Пролетарском районах области.

Однако, несмотря на использование в практике отмеченных формирований, вопросы их создания и функционирования изучены еще недостаточно. В частности, отсутствуют критерии для определения их размеров и форм. Не выяснены границы экономической целесообразности их функционирования, обеспечивающие экономическую заинтересованность хозяйств в их применении. Не разработаны принципы рационального управления этими формированиями. Все это сдерживает их широкое распространение.

В связи с указанными обстоятельствами в данной работе сделана попытка обосновать алгоритм создания рассматриваемых формирований на базе кооперации ресурсов отдельных хозяйств района.

Построение алгоритма начинается с определения во всех хозяйствах района коэффициента насыщенности комбайнового парка K , который выражается формулой $K = n/n'$, где $n = n_0 \cdot \xi$ — количество функционирующих комбайнов в хозяйстве; n_0 — списочное количество комбайнов в хозяйстве; ξ — коэффициент использования комбайнов данного хозяйства; n' — количество функционирующих комбайнов, необходимое хозяйству для того, чтобы выполнять уборочные работы в агротехнические сроки. Определяется этот показатель, исходя из уборочной площади хозяйства S_0 и нормативной сезонной нагрузки на комбайн $q_{нн}$ по формуле: $n' = S_0 / q_{нн}$.

Коэффициент насыщенности комбайнового парка K определяет количество дополнительных комбайнов для каждого хозяйства с учетом обеспечения нормального их функционирования. Если $K < 1$, то это говорит о том, что количество функционирующих комбайнов в хозяйстве n превышает их потребное число. Таким образом, коэффициент K дает возможность отбросить из рассмотрения те хозяйства, которым

помощь в уборке урожая не требуется ($K < 1$). Оставшиеся хозяйства необходимо разделить на два эшелона вступления их в уборку. Для этого требуется проранжировать хозяйства по возможным срокам начала уборки. Календарные сроки возможного вступления хозяйств в уборку можно рассматривать как однородные события. Хозяйства, начинающие уборку спустя три и более дня после начала ее в районе, относятся ко II эшелону вступления в уборку. Все остальные относятся к I эшелону.

Разделение хозяйств на эшелоны дает возможность определить дополнительный резерв мобилизации зерноуборочной техники для оказания помощи хозяйствам I эшелона. Эта помощь выражается в количестве комбайно-дней, которое смогут отработать в хозяйствах I эшелона комбайны II эшелона.

Для дальнейшего построения алгоритма необходимо выяснить для каждого из рассматриваемых хозяйств количество комбайнов, которое ему недостает для выполнения уборочных работ в агросрок. Поскольку, как правило, почти во всех хозяйствах комбайнов недостаточно для того, чтобы обеспечить уборку в агросрок, то общее количество функционирующих комбайнов n' можно выразить формулой: $n' = n_0 \xi + M \gamma$, где M — количество комбайнов, которое недостает хозяйству для того, чтобы выполнять уборочные работы в агросрок, т.е. недостающее количество комбайнов; γ — коэффициент использования этих комбайнов.

Из этой формулы определяем: $M = (n' - n_0 \xi) / \gamma$.

Далее необходимо выяснить общее количество комбайнов L , предназначенное для создания постоянных механизированных формирований (ПМФ) на уборке. Оно определяется из того условия, что каждое из рассматриваемых хозяйств передает до 20% своих комбайнов в ПМФ, т.е. $L = \sum_{i=1}^n 20\% n_i$.

Такой размер отвлечения каждым хозяйством части своих комбайнов в постоянные механизированные формирования позволяет:

- оставлять за всеми хозяйствами значительную возможность для оперативной самостоятельности в решении вопросов организации и управления уборочным процессом;
- обеспечивать крупные размеры ПМФ, что позволяет

использовать такой резерв повышения эффективности уборочного процесса, как разная сезонная нагрузка на комбайн в хозяйствах;

- свести до минимума разницу в количестве сокращаемых дней уборки между хозяйствами.

Затем необходимо определить фактический размер ПМФ $P_{\text{ф}}$, выражаемый через планируемое количество комбайнов $N_{\text{пл}}$, которое предполагается послать в первую очередь в то или иное хозяйство. Это количество комбайнов, с одной стороны, ограничивается максимально возможным размером P_{max} , а с другой - должно в наибольшей степени удовлетворять соответствующее хозяйство в недостающих комбайнах M . Причем максимально возможный размер механизированного формирования при выборе хозяйства, в которое предполагается его послать в первую очередь, будет снижаться соответственно на $20\% n_0$, т.е. $P_{\text{ф}} = L - 20\% n_0$ или, иначе говоря, это хозяйство свои комбайны в ПМФ не сдает. Это условие выражается так: $N_{\text{пл}} \leq L - 20\% n_0$ (при $N_{\text{пл}} \rightarrow M$), т.е. количество планируемых комбайнов (предварительный размер ПМФ) должно равняться суммарному количеству комбайнов, предназначенных для организации ПМФ, за вычетом того количества, которое выделяется хозяйством, где в первую очередь предполагается применить это формирование. При этом максимальный размер ПМФ ограничивается максимально допустимым количеством дополнительных комбайнов M для выбранного хозяйства.

Так как создание механизированных формирований на базе межхозяйственной кооперации представляет собой многовариантную задачу распределения ресурсов с целью отбора для кооперации таких хозяйств, которые обеспечивали бы максимальное повышение эффективности уборочного процесса, то в алгоритм необходимо ввести критерий предпочтения, обеспечивающий сокращение количества рассматриваемых вариантов.

Исходя из того, что целью создания механизированных формирований на базе объединения части ресурсов хозяйств района является сокращение сроков уборки в этих хозяйствах благодаря широкому маневру зерноуборочной техникой, критерием предпочтения при переброске техники по хозяйствам должен быть такой показатель, который бы позволял

высвободить наибольшее количество техники для оказания помощи другим хозяйствам. Таким показателем, очевидно, мог бы служить показатель продолжительности уборочного периода в хозяйствах, так как он позволяет определять быстроту высвобождения зерноуборочной техники. Но поскольку продолжительность уборочного процесса определяется такими величинами, как фактическая сезонная нагрузка на комбайн $Q_{\text{ф}}$ и среднедневная выработка на зерноуборочную машину $\omega_{\text{ср}}$, то при одинаковых этих показателях в разных хозяйствах и предлагаемая продолжительность уборочного периода T будет в них одинаковой. Но так как $Q_{\text{ф}}$ зависит от уборочной площади в хозяйстве (S_0) и количества комбайнов в нем (n_0), то ясно, что при совершенно разных этих показателях фактическая сезонная нагрузка на комбайн $Q_{\text{ф}}$, а следовательно, и продолжительность уборки в разных хозяйствах могут быть равными (при примерно одинаковой среднедневной выработке на комбайн в них), что видно из формулы: $T = S_0/n_0\omega_{\text{ср}}$.

Таким образом, при равной продолжительности уборки в разных хозяйствах количество высвобождаемых комбайнов в них может быть совершенно разным. Поэтому необходим такой показатель критерия предпочтения, который мог бы отражать эту особенность и учитывать не только продолжительность уборки по хозяйствам, но и количество высвобождаемых при этом комбайнов.

Таким показателем являются темпы высвобождения комбайнов $N_{\text{т}}$, т.е. количество комбайнов, высвобождаемых в единицу времени: $N_{\text{т}} = n_{\text{св}} \xi \varepsilon + N_{\text{общ}}/t''$, где $\varepsilon = n_{\text{лк}}/n_{\text{св}}$ - коэффициент обеспеченности хозяйства собственными комбайнерами; $n_{\text{лк}}$ - количество комбайнов, укомплектованных собственными комбайнерами; $N_{\text{общ}}$ - общее количество чужих комбайнов, которое предполагается иметь в хозяйстве на планируемый отрезок времени (t''); t'' - предполагаемая остаточная продолжительность уборочного периода в хозяйстве; $t'' = G_{\text{ф}}/\omega_{\text{ср}}$, где $G_{\text{ф}}$ - общая фактическая нагрузка на комбайн с учетом предполагаемого их количества в хозяйстве $G_{\text{ф}} = S_{\text{св}}/(n_{\text{св}} \xi + N_{\text{общ}}/\gamma)$, где $S_{\text{св}}$ - уборочная пло-

шадь в хозяйстве на рассматриваемый момент времени; $N_{\text{общ}} = N_{\text{ф}} + N_{\text{пл}}$, где $N_{\text{ф}}$ — количество “чужих” комбайнов в хозяйстве в рассматриваемый момент времени; $N_{\text{пл}}$ — дополнительное количество “чужих” комбайнов, которое предполагается направить в хозяйство на планируемый отрезок времени; $n_{\text{ост}} = n_0 - 20\% n_0$ — количество комбайнов самого хозяйства, которое осталось в нем после сдачи части своих комбайнов в ПМФ; $\omega_{\text{ср}}$ — среднедневная выработка на комбайн.

Темпы высвобождения комбайнов являются обобщающим показателем, который находится в зависимости не только от продолжительности уборочного периода, но и от количества высвобождаемых при этом комбайнов. Поэтому этот показатель в наибольшей мере отражает цель маневрирования техникой — обеспечение наибольшего количества высвобождаемых комбайнов в кратчайшие сроки для оказания помощи другим хозяйствам. Кроме того, он обеспечивает представление помощи в первую очередь тем хозяйствам, которые наиболее близки к завершению уборки, что исключает такие случаи, когда то или иное хозяйство, входящее в состав кооперации, может завершить уборку, не дождавшись помощи. Такой подход обеспечивает экономическую заинтересованность хозяйств в создании межхозяйственных формирований.

Дальнейшее построение алгоритма требует выделения из хозяйства 1 эшелона тех из них, которые соответствовали бы началу рационального маршрута движения межхозяйственного формирования, т.е. необходимо определить диапазон перебора. Для этого требуется вычислить для каждого хозяйства 1 эшелона предполагаемые темпы высвобождения комбайнов по соответствующей формуле. Затем эти хозяйства следует выстроить в порядке снижения темпов высвобождения. По заданному проценту $Z\%$ можно найти количество хозяйств, которые будут входить в диапазон перебора (l'_1): $l'_1 = l_1 Z\% / 100\%$. Такой диапазон перебора позволяет, во-первых, включать в рассмотрение хозяйства с одинаковыми темпами высвобождения; во-вторых, он обеспечивает рассмотрение хозяйств, которые могут быть определе-

ны как лучшие по продолжительности уборочного периода, но худшие по темпам высвобождения и наоборот. Например, в хозяйстве № 1 темпы высвобождения комбайнов равны N_{1i}'' . $N_{1i}'' = \frac{N_{обсн}}{t''} = 15/15 = 1$, а в хозяйстве № 2 $N_{2i}'' = \frac{30}{20} = 1,5$.

Как видно, из этих двух хозяйств отдать предпочтение какому-то одному очень трудно. Поэтому их оба необходимо включить в рассмотрение.

Таким образом, определив диапазон перебора, можно рассчитать различные варианты управления комбайнами. Начинается перебор с хозяйства, в котором темпы высвобождения максимальные. Для этого хозяйства необходимо определить фактический размер ПМФ ($P_{ф}$).

Если максимально возможный размер ПМФ ($L - 20\% = P_{max}$) превышает недостающее количество комбайнов в хозяйстве (M_i), то разницу $P_{max} - M_i$ необходимо вернуть в хозяйства, передавшие часть своих комбайнов в ПМФ. Для этого разницу необходимо сравнить с количеством рассматриваемых хозяйств l . Если эта разница больше количества хозяйств, т.е. $P_{max} - M_i > l$, то ее необходимо разделить на это количество: $(P_{max} - M_i) : l$ и в итоге определить, по сколько комбайнов необходимо вернуть в каждое хозяйство. Если $P_{max} - M_i < l$, то это количество комбайнов сразу распределяется между хозяйствами в порядке их нумерации. При этом фактический размер ПМФ $P_{ф}$ равен недостающему количеству комбайнов для выбранного в рамках диапазона перебора хозяйства, т.е. $P_{ф} = M_i$.

После этой корректировки определяется фактическое количество комбайнов, передаваемое каждым хозяйством для ПМФ ($n_{мф}$), и оставшееся количество комбайнов в хозяйствах после формирования ПМФ ($n'_{ост}$) $n'_{ост} = n_i - n_{мф}$.

Если же максимально возможный размер ПМФ P_{max} меньше или равен недостающему количеству комбайнов в выбранном хозяйстве (M_i), то фактический размер ПМФ будет равен максимально возможному его размеру, т.е.

$$P_{ф} = P_{max}$$

Дальнейшее построение алгоритма предусматривает формирование групп по использованию разрывов в сроках на-

чала уборки между хозяйствами (ГИР). Эти группы формируются на базе хозяйств $\bar{\Pi}$ эшелона и направляются в хозяйства \bar{I} эшелона на период несовпадения начала уборки в хозяйствах \bar{I} и $\bar{\Pi}$ эшелона. Причем разница между сроками начала уборки каждого хозяйства $\bar{\Pi}$ эшелона и каждого хозяйства \bar{I} эшелона должна составлять не менее трех дней, т.е. $N_{yI}^I - N_{yI}^{\bar{\Pi}} \geq 3$. Это условие определяет возможность создания ГИР и указывает, что время чистой работы в хозяйствах \bar{I} эшелона комбайнов ГИР составляет не менее двух дней с учетом времени, необходимого для возвращения этих комбайнов в свое хозяйство к началу уборки в нем ($t_{\text{пер}} = 1$ день).

После выяснения возможности создания ГИР необходимо определить в каждом из хозяйств $\bar{\Pi}$ эшелона размер этих групп по формуле: $n_{\text{гир}} = n'_{\text{ост}} \xi \varepsilon$. После выявления размеров ГИР можно направить их в соответствующие хозяйства \bar{I} эшелона, исходя из того, что $N_{yI}^I - N_{yI}^{\bar{\Pi}} \geq 3$ и с учетом $M - N_{\Phi}$ для каждого хозяйства, в которое предполагается послать комбайны этих групп, т.е. $n_{\text{гир}} \leq M - N_{\Phi}$.

Распределив комбайны ГИР и ПМФ, можно определить очередность выхода хозяйств из уборки по формуле $t'' = S_0 : (n'_{\text{ост}} \xi \omega'_{\text{ф}} + N_{\Phi} \gamma \omega'_{\text{ф}})$. По минимальной продолжительности остатка уборочного периода t'' определяем хозяйства (хозяйство), завершившие уборку первыми среди рассматриваемых хозяйств. Определяем количество комбайнов, которое смогут они (оно) выделит после завершения уборки у себя (n''') для формирования групп по использованию свободной техники (ГИСТ), т.е. техники, высвобождаемой из хозяйств, завершивших уборку: $n''' = n'_{\text{ост}} \xi \varepsilon + N_{\Phi}$, где N_{Φ} - количество "чужих" комбайнов в хозяйстве в рассматриваемый момент времени.

Затем по всем рассматриваемым хозяйствам определяется состояние уборочного процесса к этому времени, выраженное через остаточную уборочную площадь в этих хозяйствах $S'_{\text{ост}} = S_0 - S_{\text{убр.}T_k}$, где $S_{\text{убр.}T_k}$ - убранная площадь за промежуток времени между началом уборки в данном хозяйстве и моментом завершения уборочного процесса в лю-

бом другом хозяйстве района (T_k). Для того же, чтобы определить остаточную уборочную площадь в хозяйстве на момент получения им очередной помощи ($S_{ост}''$), необходимо учесть предполагаемое время перегона комбайнов ($t_{пер}$) из хозяйства, завершившего уборку, в данное хозяйство, т.е. необходимо определить состояние уборочного процесса в хозяйстве за промежуток времени. $T_m = T_k + T_{пер}$, которое определяется как $S_{ост}'' = S_0 - S_{убр.T_m}$; где $S_{убр.T_m} = T_m (\eta'_{ост} \xi \omega'_{ср} + N_{ф} \gamma \omega'_{ср}) + t_r \eta_r \gamma \omega'_{ср}$, где $S_{убр.T_m}$ - убранная площадь в хозяйстве за промежуток времени T_m ; T_m - время между сроком начала уборки в хозяйстве и моментом получения им очередной помощи; t_r - время работы в хозяйстве групп по использованию разрывов в сроках уборки; η_r - количество комбайнов в составе ГИР.

После определения состояния уборочного процесса в хозяйствах, не завершивших уборку, и выявления общего размера групп по использованию свободной техники (η'') необходимо организовать распределение этих комбайнов. Для этого нужно определить во всех хозяйствах, не завершивших уборку, дополнительное количество комбайнов, которое сможет каждое из них принять. Она выражается разницей $M - N_{ф}$. Если $M - N_{ф} = 0$, то соответствующее хозяйство при распределении высвободившихся комбайнов (η'') не рассматривается, а сразу определяется для него время завершения уборки. По всем хозяйствам определяется момент завершения уборки с помощью имеющихся в их распоряжении комбайнов. Если среди этих хозяйств окажутся такие, которые смогут завершить уборку во время перегона высвободившихся комбайнов, то считаем, что эти хозяйства (хозяйство) завершают уборку к моменту окончания перегона высвободившихся комбайнов. Для остальных хозяйств подсчитываются предполагаемые темпы высвобождения комбайнов, и высвобожденные комбайны (в составе ГИСТ) () направляются в хозяйство, в котором $N_{г} = \max$. После удовлетворения потребностей этого хозяйства в дополнительных комбайнах оставшиеся нераспределенные комбайны ($\eta''_{ост}$), если таковые есть, распределяются по мере снижения темпов высвобождения в остальные хозяйства по условию $i_{на} = M - N_{ф}$ при $N_{на} \leq \eta''_{ост}$

Затем определяется хозяйство (хозяйства), в котором уборка завершается к моменту окончания предыдущего перегона высвобождаемых комбайнов, формируется размер создаваемого подразделения (n^m) и осуществляется распределение этих комбайнов по уже известному принципу. Распределение высвобожденных комбайнов (n^m) осуществляется до тех пор, пока во всех не завершивших уборку хозяйствах не будет выполнено условие: $M - N_{\phi} = 0$. Затем определяется суммарная продолжительность уборочного периода по всем хозяйствам (T_{n_1}). Из вариантов, определяемых диапазоном перебора, отдается предпочтение тому, в котором суммарная продолжительность уборочного периода минимальная ($T_{n_1} = \min$). После этого необходимо определить, насколько выдержаны требования экономической заинтересованности каждого хозяйства в создании МХМФ. Для этого необходимо определить продолжительность уборочного периода по всем хозяйствам в базовом варианте, т.е. без применения МХМФ: $T_{\delta_i} = S_0 / n_0 \xi \omega_{\text{ср}}$.

После этого сравнивают базовый и новый вариант в каждом хозяйстве. Если $T_{\delta_i} - T_{n_1} < 0$, то это значит, что данное хозяйство экономически не заинтересовано в создании МХМФ, а поэтому его необходимо вывести из состава кооперирующихся хозяйств по созданию МХМФ.

Таким образом, в составе кооперирующихся хозяйств по организации механизированных формирований после предварительного отбора остаются только те, в которых сроки уборки после создания МХМФ как минимум остаются такими же, как и до создания МХМФ, т.е. $T_{\delta_i} - T_{n_1} \geq 0$.

Проведенные исследования и анализ литературных источников показывают, что у хозяйств появляется экономическая заинтересованность в создании МХМФ только в том случае, когда в каждом из них сроки уборки могут быть сокращены минимум на три дня, так как это позволяет, во-первых, сохранить от осывания примерно 1,5 ц зерна на каждом гектаре, а во-вторых, дает возможность приступить раньше к выполнению послеуборочных работ. Поэтому при создании МХМФ необходимо ввести ограничение типа $T_{\delta_i} - T_{n_1} \geq 3$.

Порядок создания МХМФ на базе выбранных хозяйств.

такой же как и в предварительном расчете состава кооперирующихся хозяйств, за исключением некоторых изменений. Все рассматриваемые хозяйства делятся по времени их вступления в уборку на \bar{I} и \bar{II} эшелоны: для всех хозяйств определяется количество дополнительных комбайнов M , которое им необходимо иметь, чтобы укладываться в агросрок; определяется общее количество комбайнов L , предназначенных для формирования ПМФ; для всех хозяйств \bar{I} эшелона вычисляются предполагаемые темпы высвобождения комбайнов $N_{\bar{I}}^n$ и, исходя из выбранного хозяйства с максимальными темпами высвобождения, корректируется размер отвлечения техники каждым хозяйством в ПМФ и определяется его размер. Затем определяется остаточное количество комбайнов в хозяйствах. После этого определяют очередность выхода хозяйств из уборки и количество комбайнов, высвобождаемое им после завершения уборки у себя. Затем по всем рассматриваемым хозяйствам определяют остаточную уборочную площадь и дополнительное количество комбайнов, которое может каждое из хозяйств принять, используя при этом формулу $N_{\text{пл}} = M - N_{\text{ф}}$. Дальнейшее построение алгоритма требует выполнения экономических интересов всех хозяйств, выраженных условием $T_{\bar{I}} - T_{\text{нп}} \geq 3$. Это условие может быть обеспечено наличием соответствующего количества комбайнов, определяемого формулой:

$$n_{\text{э.э.}} = S_{\text{осг}}^n / [T_{\bar{I}} - 3 - (T_k + t_{\text{пер}})] \approx \omega_{\text{ср}}$$

Определив таким образом общее количество комбайнов, которое необходимо иметь хозяйству для того, чтобы соблюсти свои экономические интересы, можем определить недостающее количество комбайнов (Δn): $\Delta n = n_{\text{э.э.}} - n'_{\text{осг}}$.

После этого необходимо определить хозяйства, в которых заведомо не могут быть реализованы эти интересы, т.е. в которых $\Delta n > M - N_{\text{ср}}$. Отбрав эти хозяйства, выстраиваем их в порядке снижения этой величины. Хозяйство, в котором эта величина наибольшая, исключаем из рассмотрения. Затем согласно вышеописанному порядку рассматриваем возможность кооперации оставшихся хозяйств по признаку недостающих комбайнов для реализации экономических интересов хозяйств (Δn). И так необходимо повторять до тех пор, пока в состав кооперирующихся хозяйств

будут входить лишь те, в которых экономические интересы могут быть реализованы, т.е.

Выбрав, таким образом, состав кооперирующихся хозяйств, экономические интересы которых потенциально могут быть реализованы, необходимо для этих хозяйств сформировать МХМФ и организовать управление ими, согласно описанному выше порядку.

Такой порядок отбора кооперирующихся хозяйств и управления уборочным процессом в них обеспечит выполнение принципа экономической заинтересованности всех хозяйств — участников кооперации по созданию МХМФ.

Выводы

Разработанный алгоритм позволяет обосновать возможность создания межхозяйственных механизированных формирований на базе кооперации части материальных и трудовых ресурсов отдельных хозяйств района с учетом обеспечения их экономических интересов. Алгоритм позволяет осуществлять планирование уборочных работ с учетом таких внутрирайонных факторов повышения их эффективности, как осуществление широкого маневра зерноуборочной техникой с использованием разрывов в сроках начала уборки между хозяйствами одного административного района и разной сезонной нагрузки на комбайн.

Инженер В.С.Барнагян,
математик Л.М.Сергеева

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Несмотря на широкое распространение уборочно-транспортных комплексов (УТК) на уборке зерновых и других культур, эффективность их использования все еще неисчерпана. Как показывают хронометражные наблюдения, еще можно сократить взаимообусловленные простои основных и вспомогательных звеньев, повысить равномерность и объемы

собираемого зерна в течение уборки. Этого можно добиться при комплектовании состава УТК на основе адекватного учета конкретно складывающихся условий проведения работ. В силу этого возникает задача оптимизации структуры УТК с учетом совокупности природно-производственных факторов.

Для оценки эффективности функционирования системы УТК в различных условиях было бы целесообразным математически описать процесс ее функционирования, т.е. построить ее математическую модель. В этом направлении определенная работа различными авторами уже выполнена. Они, правда, решали частные задачи моделирования с целью достижения поточности при групповой работе уборочных агрегатов, обеспечения согласованной работы уборочных агрегатов и транспортных средств, проведения технического обслуживания и ремонтов силами специализированного звена, а также резервирования машин. Большинство таких задач решали с помощью теории массового обслуживания, при использовании которой исследуемый процесс приводится к простейшему стационарному. Очевидно, что процесс поступления зерна от комбайнов на ток, заявок на технологическое и техническое обслуживание является сложным, и система УТК может выполнять свои функции даже в том случае, если некоторая часть ее элементов находится в нерабочем состоянии. То есть речь идет не об отказе всей системы, а лишь о возможном снижении качества ее работы.

Часто же, учитывая специфику сложных систем, из разных методов физического и математического моделирования сложных процессов предпочтение отдается методу статистического моделирования [1]. И в данной работе предлагается статистическая модель процесса функционирования системы УТК. Она представляет собой алгоритм, реализуемый на ЭВМ, при помощи которого имитируется работа отдельных элементов системы (комбайнов, автомобилей, звена технического обслуживания), их взаимодействие, а также циркуляция и переработка информации. При разработке алгоритма функционирования УТК использовались элементы ранее разработанных методик для динамических процессов.

При моделировании выделены состояния:

- комбайнов: работа - время чистой работы $T_{\text{чист}}$; технологическое время $T_{\text{технол.}}$ (включает время на повороты, маневрирование, выгрузку); ожидание автомобилей $T_{\text{ож}}$; ремонт: $T_{\text{рем.}}$ (включает время на обнаружение неисправности и вызов звена ТО, если оно необходимо, а также сам ремонт, либо замену резервным комбайном или технологическое обслуживание); время на отдых и естественные надобности $T_{\text{культ.}}$; время на организационные простои $T_{\text{орган.}}$ (время на разговоры, получение указаний);

- автомобилей: подготовка к работе; время рейса $T_{\text{рейс}}$ (включает время переезда груженого автомобиля от комбайна до зерноприемного пункта, оформление документов, ожидание разгрузки, разгрузку, приезд на поле); время ожидания первой загрузки $T_{\text{с}}$ (включает время ожидания 1-й загрузки); время загрузки $T_{\text{загр}}$; время между заявкой на обслуживание автомобилем и фактическим временем приезда $\Delta t_{\text{с}}$; время ожидания загрузки $T_{\text{ож}}$; время на отдых, естественные надобности $T_{\text{культ.}}$

- звена ТО: время ремонта $T_{\text{то}}$; время поездки за запчастью $T_{\text{зч}}$; время ввода резервного комбайна $T_{\text{лк}}$; время на ЕТО комбайнов и автомобилей $T_{\text{ето}}$; время на плановое техническое обслуживание $T_{\text{пто}}$; время дежурства $T_{\text{деж}}$; время на отдых и естественные надобности $T_{\text{культ.}}$

За единый критерий эффективности приняты удельные затраты на уборку 1 т зерна:

$$C = \frac{\sum_i \sum_j C_{ij}}{V} \rightarrow \min,$$

где C_{ij} - совокупные затраты по i -й машине на j -м поле; V - фактический объем убранного зерна.

В основу моделирования положены следующие ограничения:

1. Уборка культуры не может быть начата раньше установленного рабочего времени, и относительно этого момента времени отсчитываются другие события.
2. Если в момент возвращения автомобиля на поле простаивают в ожидании транспорта несколько комбайнов, то этот автомобиль начинает работать с тем комбайном, который ожидает дольше других, и наоборот, если ожидают работы с комбайном несколько автомобилей, то первым начи-

нает работать тот автомобиль, который возвратился на поле раньше других. В этом случае при ожидании загрузки комбайном приоритетом пользуется автомобиль, уже имеющий одну загрузку.

3. Зерно из бункеров выгружают в загонках без выезда комбайнов.

4. Если при выходе комбайна из строя загрузка работающего с комбайном автомобиля уже достигает некоторой обусловленной части его грузоподъемности, этот автомобиль отправляется в рейс. Когда автомобиль загружен недостаточно и поломка комбайна небольшая (время ремонта не превышает установленного предела), автомобиль ожидает устранения неисправности и затем работает с тем же комбайном. Если же случилась поломка, требующая длительного времени на ремонт, этот автомобиль сразу с момента поломки ожидает работы с любым комбайном наравне с другими автомобилями.

5. Время работы комбайна по интенсивностям поступления заявок на ремонт разбивается на 5 периодов: O_1 - с 7 до 12, O_2 - с 12 до 13-30, O_3 - с 13-30 до 15⁰⁰, O_4 - с 15⁰⁰ до 19⁰⁰, O_5 - с 19⁰⁰ до 23⁰⁰. В случае, если время ремонта меньше 20 мин., комбайн ремонтируется без помощи звена ТО, до 40 мин. - с помощью звена, свыше 40 мин. - вводится резервный комбайн. При невозможности устранения неисправности в полевых условиях, ремонт производится на стационарном ПТО.

6. Количество зерна, перевозимого автомобилем, является величиной случайной и не может отклоняться от номинальной грузоподъемности на величину, которая больше допустимой.

7. Производительность комбайна за время "чистой" работы принимается постоянной (при моделировании каждой реализации процесса).

8. Для транспортных средств время смены кончается после доставки всего зерна от комбайнов на пункт послеуборочной обработки.

9. Для исправного комбайна время смены кончается только после полной выгрузки зерна из бункера.

10. В уборочно-транспортном звене работают комбайны одной модели, равной производительности и равной вместимости бункеров, автомобили звена - однотипные, одинаковой вместимости.

11. Закрепление автомобилей за звеном комбайнов - обезличенное (автомобили обслуживают любой из комбайнов своего звена).

12. Звено ТО ремонтирует комбайны в порядке поступления.

13. Операции техобслуживания проводятся в межсменное время. Заправка и обслуживание комбайнов проводится с помощью передвижных средств звена ТО; автомобили заправляются на стационарном пункте заправки.

При моделировании процесса уборки на основе изученных по фактическим данным закономерностей имитируются следующие случайные величины:

1. Время готовности к работе автомобилей от начала рабочего времени смены.
2. Продолжительность безотказной работы комбайнов.
3. Продолжительность устранения отказа комбайна.
4. Продолжительность пребывания автомобиля в рейсе.
5. Продолжительность доставки запчастей.

Законы распределения этих величин определялись по материалам хронометражных наблюдений, проведенных в 1979-1981 гг. в ОПХ БНИПТИМЭСХ. При статистической обработке данных о времени безотказной работы комбайнов и о продолжительности времени устранения отказа были проверены гипотезы нескольких законов распределения. Проверкой этих гипотез по критериям согласия Колмогорова и Пирсона было установлено, что распределение времени безотказной работы подчиняется экспоненциальному закону, время устранения отказа - закону Вейбулла.

Для использования алгоритма моделирования задаются следующие исходные данные: S_{nj} - площадь j -го поля, га; H_{nj} - урожайность j -го поля, ц/га; t_n - время начала уборки; δ_j - отношение зерна к соломе на j -м поле; ξ_j - влажность зерна на j -м поле; l_{nj} - длина гона на j -м поле, км; L_{nj} - расстояние транспортировки с j -го поля на хлебоприемный пункт (ток), км; S^* - вся убороч-

ная площадь, га; q_i - пропускная способность комбайнов, кг/с; Q_i - грузоподъемность i -го автомобиля; V_{δ_i} - емкость бункера комбайна, m^3 ; $T_{\text{выгр.}}$ - время выгрузки бункера, с; $T_{\text{см}}$ - продолжительность смены, ч; K - количество комбайнов в УТК; A - количество автомобилей в УТК; R^k - количество резервных комбайнов; N - количество комбайнеров; M - количество шоферов; Z - количество слесарей-ремонтников.

Алгоритм моделирования рассматриваемого процесса позволяет рассмотреть последовательное изменение массивов, характеризующих состояние машин и звена ТО. В каждый момент времени каждая машина находится в каком-либо одном состоянии. С течением времени машины переходят из одного состояния в другое, что вызывает изменение массивов соответствующих данных. Алгоритм построен так, что фиксируются только моменты изменения состояний.

В результате моделирования было выявлено, что, например, при оценке эффективности содержания резервных комбайнов в УТК целесообразное их число на комплекс равно трем (по одному на каждое звено). Полученное уравнение регрессии в виде полинома второй степени имеет вид:

$$Y = 3,297 - 0,325 \cdot X_1 - 0,452 \cdot X_2 + 5,818 \cdot X_3 + 5,181 \cdot X_4 + 1,351 \cdot X_5 - 1,481 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,361 \cdot X_3 \cdot X_5 - 0,113 \cdot X_4 \cdot X_5 \quad (2)$$

Цифрами 1, 2, ..., 6 обозначено число основных комбайнов в комплексе (соответственно 10, 11, ..., 15). Изучение влияния количества резервных комбайнов на величину коэффициента $K_{\text{ЭК}}$ (при различной численности основных комбайнов в комплексе) также показало, что максимальное значение коэффициентов $K_{\text{ЭК}}$ - при трех резервных комбайнах в комплексе. Полученное уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = 0,010 - 0,003X_1 + 0,037 \cdot X_2 + 0,008 \cdot X_3 - 0,0349 \cdot X_4 + 0,118 \cdot X_5 + 0,020 \cdot X_6 + 0,007X_7 - 0,028X_8 - 0,02X_9 + 0,08 \cdot X_{10} \quad (3)$$

Найденные коэффициенты уравнений регрессии были оценены по критерию Стьюдента, что показало их статистическую значимость. Ошибка аппроксимации при моделировании функционирования УТК не превышает 18% от их значений, полученных в производственных условиях.

Сведения о системе, полученные в результате моделирования и эксперимента, дают возможность обосновать оптимальную структуру уборочно-транспортных комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. М.: Советское радио, 1973, - 440 с.

Аспирант А.И.Дорошук

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЛОТИЛКИ ЗЕРНОКОМБАЙНА ПОВЫШЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ^х

В 1981 году ПО "Ростсельмаш" изготовлены комбайны "Дон-1500" с проектной пропускной способностью 8 кг/с. В настоящее время стоит задача довести пропускную способность этих комбайнов до 10-12 кг/с /1/. По данным /2/, эта задача может быть решена изысканием рациональных конструктивных показателей узлов молотилки зерноуборочного комбайна и способов интенсификации сепарации зерно-соломистого вороха на соломотрясе.

Для определения конструктивных показателей зернокомбайнов повышенной пропускной способности была проанализирована имеющаяся научная информация о рабочих органах и узлах зерноуборочных комбайнов /2, 3, 4/. В процессе отбора моделей комбайнов для анализа, было введено ограничительное условие, в соответствии с которым каждая модель должна была содержать молотилку, выполненную по традиционной схеме компоновки (т.е. она должна была включать молотильно-сепарирующее устройство с одним молотильным барабаном, клавишный соломотряси ветрорешетную очистку). Введенное ограничение позволяет уменьшить ошибку аппроксимации, а полученные выводы распространять только на комбайны с традиционной молотилкой. В результате было отобрано 88 модели отечественных и зарубежных зерноуборочных машин пропускной способностью от 2 до 8 кг/с,

^х Удостоена поощрения на конференции молодых ученых ВНИПТИМЭСХ

технические показатели которых систематизированы в ранжированный ряд по возрастанию значений пропускной способности, их объединили в шесть групп с интервалом 1 кг/с (2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, и 7-8). Для каждой группы рассчитали средние значения пропускной способности и соответствующие им средние значения показателей.

Полученный статистический массив обработали на ЭВМ "Минск-22". В результате обработки получили аппроксимирующие выражения, характеризующие конструктивные и массоэнергетические показатели зерноуборочных комбайнов в зависимости от пропускной способности. При этом для каждого показателя выбирали математическое выражение, обеспечивающее наименьшую относительную ошибку аппроксимации (табл. 1).

Таблица 1

Аппроксимирующие выражения
технических показателей зерноуборочных комбайнов

Наименование показателя	Аппроксимирующее выражение	Среднее квадратическое отклонение, Б	Максимальная относительная ошибка, $\Delta Y_{max}, \%$
Ширина молотилки, м	$B = 0,48q^{0,61}$	0,04	3,14
Диаметр молотильного барабана, м	$D = 0,49 + 0,016q$	0,004	1,15
Угол обхвата молотильного барабана декой, град.	$\alpha = 77 + 19 \ln q$	3,24	4,95
Длина развертки деки, м	$L_g = 1,27 \frac{5,11}{q} + \frac{7,97}{q^2}$	0,012	3,97
Длина соломотряса, мм	$L_c = 5520 - \frac{9829}{q} + \frac{6015}{q^2}$	62,28	1,94
Площадь соломотряса, м ²	$S_c = -0,052q^2 + 1,48q - 1,12$	0,09	2,54

Продолжение таблицы 1

Наименование показателя	Аппроксимирующее выражение	Среднее квадратическое отклонение	Максимальная относительная ошибка $\Delta U_{\text{отн}} \%$
		σ	
Суммарная площадь деки и соломотряса, M_2	$S_2 = -0,1q^2 + 2,1q - 1,98$	0,07	2,09
Площадь очистки, $M^2 S_0$	$S_0 = 7,06e - \frac{3,66}{q}$	0,04	1,74
Мощность двигателя, кВт	$N = 2,8 + 19,6q$	5,03	9,00
Масса комбайна, кг	$M = 2808q^{0,62}$	243	3,91
Удельная материалоемкость кг/кг/с	$G = 607 + \frac{5931}{q} - \frac{6425}{q^2}$	25,18	2,36

В табл. 2 приведены технические показатели зерноуборочных комбайнов пропускной способностью 8 и 10 кг/с, рассчитанные по выражениям, приведенным в табл. 1. Назовем условно указанные комбайны СК-8 и СК-10. Для сравнения в табл. 2 дополнительно помещены аналогичные показатели опытных комбайнов "Дон-1500" образца 1981 года, изготовленных на ПО "Ростсельмаш", показатели этого же комбайна, модернизированного во ВНИИТИМЭСХ, и показатели лучших зарубежных комбайнов: Е-516 (ГДР), "Доминатор-106" (ФРГ) и М-8080 (США).

В результате сравнения технических показателей установлено, что если площади развертки деки и очистки опытного комбайна "Дон-1500" (ПО "Ростсельмаш") соответствуют этим же площадям статистической модели условного комбайна СК-8, то площадь соломотряса в 1,23 раза меньше. Суммарная же площадь развертки деки и соломотряса опытного комбайна в соответствии с аппроксимирующим выражением для этого показателя может обеспечить пропускную способность примерно 7,8 кг/с, что хорошо согласуется

Таблица 2

Технические показатели зерноуборочных
комбайнов

Наименование показателей	Модель комбайна						
	СК-8 условный	СК-10 условный	"Дон-1500" (по "Ростсельмаш")	"Дон-1500" (ВНИИТИ- МЭСХ)	Е-516 (ГДР)	"Доминатор- 106" (ФРГ)	М-8080 (США)
1	2	3	4	5	6	7	8
Ширина молотилки, м	1,710	1,960	1,500	1,500	1,625	1,600	1,580
Диаметр молотильно- го барабана, м	0,62	0,65	0,80	0,80	0,80	0,45	0,46
Угол обхвата моло- тильного барабана декой, град.	117	121	120	146	120	117	110
Длина развертки деки, м	0,76	0,85	0,84	1,02	0,84	0,46	0,58
Площадь развертки деки, м ²	1,30	1,67	1,26	1,53	1,37	0,73	0,91
Длина солоотряса, м	4,39	4,60	4,10	4,10	4,86	4,40	3,30
Площадь соломо- тряса, м ²	7,39	8,48	6,04	6,04	7,78	7,04	5,26
Суммарная площадь деки и солоотряса, м ²	8,42	10,15	7,30	7,57	9,15	7,77	6,17
Площадь очистки, м ²	4,47	4,90	4,74	3,58	3,30	4,80	4,97
Мощность двигате- ля, кВт	160	190	117	117	162	132	143
Масса комбайна, кг	10193	11706	11960	11960	11590	9500	8800

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Пропускная способность (З:С)=1:1,5, кг/с	8	10	7,3	8,0	7,8	7,4	7,4
Удельная материалоем- кость, кг/кг/с	1274	1171	1638	1495	1486	1284	1189
Удельная энергонасы- щенность, кВт/кг/с	19,9	19,9	16,0	14,6	20,7	17,9	19,4

с результатами испытаний этих комбайнов. Так, при поте-
рях зерна за молотилкой 1,5% и отношении массы зерна к
массе соломы 1:1,5 на комбайне "Дон-1500" ПО "Ростсель-
маш" была получена средняя пропускная способность 7,3 кг/с.
При подачах 8-10 кг/с отмечалось высокое качество работы
молотильно-сепарирующего устройства и низкое качество ра-
боты соломотряса и очистки. Последняя характеризовалась
повышенными потерями в результате неполного использова-
ния ее длины. После устранения этого недостатка и увели-
чения площади развертки деки молотильно-сепарирующего
устройства до 1,58 м² (за счет доведения угла обхвата до
146°) было достигнуто приблизительное соответствие сум-
марных площадей дек и соломотрясов условного СК-8 и
опытного "Дон-1500" (ВНИПТИМЭСХ) комбайнов, а на ис-
пытаниях получили пропускную способность 8 кг/с.

Однако и в этом случае сдерживающее действие в ре-
шении задачи повышения пропускной способности до 10 кг/с
оказывало интенсивное увеличение потерь зерна за соломо-
трясом и очисткой, площади которых примерно в 1,4 раза
меньше соответствующих площадей условного комбайна СК-10.

Анализ технических характеристик зарубежных зерноубо-
рочных машин показал, что наиболее близкие к показателям
условного комбайна СК-8 имеет комбайн Е-516 (ГДР) про-
пускной способностью 7,8 кг/с. Это также подтверждает эк-
вивалентность условных статистических и реальных моделей
комбайнов.

Вышеизложенное дает основание полагать, что создание
реальной конструкции комбайна с техническими показателями

условного СК-10 позволит довести пропускную способность машины до 10 кг/с. При этом для увеличения пропускной способности комбайна "Дон-1500" (ВНИПТИМЭСХ) необходимо довести площадь развертки деки до 1,67 м², площадь солоотряса - до 8,42 м² и площадь очистки - до 4,9 м². При ширине молотилки 1,5 м и традиционном режиме процесса сепарации для выделения зерна из вороха в молотильно-сепарирующем устройстве от У до Уб необходима длина развертки деки $X_g = 1,11$ м (отрезок кривой 1-1¹), а для его выделения на солоотрясе от Уб до допустимого уровня потерь зерна Ус необходима длина солоотряса $X_c = 5,61$ м (отрезок кривой 1¹-П). Здесь У-процент содержания зерна в зависимости от общего объема вороха, поступающего в молотилку (рис. 1, кривая 1).

Одновременно процесс сепарации зерна неизбежно сопровождается выделением незерновой части вороха (рис. 2, кривая 1). Поэтому на длинах сепарирующих поверхностей X_g и X_c выделится от Z до Z_g (отрезок кривой 1-1¹) и от Z_g до Z_c (отрезок кривой 1¹-П) незерновой части вороха, где Z - процент содержания незерновой части вороха от его общего объема, поступающего в молотилку.

Для разделения У-Ус зерна и Z-Z_c незерновой части вороха необходима длина очистки $X'_0 = 3,27$ м. В процессе разделения вороха на очистке содержание зерна в нем сократится от У-Ус на входе до допустимого уровня его потерь У_{0'} на ее выходе, а незерновой части вороха - от Z-Z_c до Z_{0'} (рис. 3, кривая 1). При этом в накопитель выделится У-У_c-У_{0'} зерна и Z-Z_c-Z_{0'} незерновой части вороха, соотношения которых находятся в пределах допустимого уровня засоренности выходного продукта η . Однако увеличение пропускной способности молотилки только за счет удлинения ее сепарирующих поверхностей приводит к удлинению базы комбайна на 1,5 м и значительному увеличению его массогабаритных показателей. Сокращение же габаритов комбайна может быть достигнуто за счет интенсификации процесса сепарации. Сравнение площадей сепарирующих поверхностей опытного комбайна "Дон-1500" (ВНИПТИМЭСХ) и условного комбайна СК-10 показывает, что если площади молотильно-сепарирующего устройства до-

статочно для обеспечения качественного технологического процесса без его интенсификации, то площадей соломотряса и очистки явно недостаточно.

Основная причина низкой интенсивности сепарации вороха на соломотрясе заключается в том, что при увеличении его подачи до 10 кг/с, изменении частоты вращения валов от 190 до 230 об/мин и ширине молотилки 1,5 м толщина слоя вороха составляет 49...67 см. Высокая же интенсивность выделения зерна, как известно, может быть достигнута при толщине слоя вороха 12...20 см. Поэтому в сложившейся ситуации необходимо найти режим сепарации, позволяющий эффективно выделять зерно из верхних слоев потока вороха.

Еще исследованиями /6/ установлено, что при колебаниях сепаратора в вертикальной плоскости зерно последовательно выделяется из верхнего, среднего и нижнего слоев, а при его колебаниях в горизонтальной плоскости последовательность выделения зерна изменяется на обратную. При этом интенсивность сепарации зерна в начальной стадии выше при вертикальных колебаниях сепаратора, чем при горизонтальных, а в последующих стадиях — наоборот. Поэтому в первой стадии сепарации ворох рекомендуется встряхивать вертикальным направлением, а в последующих — в горизонтальном.

Указанная рекомендация может быть реализована созданием конструкции составного соломотряса с последовательным изменением режима сепарации на его частях, что позволяет разделять ворох с большей интенсивностью, чем в традиционном режиме (рис. 1, кривая 2), а по мере ее снижения перейти на следующий режим, также более интенсивный в сравнении с традиционным (кривая 3). При этом с первой части составного соломотряса на длине $X_{с1}$ (точка III) сойдет зерна $U_{с1}$, с той же длины базового соломотряса его сойдет U'_c (точка III¹), а на очистку зерна выделится больше на $\Delta U_{с1} = U'_c - U_{с1}$. Со всей длины соломотряса в случае его равенства с длиной базового $X_c = X_{с1} + X_{с2}$ сойдет зерна $U_{с2}$ (точка IV), а на очистку его выделится больше на $\Delta U_{с2} = U_c - U_{с2}$ и на эту же величину сойдутся потери зерна за соломотрясом.

Однако интенсификация процесса выделения зерна из вороха ведет к увеличению выделения его незерновой части. Поэтому на участках солоотряса χ_{cI} и χ_{cII} ее выделение также увеличивается (кривая 2 между точками 1' и III и кривая 3 между точками III и IV) соответственно на $\Delta Z_{cI} = Z'_c - Z_{cI}$ и $\Delta Z_{cII} = Z_c - Z_{cII}$, а на очистку поступает $Z - Z_{cII}$ или $Z - Z_c + \Delta Z_{cII}$ незерновой части вороха.

В случае интенсификации процесса сепарации вороха на солоотрясе с суммарной длины сепарирующих поверхностей χ на очистку поступает $Y - Y_c + \Delta Y_{cI}$ зерна и $Z - Z_c + \Delta Z_{cII}$ незерновой части вороха, что приводит к увеличению подачи вороха на $\Delta Y_{cI} + Z_{cII}$. Тогда, если без интенсификации процесса длины очистки χ'_0 было достаточно для обеспечения уровня потерь зерна, не превышающего допустимый $Y'_{\chi'_0}$, то с интенсификацией ее недостаточно. В результате потери зерна за очисткой увеличиваются на $\Delta Y_{\chi'_0}$ (кривая 2 между точками III и П'), а эффект, полученный на солоотрясе, теряется на очистке.

Поэтому требуется выбрать рациональные соотношения между уровнями интенсификации процессов сепарации и площадями сепарирующих поверхностей молотильно-сепарирующего устройства, солоотряса и очистки при допустимых уровнях потерь зерна за солоотрясом Y_c и очисткой $Y'_{\chi'_0}$ и засоренности зерна в накопителе η .

При постоянных уровнях интенсификации процесса сепарации и площади сепарирующей поверхности развертки деки молотильно-сепарирующего устройства возможны следующие варианты указанных соотношений для солоотряса и очистки.

1. Базовый режим сепарации вороха на солоотрясе длиной χ_c при потерях зерна Y_c (рис.1 и 2 кривые 1 между точками 1' и П) в сочетании с базовым режимом сепарации вороха на очистке при потерях зерна и уровне засоренности $Y'_{\chi'_0}$ и η , что приводит к значительному увеличению массогабаритных показателей.

2. Интенсификация процесса сепарации вороха на солоотрясе длиной $\chi_c = \chi_{cI} + \chi_{cII}$ при сокращении потерь зерна на $\Delta Y_{cI} = Y_c - Y_{cII}$ и увеличении подачи незерновой части вороха на очистку на ΔZ_{cII} в сочетании с базовым режимом сепарации вороха на очистке длиной $\chi'_0 = \chi'_0 + \chi''_0$ при потерях.

зерна и уровне засоренности Y'_0 и η (рис. 3, кривая 2), что приводит к увеличению длины очистки на $\Delta X = X'_0$. В сочетании с различными по интенсивности режимами сепарации вороха на очистке длиной от X'_0 до X_0 , что приводит к сокращению длины очистки на $\Delta X_0 = X_0 - X'_0$ или, например, на $\Delta X_0 = X_0 - X_0''$ (рис. 3, кривые 3 и 4), что приводит к увеличению поступления незерновой части вороха в накопитель на $\Delta Z_{н1} = \Delta Z_{сн1}$, $\Delta Z_{н1} = \Delta Z_{сн1} - Z'_{сн1}$ и увеличению засоренности зерна в нем выше допустимого уровня η . В сочетании с базовым режимом сепарации вороха на очистке длиной X'_0 при условии вывода избытка незерновой части вороха $\Delta Z_{сн1}$ за ее пределы (рис. 3 кривая 5) длина очистки сокращается на $\Delta X_0 = X_0 - X'_0$ при допустимом уровне засоренности зерна в накопителе η .

3. Интенсификация процесса сепарации вороха на соломотрясе длиной X'_0 при допустимом уровне потерь зерна Y_c , сокращении его длины на величину $\Delta X_c = X_c - X'_c$ и увеличении подачи незерновой части вороха на очистку на $\Delta Z'_{сн1} = Z'_c - Z'_{сн1}$ (рис. 1 и 2, кривые 4 между точками 1'' и У) в сочетании с базовым режимом сепарации вороха на очистке длиной X'_0 при потерях зерна и уровне засоренности Y'_0 и η (рис. 3, кривая 6), что приводит к сокращению длины очистки на $\Delta X_0 = X_0 - X'_0$. В сочетании с интенсифицированным режимом сепарации вороха на очистке длиной X'_0 и увеличении засоренности зерна в накопителе выше допустимого уровня (рис. 3, кривая 7), что приводит к сокращению длины очистки на $\Delta X_0 = X_0 - X'_0$.

4. Интенсифицированный режим сепарации вороха на соломотрясе длиной X'_c , соответствующей базовой подаче незерновой части вороха $Z - Z_c$ на очистку, при потерях зерна выше допустимого уровня Y_c (рис. 1 и 2, кривая 4 между точками 1'' и У1) в сочетании с любой длиной и режимом сепарации вороха на очистке, что приводит к значительному увеличению потерь зерна за соломотрясом.

Анализ возможных соотношений режимов сепарации и площадей сепарирующих поверхностей соломотряса и очистки показывает, что наиболее эффективным является вариант, включающий интенсифицированный режим сепарации вороха на соломотрясе длиной $X'_c = X_c + X_{сн1}$, в сочетании с базовым

режимом сепарации вороха на очистке длиной X'_0 при условии вывода избытка незерновой части вороха $\Delta Z_{c\eta}$ за ее пределы. Этот вариант позволяет сократить потери зерна за молотилкой на $\Delta Y_{c\eta} = Y_c - Y_{c\eta}$ без увеличения длины соломотряса и уменьшить длину очистки на $\Delta X_0 = X_0 - X'_0$ без превышения допустимого уровня засоренности зерна в накопителе η .

Проведенный анализ дал возможность подобрать основные конструктивные параметры и разработать технологическую схему комбайна "Дон-1500" (ВНИПТИМЭСХ), рассчитанную на пропускную способность 10 кг/с, без увеличения габаритных размеров базовой машины.

Параметры разработанной молотилки соответствуют показателям условного комбайна СК-10 и превышают показатели лучших зарубежных зерноуборочных машин. Поэтому есть основание предположить, что при увеличении мощности двигателя комбайна до 160...200 кВт будет достигнута пропускная способность машины на уровне 10 кг/с.

В ы в о ы

Таким образом, установлено, что интенсифицировать процесс сепарации на соломотрясе возможно путем обеспечения поэтапного изменения режима его воздействия на зерно-соломистый ворох. Соломотряс должен быть выполнен составным в виде ярусно расположенных соломотрясов при длине первого яруса 2,625 м и второго - 3,925 м, что позволяет увеличить общую площадь его сепарирующей поверхности до 9,65 м² без увеличения габаритных размеров базового комбайна, а очистку необходимо снабдить обогатительным решето для вывода избытка незерновой части вороха за ее пределы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1981-1990 гг. Часть 1. Растениеводство.- М.: УНИИТЭИ, 1982, 251 с.
2. Русанов А.И. Основные направления повышения пропускной способности зерноуборочных комбайнов.-Тракторы и

сельхозмашины, 1981, № 4.

3. Основные направления совершенствования рабочих органов и узлов зерноуборочных комбайнов. Обзорная информация. Серия "Сельскохозяйственные машины, агрегаты и узлы" / УНИИТЭИ тракторсельмаш, - М., 1977.

4. Повышение технического уровня зерноуборочных комбайнов (Анализ конструкций зарубежных зерноуборочных комбайнов). Серия "Сельскохозяйственные машины, агрегаты, узлы", вып. 8 / УНИИТЭИ тракторсельмаш, - М., 1981.

5. Бублик С.П. К вопросу сепарации грубого вороха. - В сб. трудов по земледельческой механике, т. У1. - Л.: Сельхозиздат, 1961.

Инженер В.И.Пахомов

О ПРОЦЕССЕ СУШКИ ЗЕРНА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ^х

Известно множество методов и приемов сушки, которые классифицируются по способу передачи тепла просушиваемому зерну: конвективный, контактный (сорбционный), вакуумный, радиационный, сушка в поле тока: высокой (ТВЧ) и сверхвысокой (СВЧ) частоты и другие. Среди них давно внимание исследователей привлекает метод сушки с помощью энергии ТВЧ- и СВЧ-колебаний, который обеспечивает высокое качество протекания технологического процесса сушки, уничтожение насекомых-вредителей, их личинок, гнилостных бактерий и экономит нефтепродукты. Появление в настоящее время мощных и дешевых источников сверхвысокочастотной энергии делает этот метод сушки весьма перспективным.

В связи с этим необходимо выяснить преимущества и недостатки, электрофизические особенности высокочастотной сушки зерна в сравнении с традиционными методами сушки и установить основные закономерности тепло-влажностного переноса.

Тепло-влажностный перенос при сушке зерна любым известным методом подчиняется общим законам тепло-массопереноса и является его частным случаем. Теоретической основой для них служит единая теория тепло-массообмена. Для изучения

^х Удостоена поощрения на конференции молодых ученых ВНИПТИМЭСХ

процесса сушки с помощью энергии ТВЧ- и СВЧ-колебаний необходимо также применить теорию электромагнитного поля. На основе этих теорий процессы переноса теплоты и влаги в зерне, а также электрофизические особенности сушки могут быть описаны аналитически. Такое описание позволяет определить температуру и влагосодержание в любой точке зерна или зернового слоя в любой момент времени, найти их градиенты и изменения во времени, рассчитать плотность потоков теплоты и влаги, прогнозировать дальнейшее развитие этих процессов.

Вместе с тем при математическом описании процессов тепло-влажностного обмена в зерне и зерновом слое возникают определенные трудности, так как зерно неоднородно по структуре и составу. Вследствие этого различные участки зерна имеют различные физические свойства, которые в свою очередь зависят от сорта, влажности и температуры зерна. Кроме того, зерно имеет сложную геометрическую форму, а зерновой слой представляет собой дисперсную среду, в которой зерновки ориентированы в пространстве произвольно. В таких условиях математическое описание процессов переноса теплоты и влаги представляется очень сложным. Поэтому при решении указанной задачи необходимо принять некоторые допущения.

Условимся, что отдельно рассматриваемое зерно представляет собой однородное тело с определенными, средними для всей зерновой массы физическими свойствами: удельной теплоемкостью, теплопроводностью, температуропроводностью, коэффициентом теплоусвоения (тепловой активности), диэлектрической проницаемостью и т.д. Кроме того, будем считать, что задача сушки заключается прежде всего в снижении влажности до кондиционной, т.е. по классификации форм связи влаги в зерне, предложенной П.А. Ребиндером, сводится к удалению свободной механически связанной влаги.

Для оценки высокочастотного метода сушки зерна сравним его с наиболее распространенным и хорошо изученным конвективным методом, который заключается в испарении влаги с поверхности зерна в окружающую газовую среду. При этом вначале, разумеется, необходим перенос этой влаги из цен-

тра зерна на его поверхность. Теплоту, необходимую для испарения влаги, подводит к зерну нагретый газ - смесь воздуха и топочных газов. Он также выполняет функции влагопоглотителя.

Теплота, подводимая нагретым газом, расходуется не только на испарение влаги, но и для нагрева ее до температуры испарения, перегрева образующегося пара и, наконец, для нагрева самого зерна, без которого невозможен нагрев влаги.

Таким образом, конвективная сушка включает комплекс одновременно протекающих и влияющих друг на друга процессов: перенос теплоты от агента сушки к зерну через его поверхность, перенос влаги внутри зерна, испарение влаги, перенос влаги с поверхности зерна в среду сушильной камеры. Механизм удаления влаги из зерна при сушке схематично может быть представлен следующим образом (рис.1).

Обязательное условие процесса удаления влаги при этом способе сушки: $P_3 > P_c$; $t_3 < t_c$.

При конвективной сушке зерновку обтекает агент сушки. При этом у ее поверхности образуется так называемый пограничный слой, через который происходит передача теплоты от агента сушки к поверхности зерновки и диффузия молекул пара с поверхности в окружающую среду.

Пограничный слой создает дополнительное сопротивление при удалении влаги из зерна, и его параметры (толщина, температура) оказывают большое влияние на весь процесс сушки. В пограничном слое градиенты скорости и температуры агента сушки направлены от поверхности зерновки, а градиент парциального давления пара - в обратную сторону по отношению к направлению градиентов скорости и температуры. Сушка зерна с помощью ТВЧ- и СВЧ-колебаний по сравнению с конвективной сушкой создает значительно лучшие условия протекания процесса.

Очевидно, что в данном случае имеет место диэлектрический нагрев. Упрощенно механизм удаления влаги при высокочастотной сушке зерна можно представить так (рис.2).

Условие процесса удаления влаги при этом способе сушки: $P_3 > P_B$; $t_3 > t_B$.

Из рис.2 видно, что при сушке зерна с помощью энергии ТВЧ- и СВЧ-колебаний на протяжении всего процесса

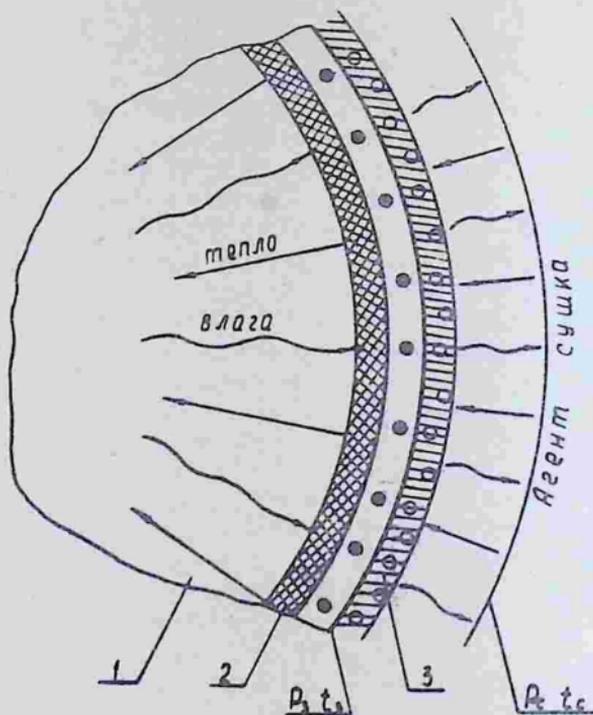


Рис. 1. Схема механизма удаления влаги при конвективной сушке:

1—зерновка; 2—пограничный слой; 3—зона испарения;
 $P_c; t_c$ — парциальное давление и температура агента сушки; $P_s; t_s$ — парциальное давление и температура у поверхности зерновки

создаются положительные градиенты температуры и влагосодержания (температура и давление в центре семян выше, чем на поверхности).

Общая интенсивность процесса сушки многими исследователями выражается следующим соотношением:

$$j = \alpha_m \rho_3 (\nabla U + \delta \nabla Q), \quad (1)$$

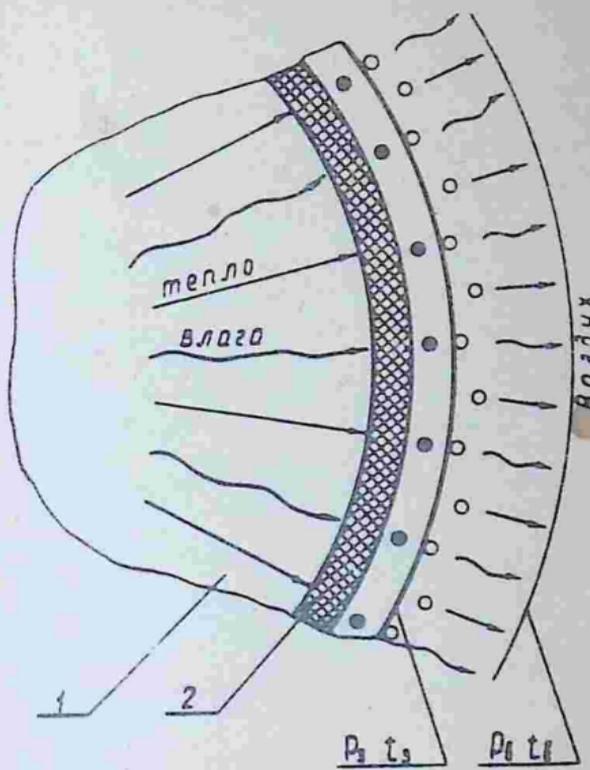


Рис. 2. Схема механизма удаления влаги при сушке зерна высокочастотным методом:
 1-зерновка; 2-зона испарения; $P_0; t_0$ -парциальное давление и температура воздуха (или другой окружающей газовой среды); $P_s; t_s$ -парциальное давление и температура у поверхности зерновки

где Q_m - потенциалопроводность влаги, характеризующаяся передаем влагосодержания от поверхности зерна к окружающей среде (газовоздушной смеси), а также в различных частях отдельной зерновки;
 ρ_s - плотность зерна; δ - термоградиентный коэффициент; $\nabla U, \nabla Q$ - градиенты влагосодержания и температуры.

Из /1/ следует, что для ускорения процесса сушки необходимо стремиться к тому, чтобы градиент влагосодержания ∇U и градиент температуры ∇Q совпадали и были направлены к центру зерна. Кроме того, несовпадение градиентов при сушке способствует появлению термических и объемных напряжений. Эти напряжения приводят к ухудшению качества зерна - образованию трещин, раскалыванию, снижению выхода целой крупы и т.д.

Следовательно, если в общеизвестных системах сушки эффективность сушки довольно низкая и качество просушиваемого продукта ухудшается из-за повышенных температур теплоносителя при относительно коротком периоде сушки или при средних температурах за продолжительный период сушки, а также из-за встречных градиентов влагосодержания и температуры, то при сушке энергией ТВЧ- и СВЧ-колебаний этого не происходит, так как сушку можно производить при относительно невысоких температурах и совпадающих положительных градиентах.

Для выяснения электрофизической сущности процесса высокочастотной сушки и выявления его основных закономерностей необходимо определить, какими физическими свойствами обладает материал обрабатываемого влажного зерна.

Известно /1,2/, что многие вещества в электрических полях одной частоты ведут себя как полупроводники или даже проводники, а в полях другой частоты - как диэлектрики. Однако с ростом частоты поля вещества приобретают свойства идеальных диэлектриков. Например, морская вода при частоте 10^2-10^5 Гц является еще довольно хорошим проводником, а уже при частоте 10^{11} Гц ее можно отнести к диэлектрикам.

Для сушки зерна предполагается использовать сверхвысокие частоты. Большинство СВЧ-установок в нашей стране работают на частотах 915 и 2375 МГц. Из оценки свойств среды можно считать, что влажное зерно, подвергающееся тепловой обработке переменным полем при данных частотах, будет иметь ярко выраженные свойства диэлектрика. Следовательно, физическая сущность процесса сушки зерна высокочастотной энергией заключается в том, что под действием высокочастотного электрического поля в материале воз-

никают токи проводимости и токи смещения, которые обуславливают "молекулярное" трение между частицами при их движении и ориентации, т.е. смещении в электрическом поле. Нагрев материала обеспечивается совокупностью обоих явлений. Исходя из этого, можно рассчитать удельную активную мощность W , выделяющуюся в виде тепла в единице объема данного материала (Вт/см^2):

$$W = 0,555 \varepsilon'' f E^2 \cdot 10^{-12}, \quad (2)$$

где f - частота электрического поля, Гц; E - напряженность электрического поля, В/см; ε'' - мнимая составляющая комплексной диэлектрической проницаемости.

Здесь комплексная диэлектрическая проницаемость формально выполняет функцию диэлектрической проницаемости. Она характеризует мощность удельных источников тепла при заданной напряженности и в соответствии с терминологией, заимствованной из электроизоляционной техники, называется коэффициентом потерь (иногда в литературе обозначается буквой K).

Таким образом, в формулу (2), выражающую удельную мощность тепловых потерь, входят параметры, характеризующие электромагнитное поле (частота f и напряженность E) и физические свойства помещенного в него материала (диэлектрическая проницаемость ε'').

Нетрудно заметить, что чем больше диэлектрическая проницаемость обрабатываемого материала, тем больше мощность, выделяемая в нем в виде тепла.

Диэлектрические свойства зерна зависят от его сорта (культуры), влажности и температуры. Известна [3] следующая эмпирическая зависимость диэлектрической проницаемости зерна пшеницы от его влажности.

$$\varepsilon = 2,719\alpha + \beta\omega,$$

где ω - влажность пшеницы, % (в пределах от 11 до 26%); α, β - постоянные коэффициенты, зависящие от сорта пшеницы.

Она получена для частот электрического поля в пределах до 20 МГц, данные же о верности ее при частотах

порядка 915 и 2375 МГц отсутствуют. Однако аналитически можно доказать и объяснить, что характер зависимости

$\epsilon = f(\omega)$ сохранится. Для этого надо представить влажное зерно как неоднородное тело, состоящее из двух компонентов: сухое вещество и влага. Исследованиями /1,2/ установлено, что вода имеет диэлектрическую проницаемость в несколько раз большую, чем сухое зерно. Следовательно, при увеличении количества влаги в зерне общая (или средняя) диэлектрическая проницаемость будет расти.

Учитывая /2/, можно также сделать еще один важный вывод - при высокочастотной сушке зерна микроволны сильнее возбуждают молекулы воды, содержащейся в зерне, в сравнении с молекулами других веществ. Следовательно, во-первых, энергия ТВЧ- и СВЧ-колебаний будет в основном воздействовать на влагу в зерне, а, во-вторых, сушка будет происходить дифференцированно - более влажное зерно в общей массе будет получать большее количество энергии, менее влажное - меньшее.

Количество тепла, сообщенное материалу токами высокой или сверхвысокой частоты, расходуется на его нагрев и на испарение влаги.

Удельная мощность, расходуемая на нагрев при заданной скорости нагрева, равна (Вт/см³):

$$P_n = 418dc \frac{\Delta T}{\Delta \tau}, \quad (3)$$

где d - удельный вес образца; c - его теплоемкость; ΔT - приращение температуры в единицу времени $\Delta \tau$ (°C/c).

Удельная мощность, расходуемая на испарение, определится из выражения:

$$P_u = 418r \frac{\Delta M}{\Delta \tau}, \quad (4)$$

где r - скрытая теплота испарения; ΔM - удельная потеря влаги за промежуток времени $\Delta \tau$ (см³/c).

Тогда удельная мощность (Вт/см³), расходуемая при высокочастотной сушке, будет определяться как

$$P_c = P_n + P_u = 418 \left(dc \frac{\Delta T}{\Delta \tau} + r \frac{\Delta M}{\Delta \tau} \right). \quad (5)$$

Учитывая формулу (2), получим:

$$dc \frac{\Delta T}{\Delta t} + r \frac{\Delta M}{\Delta t} = 1,33 \cdot 10^{-15} \varepsilon'' f E^2 \eta, \quad (6)$$

где η - тепловой КПД процесса.

Полученная формула (6) устанавливает зависимость между интенсивностью теплообмена ($\frac{\Delta T}{\Delta t}$ и $\frac{\Delta M}{\Delta t}$) и параметрами электрического поля (f и E). Из нее следует, что ускорит процесс зерносушения можно, увеличив частоту электрического поля. Это подтверждает предположение о возможности использования для сушки зерна ряда частот в дециметровом диапазоне (915 и 2875 МГц).

Кроме того, формула (6) позволяет при известных значениях ε'' и f для обрабатываемого продукта определить напряженность электрического поля при заданном технологическом режиме. Или же, иначе говоря, выбирая напряженность поля (т.е. мощность источника), можно добиваться соблюдения или выдерживания того или иного необходимого технологического режима.

Проведенные аналитические исследования процесса сушки зерна энергией СВЧ-колебаний позволяют сделать следующие выводы и предложения:

1. Сушка зерна энергией СВЧ-колебаний по сравнению с распространенными методами сушки (в т.ч. конвективным) позволяет:

- а) значительно интенсифицировать процесс зерносушения;
- б) проводить сушение при более низких температурах и при положительных совпадающих градиентах теплообмена и температуры, что в свою очередь уменьшает возникновение термических и объемных напряжений и существенно повышает качество просушиваемого продукта;
- в) обеспечить более равномерный нагрев зернового слоя в сушильной камере;
- г) производить сушку зерна дифференцированно (избирательно): более влажное зерно получает большее количество энергии, менее влажное - меньшее;
- д) легко соблюдать необходимый технологический режим.

2. Для интенсификации процесса зерносушения необходимо использовать сверхвысокие частоты (например, 915 и

3. Мягкие режимы сушки и отсутствие при этом встречных градиентов температуры и влагообмена позволяют рекомендовать метод высокочастотной сушки для обработки семян ценных сортов и культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нётушил А.В. и др. Высокочастотный нагрев в электрическом поле. - М.: Высшая школа, 1961.
2. Некрутман С.В. Тепловая обработка пищевых продуктов в электрическом поле сверхвысокой частоты. - М., 1972.
3. Гержой А.П., В.Ф.Самочетов. Зерносушение и зерносушилки. - М.: Колос, 1967.

Кандидат технических наук
П.А.Чапский

ОРГАНИЗАЦИЯ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ КОРМОПРОИЗВОДСТВА

Несмотря на то, что в колхозах и совхозах за последние годы повысился уровень механизации работ, внедряются прогрессивные технологии заготовки и хранения кормов, получает распространение внутрихозяйственная специализация и концентрация, внедряются прогрессивные формы высокопроизводительного использования техники, кормопроизводству подавляющего большинства хозяйств все еще присущи серьезные недостатки. Производством кормов в хозяйствах заняты многоотраслевые подразделения, слабо заинтересованные в улучшении качества производимых кормов и наиболее эффективным их хранении. Зачастую отсутствует единое руководство кормопроизводством, не выделены специалисты, несущие персональную ответственность за соблюдение агротехники возделывания кормовых культур, заготовку кормов необходимого ассортимента и качества. Для возделывания кормовых культур нередко отводятся малоценные земли, при этом не осуществляются мероприятия по их улучшению. Производство кормов в полевых севооборотах не всегда сопровождается высоким качеством работ, соблюдением агротех-

нических приемов, учитывающих специфику возделывания и уборки кормовых культур. Нарушаются сроки использования кормовых культур, не всегда соблюдаются требования технологии заготовки и хранения кормов, что приводит к их значительным потерям. Достаточно отметить, что по результатам ряда проверок в хозяйствах Ростовской области сено III класса и неклассное составило 48%, силос - 46%, сенаж - 57%, неклассная травяная мука - 19%.

Сказанное убедительно свидетельствует о том, что назрела настоятельная потребность в поиске новых рациональных форм организации труда в кормопроизводстве, создании в хозяйствах четко функционирующей системы кормопроизводства, придании этой отрасли специализированного характера.

Комплексная система кормопроизводства, основными задачами которой являются равномерное и бесперебойное обеспечение поголовья животных полноценными кормами, последовательное снижение затрат труда и денежно-материальных средств на производство кормов за счет применения прогрессивных технологий заготовки, хранения и приготовления кормов к скармливанию, наиболее рациональное использование земли и побочной продукции растениеводства, охватывает весь круг организационных, технологических и технических вопросов от возделывания кормовых культур до подготовки выдаваемых к скармливанию кормов и основывается на специализированных кормовых и полевых севооборотах. Система включает необходимые средства механизации по возделыванию и уборке кормовых культур и заготовке кормовых фракций зерновых в виде специализированных комплексов переработки продуктов полеводства, транспортные и вспомогательные подсистемы и подсистему управления.

Вопрос о месте и размерах кормопроизводства как специализированной отрасли хозяйства решается с учетом производственной структуры предприятия и его специализации.

В специализированных скотоводческих хозяйствах кормопроизводство должно основываться на использовании специально создаваемых достаточно крупных по площади кормовых севооборотов. Основу отрасли составляют бригады,

за которыми закрепляют землю и необходимую сельскохозяйственную технику. Постоянный состав механизаторов этих подразделений должен обеспечивать выполнение основных операций по возделыванию кормовых культур и уходные работы за естественными сенокосами и пастбищами в оптимальные сроки.

В многоотраслевых хозяйствах организация кормопроизводства может осуществляться по двум направлениям. В хозяйствах с компактным расположением животноводческих ферм и населенных пунктов, а также в небольших по размеру хозяйствах с развитым животноводством и хорошими дорогами целесообразно на базе одного из существующих подразделений организовать специализированный цех кормопроизводства с хранением кормов на одном кормовом дворе. В колхозах и совхозах, где отсутствует такая возможность, организация кормопроизводства осуществляется путем создания специализированных звеньев в составе комплексных (многоотраслевых) подразделений.

Специализация подразделений на производстве кормов включает возделывания в них зерновых и технических культур, хотя и в уменьшенных размерах. Кроме того, для соблюдения рациональных севооборотов часть кормовых культур возделывают в подразделениях, где главные культуры — зерновые. Особенно это относится к кукурузе, выращиваемой на силос, так как она является хорошим предшественником озимой пшеницы.

Дополнительным источником кормов в этих хозяйствах является побочная продукция растениеводства: солома и полова зерновых; стебли кукурузы и сорго, убираемых на зерно; ботва огородных и бахчевых культур; отходы очистки зерновых и технических культур.

При наличии определенных условий на основе межхозяйственной кооперации создаются специализированные предприятия по производству кормов. Их работа подчиняется решению одной задачи — обеспечить скотоводческие комплексы зелеными и сочными кормами, сухими стандартизованными кормосмесями, травяной мукой. В структуре севооборотов таких хозяйств посевы кормовых культур составляют от 85 до 95% всей пашни. Кормовой двор хозяйства дол-

жен иметь хранилища для готовых кормов и сырья, высокопроизводительный кормоцех.

Кормопроизводство как специализированная отрасль (цех кормопроизводства) должна включать в себя следующие управленческие и технологические элементы: центральный аппарат управления с лабораторным пунктом контроля технологического процесса заготовки кормов; аппарат управления в подразделениях с группой учета; механизированные звенья по выращиванию кормовых культур и уходу за естественными кормовыми угодьями; звено технического обслуживания; кормовой двор. На период уборки в составе механизированных звеньев создают уборочно-транспортные комплексы, дополнительно комплектуемые транспортными средствами и рабочей силой из других отраслей и служб хозяйства.

Важным элементом отрасли является кормовой двор, предназначенный для переработки побочных продуктов растениеводства, хранения, приготовления и раздачи кормов животным. Состав производственных объектов его должен соответствовать специализации хозяйства. Так, в многоотраслевых животноводческих хозяйствах в состав кормового двора должны входить цеха по производству кормов искусственной сушки (рассыпных, гранулированных и брикетированных), кормосмесей для свиней, площадка для измельчения грубых кормов. Кормовые дворы молочнотоварной и скотооткормочной ферм в качестве основного производственного объекта должны иметь цех сухих и влажных кормосмесей или (при использовании мобильных раздатчиков-смесителей) площадку для измельчения грубых кормов. Общими для всех типов кормовых дворов являются: площадки для хранения грубых кормов; половохранилища; хранилища сочных кормов; склады сухих кормов; объекты вспомогательного назначения.

Грубые и сочные корма на кормовой двор доставляют и закладывают на хранение транспортные звенья соответствующих уборочно-транспортных комплексов.

Работа на кормовом дворе организуется по звеньевому принципу, для чего в состав его включаются звенья по производству кормов искусственной сушки, по подготовке кормов к скармливанию и транспортное звено.

Звено по производству кормов искусственной сушки перерабатывает сырье кормовых культур и побочную продукцию возделывания зерновых, подсолнечника, овощных и бахчевых культур, осуществляет гранулирование и брикетирование кормов.

Звено по подготовке кормов к скармливанию готовит сухие и влажные кормосмеси.

Транспортные звенья осуществляют скашивание, транспортировку, раздачу животным зеленой массы, а также доставку к фермам и раздачу скоту силоса, сена, сенажа, соломы, кормосмесей из кормоцехов и подстилки. Силами звена осуществляется также скашивание и доставка к высокотемпературным сушилкам зеленой массы сеяных и естественных трав. Звено доставляет и закладывает на хранение готовую продукцию из цеха по приготовлению травяной муки и гранулированных и брикетированных кормов. Для выполнения указанных работ транспортные звенья оснащают тракторами, погрузочными средствами, тракторными прицепами, машинами для скашивания зеленой массы и другой техникой, необходимой для забора кормов из хранилищ и кормоцехов и доставки их животным.

Служба управления качеством кормов включает лабораторный пункт контроля технологического процесса заготовки кормов и постоянно действующие комиссии по качеству.

Лабораторный пункт на основании производимых им экспресс-анализов обеспечивает постоянный контроль за соблюдением основных технологических требований при заготовке кормов. О выявленных отклонениях от норм сообщается руководителю отрасли либо начальнику уборочно-транспортного комплекса в целях оперативного принятия необходимых мер, предотвращающих снижение качества корма. Для этого пункт оснащают необходимым оборудованием: влагомерами травяной муки ВТМ-1, сушильными шкафами или влагомерами ВНИИХП-ВЧ, техническими весами, бюксами, прибором Неслеровой для определения содержания каротина и др.

При закладке фуража на хранение лабораторный пункт отбирает и отправляет соответствующим районным организациям пробы кормов для их химического анализа и определения питательной ценности.

Руководство кормопроизводством осуществляет назначаемый приказом директора совхоза или решением правления колхоза заместитель руководителя хозяйства. В его подчинении находятся специалисты кормопроизводящей отрасли хозяйства, руководители бригад и звеньев по возделыванию и уборке кормовых культур, начальники уборочно-транспортных комплексов (отрядов) по заготовке кормов, заведующие кормовыми дворами, начальники кормоприготовительных цехов, заведующий лабораторным пунктом контроля технологического процесса заготовки кормов.

Заместитель руководителя хозяйства по кормопроизводству организует: плановое производство высокопитательных кормов (сена многолетних и однолетних трав, сенажа травяной муки, гороха, сои, силоса, кормовых корнеплодов); изготовление гранулированных и брикетированных кормов из выращиваемых кормовых культур и побочной продукции растениеводства; заготовку необходимого количества полвы и соломы для кормовых целей и подстилки; создание 30-50%-ного страхового запаса сочных и грубых кормов; выращивание семян кормовых культур, а также отвечает за качество кормов, выполнение показателей по себестоимости продукции и рентабельности товарной части кормов.

Агроном (технолог) отрасли разрабатывает рациональные технологические карты возделывания и уборки кормовых культур и осуществляет контроль за соблюдением технологии по переработке кормов.

В хозяйствах, где корма возделываются на орошении, вводится должность агронома-гидротехника, в обязанности которого входит рациональное расходование поливной воды, соблюдение сроков и норм поливов и технологии возделывания кормовых культур на орошаемых участках.

Контроль за правильным расходованием денежно-материальных средств в отрасли осуществляет бухгалтер. В его обязанности входит организация учета по оприходованию и выдаче кормов, организация учета затрат труда в отрасли, начисление заработной платы.

В обязанности заведующего кормовым двором входит ведение учета количества и качества поступающих на хра-

нение кормов; в период заготовки кормов ежедневное информирование начальника уборочно-транспортного комплекса о количестве заготавливаемого корма; организации работы звеньев кормового двора.

Основной формой текущего планирования кормопроизводства является производственно-финансовый план хозяйства. Управление работой звеньев и уборочно-транспортных комплексов по заготовке кормов осуществляется на основе рабочих планов, составляемых на каждый период сельскохозяйственных работ, планов-нарядов и планов-маршрутов передвижения агрегатов по полям хозяйства в соответствии с перемещением общего фронта уборочных работ.

В основу планирования работ по заготовке кормов должен быть положен выбор рациональной технологии и комплекса машин для ее выполнения. Комплекс машин для заготовки рассыпного сена в производственном подразделении хозяйства с объемом сеноуборочных работ 200 га должен состоять из 2 косилок-плющилок КПС-5Г (Е-301), 2 подборщиков-копнителей ПК-1,6А в агрегате с тракторами МТЗ-8С, 6-7 тракторных прицепов 2ПТС-4 с кузовом емкостью 40 м³, 2 универсальных погрузчиков ПФ-0,5 и 6-8 вентиляционных установок для досушивания сена.

Комплекс машин для заготовки сидоса должен включать 2 звена из 3 силосоуборочных комбайнов КСС-2,6, каждый из которых обслуживают 4 автомобиля ГАЗ-53Б. При заготовке сенажа в состав звена вводятся 2 косилки-плющилки КПС-5Г, 2 кормоуборочных комбайна КСК-100 и 5-6 тракторных прицепов ПСЕ-12,5.

Потребность в технике звеньев по переработке сырья с помощью высокотемпературных сушилок и по приготовлению кормов к скармливанию определяется на основании нормативных данных.

В заключение можно остановиться на опыте передовых хозяйств Ростовской области, успешно осваивающих систему кормопроизводства.

Основным источником кормов в ОПХ ВНИПТИМЭСХ является полевое кормопроизводство: под посевами кормовых культур здесь занято 22% пашни. Для полного обеспечения

кормами молочнотоварной и откормочной ферм хозяйство заготавливает 1500 т сена, 600 т сенажа, 1700 т кормовой соломы, 7300 т силоса, 2900 т кормовых корнеплодов и 300 т травяной муки. Основные посевы кормовых культур сконцентрированы в севообороте 1 бригады.

С 1976 года заготовка кормов в хозяйстве производится уборочно-транспортным комплексом, в составе которого организуются звенья по заготовке сена и сенажа, силоса и кормовой соломы.

Техническое обслуживание машин комплекса производится звеном технического обслуживания инженерной службы хозяйства.

Кормовой двор молочнотоварной фермы хозяйства включает универсальный цех для приготовления жидких, влажных и запариваемых кормов производительностью 30 т в смену с механизированным складом зернофуража на 1000 т, четырех башни "Витковице" для хранения сенажа и зернофуража, силосохранилище емкостью 3000 т, площадки для хранения сена, оборудованные вентиляционными установками для досушивания травы, а также для хранения соломы, половы, корнеклубнеплодов. На кормовом дворе фермы по откорму крупного рогатого скота сооружен цех для приготовления рассыпных кормосмесей производительностью 20 т/ч.

Четкое взаимодействие звеньев уборочно-транспортного комплекса и кормового двора хозяйства в период проведения уборочных работ позволяет ему при строгом соблюдении требований технологии ежедневно закладывать на хранение до 70-80 тонн высококачественного сена (75% заготовленного сена обычно соответствует стандарту первого класса).

Заслуживает внимания опыт организации кормового хозяйства в колхозе имени Лукашина Мясниковского района.

Кормовой двор колхоза включает наземные бетонированные хранилища для силоса и сенажа емкостью до 12 тыс. т, площадки для хранения сена и других грубых кормов, позволяющие складировать до 4 тыс. т сена, два корнеплодохранилища емкостью по 8 тыс. т каждое, универсальный цех по производству гранулированных и брикетированных кормов, цех по приготовлению рассыпных кормосмесей производитель-

ностью 20 т/ч. Территория двора огорожена. Взвешивание поступающих на хранение кормов производится на весовой, расположенной на территории механизированного тока, прилегающего к кормовому двору. Заготовкой кормов в хозяйстве, закладкой их на хранение и доставкой кормов на фермы занимается специализированная бригада, за которой закреплены необходимые кормозаготовительные машины и транспортные средства.

Предварительные расчеты и опыт хозяйств по использованию элементов внутрихозяйственной системы кормопроизводства показывают, что применение ее позволяет повысить производительность уборочных агрегатов на 10-15%, за счет внедрения системы управления качеством и организации надлежащего хранения кормов снизить потери их на 20-30% и на 27-30% уменьшить затраты труда на заготовку, хранение и приготовление кормов.

Кандидат технических наук
П.А. Чапский,
инженер М.Л. Новиков

К ОБОСНОВАНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА ПРИ ДОСУШИВАНИИ СЕНА АКТИВНЫМ ВЕНТИЛИРОВАНИЕМ

Анализ технико-экономических показателей операций технологического процесса приготовления сена показывает, что наиболее дорогостоящей (до 60% общих эксплуатационных затрат) и трудоемкой (до 58% удельных затрат труда) является операция досушивания сена активным вентилированием ввиду низкой производительности используемого оборудования. Повысить влагопоглощательную способность воздуха, а следовательно и производительность вентиляционного оборудования, позволяет подогрев используемого для сушки атмосферного воздуха. Подогрев воздуха до 30°C сокращает время досушивания сена в 2 раза, до 40°C - в 2,7 раза /1/. При этом повышается и качество заготавливаемого корма: содержание кормовых единиц в 1 кг сена, досушенного подогретым воз-

духом, увеличивается на 13%, переваримость корма возрастает с 58,4 до 61,4% /2/.

Однако подогрев воздуха при существующих нормах расхода воздуха на сушку требует значительных затрат тепла и энергии. Поэтому необходим обоснованный выбор рациональной величины подогрева воздуха и устройства для его осуществления, обеспечивающих экономический эффект в условиях зоны Северного Кавказа, позволяющих вести досушку сена и неподогретым воздухом.

Выбор оптимальной температуры подогрева воздуха при досушивании сена активным вентилированием проведен на основании сопоставления затрат средств на приготовление 1 т сухого сена с использованием J-d - диаграммы состояния влажного воздуха для средних (за май-июнь 1945-1981 гг.) значений суточной температуры и влажности воздуха при следующих режимах сушки:

- вентилирование неподогретым воздухом в течение суток;
- вентилирование в ночные часы неподогретым воздухом, в дневные часы суток - подогретым на 5, 10 и 15°C воздухом (вариант прямого подогрева подаваемого на сушку воздуха);
- вентилирование в ночные часы суток подогретым воздухом, в дневные часы - неподогретым воздухом (вариант с аккумулярованием тепла).

Анализируя полученные данные (табл. 1), можно отметить, что подогрев используемого для сушки воздуха в дневные часы суток на 5 и 10°C обеспечивает повышение производительности вентиляционной установки соответственно на 20,8 и 58,8% в сравнении с сушкой неподогретым воздухом. При этом прирост производительности на каждые 5°C подогрева воздуха составляет 20,8 и 37,5%. При увеличении температуры подогрева воздуха до 15°C величина прироста производительности установки остается на уровне 37,5%.

Расход электрической энергии на вентилирование сена воздухом, подогретым на 10°C, снижается на 35% в сравнении с сушкой неподогретым воздухом, а при подогреве на 15°C - на 48,8%. При этом наибольшая интенсивность снижения расхода электроэнергии (4%/°C) наблюдается в интер-

Таблица 1

Режим сушки сена	Показатели режимов сушки сена подогретым воздухом									
	Подогрев воздуха, °С	Влажность воздуха, Г/кг	Продолжительность вентиляции, часов, т/ч	Расход электроэнергии на вентиляцию, кВт-ч/т	Расход тепла на досушивание сена, ккал/т (жал/ч)	Эксплуатационные затраты (без затрат на подогрев воздуха), руб/т	Стоимость электроэнергии на подогрев воздуха, руб/т			
Неподогретым воздухом	0	1,51	0,24	59,60	0	3,15	0			
Подогретым воздухом в дневные часы суток	5	2,11	0,29	50,60	208713 (60527)	2,62	2,42			
	10	2,76	0,38	38,70	332429 (126328)	2,01	3,85			
Подогре- тым воз- духом в ночные часы суток:	15	3,41	0,47	31,30	376762 (177078)	1,62	4,36			
средневе- шней суточ- ный потен- циал сушки в среднем взвешенному дневному	5,6	2,24	0,31	47,30	219539 (68057)	2,46	2,54			

Продолжение таблицы 1

Режим сушки сена	Подогрев воздуха, °С	Влагодобываемая способность воздуха, г/кг	Производительность вентиляционной установки, ки, т/ч	Расход энергии на вентиляцию, кВт-ч/т	Расход тепла на досушивание сена, ккал/т (ккал/ч)	Эксплуатационные затраты (без затрат на подогрев воздуха), руб/т	Стоимость электроэнергии на подогрев воздуха, руб/т
------------------	----------------------	---	--	---------------------------------------	---	--	---

средневзвешен-

ный суточный

потенциал суш-

ки равен мак-

симальному

дневному

7,9

2,80

0,98

37,80

249100
(94658)

2,00

2,88

вале величин подогрева воздуха от 5 до 10°C. При дальнейшем подогреве (от 10 до 15°C) интенсивность снижения расхода электроэнергии уменьшается до 2,6% на 1°C.

Эксплуатационные издержки на досушивание сена (без учета затрат на подогрев воздуха) снижаются на 36,2% при использовании подогретого на 10°C воздуха и на 48,6% — при сушке его воздухом, подогретым на 15°C. При этом наибольшая интенсивность снижения издержек наблюдается в интервале величин подогрева воздуха на 5 и 10° (соответственно 3,4 и 3,6% на 1°C). При дальнейшем подогреве воздуха в интервале 10–15°C интенсивность снижения издержек замедляется (3,2% на 1°C).

Следует также отметить, что названное повышение производительности вентиляционной установки обеспечивается значительным увеличением расхода тепла. Так, при подогреве используемого для сушки воздуха с 5 до 10°C расход тепла на 1 т сена увеличивается в 1,59 раза, а при подогреве до 15°C — в 1,81 раза. Если в качестве источника тепла использовать электрическую энергию, то при подогреве воздуха на 5°C затраты на электроэнергию становятся соизмеримыми с остальной частью эксплуатационных издержек на досушивание сена. При подогреве воздуха на 10°C затраты на электроэнергию для подогрева уже почти вдвое превышают остальную часть эксплуатационных издержек, а при подогреве на 15°C они составляют 73% суммарных эксплуатационных затрат на сушку сена.

Подогрев воздуха в ночные часы суток (с 21 до 9 часов) на 5,6 и 7,9°C с целью вывести среднесуточную влагопоглощательную способность воздуха на уровень средневзвешенной дневной или максимальной дневной заметных преимуществ в сравнении с прямым подогревом воздуха в дневные часы ни по производительности, ни по эксплуатационным издержкам не дает.

Таким образом, рациональной величиной подогрева подаваемого на сушку воздуха в дневные часы суток является подогрев на 5–10°C относительно температуры окружающего воздуха. Следует отметить, что при повышенных температурах воздуха, помимо увеличения затрат на подогрев воз-

духа, ухудшается насыщение влагой отработавшего воздуха по мере подсыхания нижележащих слоев сена, сено высушивается до более низкой влажности, в верхних слоях сена возможна конденсация испаренной влаги, что может привести к развитию плесени /3/.

Выбор типа устройства к венти. дсионной устдновке УВС-10 для подогрева воздуха на 10°C произведен на основе сравнительных технико-экономических исследований процесса досушивания сена в скирдах влажностью 35% подогретым воздухом на примере производственного подразделения модельного хозяйства зерново-животноводческой подзоны Северо-Кавказского района РСФСР (табл. 2). В качестве подогревателей воздуха использованы устройства, использующие как традиционные источники энергии (электрокалорифер СФОА, воздухоподогреватель ВПТ-600), так и перспективные (эластичные солнечные коллекторы, солнечные коллекторы с жидким теплоносителем и аккумулятором тепла, солнечный пруд).

Таблица 2

Технико-экономические показатели вариантов сушки сена в скирде подогретым и неподогретым воздухом

Наименование показателей	Сушка неподогретым воздухом	Сушка подогретым воздухом с применением				
		эластичного коллектора	коллектора с жидким теплоносителем	солнечного пруда	калорифера СФОА-60/0,5-ТЦ-М2/1	воздухоподогревателя ВПТ-600
Эксплуатационные затраты, руб/т	2,25	1,81	21,33	4,07	3,09	3,78
Приведенные затраты, руб/т	2,97	2,53	34,55	5,26	3,63	4,06
Затраты труда, чел.-ч/т	0,74	0,46	2,31	2,31	0,46	0,46
Экономический эффект, руб/т	-	0,44	-31,58	-2,29	-0,66	-1,09

Анализируя показатели таблицы 2, можно отметить, что наиболее эффективным типом устройства для подогрева используемого для сушки сена воздуха являются эластичные солнечные коллекторы. Применение вентиляционных установок с такими подогревателями позволяет в сравнении с сушкой неподогретым воздухом снизить на 19,5% эксплуатационные затраты и на 37,8% затраты труда и получить годовой экономический эффект в сумме 136 руб. Экономический эффект от применения эластичного солнечного коллектора в сравнении с электрокалорифером СФОА и воздухоподогревателем ВПТ-600 составит соответственно 341 и 474 руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благовещенский Г.В. Производство и использование кормов на комплексах Нечерноземья. - М.: Россельхозиздат, 1978. - 188 с., ил.
2. Мамедов М.А. и др. Досушивание сена с применением пленочного солнечного коллектора. - Кормопроизводство, 1982, № 8, с. 8-9.
3. Вайткевичюс А.П. Исследование процесса досушивания пресованной травы активным вентилярованием подогретым воздухом. / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Минск, 1978. - 16 с.

Кандидаты технических наук
А.Д.Беспамятов, А.Л.Пономаренко, инженер
А.Г.Шураков

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БЛОКА СУШИЛКИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПУНКТА ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧАТКОВ КУКУРУЗЫ

В связи с ростом производства зерна кукурузы в стране большое значение приобретают прием, первичная обработка, правильное хранение зерна кукурузы и подготовка к посеву ее семян. Дело в том, что до 80% всей кукурузы, поступающей на хлебоприемные пункты и зерновые тока хозяйств, имеет влажность 35-40% и выше. Поэтому для обе-

спечения сохранности кукурузы важную роль играет ее сушка.

Методы сушки кукурузы в початках и в зерне имеют свои преимущества и недостатки.

Исследованиями Долинской опытной лаборатории ВНИИЗ установлено, что трещиноватость зерен после сушки и охлаждения доходит до 99%, а при сушке зерна в початках — только до 37,5% при температуре сушки 60–65°C /1/. При температуре сушки 50°C трещиноватость составляет соответственно 90,5% для зерна и 10,2% — при сушке в початках. Кроме того, значительные технологические повреждения наносят зерну кукурузы молотилки при обмолоте початков с влажностью выше 20–22%.

Поврежденные участки легко подвергаются поражению плесенью и микроорганизмами, что затрудняет условия хранения такого зерна и приводит к ухудшению его семенных и продовольственных качеств. Всхожесть семян с наружными повреждениями снижается до 75%. Следовательно, в технологическом отношении сушка кукурузы в початках оказывается более предпочтительной, так как обеспечиваются более мягкие условия нагрева сушки и охлаждения зерна. Немаловажное значение имеет также и то, что зародыш зерна спрятан внутри початка и не подвержен непосредственному воздействию повышенных температур.

В настоящее время для сушки початков кукурузы используются камерные сушилки коридорного или секционного типа. Общими недостатками этого типа сушилок являются: периодичность работы сушильных камер; малая производительность; низкий КПД по теплу; затрудненность разгрузки початков, связанная со спеканием их в процессе сушки; значительная доля ручного труда при загрузке и разгрузке початков; забивание вентиляционных отверстий днищ камер обрушью; неравномерность просушивания слоя початков, а значит, и неравномерная влажность высушенной кукурузы; большая высота загрузки и, как следствие, значительное травмирование зерна.

Эти сушилки располагают определенным резервом для повышения их производительности, экономичности и культуры производства. Однако достичь этого повышения можно в основном лишь в результате устранения технических не-

исправностей. Дальнейшее повышение производительности, экономичности и улучшение технологичности сушилок ограничено самим принципом их действия — периодической работой сушильных камер и невозможностью организовать последовательное движение воздуха более чем через 2—3 группы камер.

Существующие сушилки характеризуются также повышенным расходом топлива на сушку, что связано с большими потерями.

В последние годы у нас в стране и за рубежом ведутся работы в направлении создания сушилок непрерывного действия, основанных на принципе противотока. Благодаря противотоку поступающий в сушилку воздух соприкасается вначале с кукурузой низкой влажности (13—15%), и его температуру поэтому можно значительно повысить для товарного зерна даже до температуры 80—100°C и семенного — до 55—60°C. При этом значительно повышается скорость сушки и производительность сушилки при сохранении исходного качества зерна, сокращается продолжительность процесса.

Наличие противотока и возможность изменять толщину слоя початков позволяют достигнуть максимального насыщения сушильного агента влагой и коэффициента полезного действия сушилки.

Во ВНИПТИМЭСХ ведутся работы по созданию универсального пункта послеуборочной обработки початков кукурузы, который мог бы применяться во всех зонах, где занимаются выращиванием зерновой кукурузы. Основным рабочим органом таких пунктов является сушилка кукурузных початков, которая должна удовлетворять следующим требованиям: сохранение всхожести, энергии прорастания и других семенных свойств зерна кукурузы, предназначенного для посева;

обеспечение сохранности продовольственных качеств кукурузы, предназначенной для продовольственных целей;

предотвращение растрескивания и раскалывания зерна;

предотвращение нанесения зерну механических и других повреждений;

создание условий для равномерного просыхания всей

партии кукурузы;

интенсификация и экономичность процесса сушки.

Предлагаемая сушильная камера состоит из загрузочного и вентиляционных люков, транспортирующих полотен, приводной и натяжной станции, промежуточных секций, привода и рекуператора.

Сушильный блок универсального механизированного пункта послеуборочной обработки початков кукурузы (см. рисунок) представляет собой комплект оборудования, состоящий из теплогенератора 1, сушилки 2, транспортера 5 и бункера-накопителя 6.

Теплогенератор — серийный, типа ВПТ-600 (ТАУ-075).

Сушилка состоит из корпуса 7 с завальной горловиной и выгрузным окном. Внутри корпуса параллельно расположены три горизонтальных транспортера 4.

Транспортеры имеют электропривод и рабочие органы (транспортирующая лента), представляющие собой две параллельные цепи с закрепленными на них прутками, шаг прутков не более 20 мм. Корпус сушилки должен быть герметичным в целях уменьшения непроизводительных потерь воздуха. Воздух, последовательно проходя через транспортеры, направляется в рекуператор и, окончательно охлаждаясь, выбрасывается в атмосферу. В нижней части корпуса расположено окно, служащее для подвода подогретого воздуха.

Бункер-сушилка вмещает 25 тонн кукурузы в початках и предназначен для временного хранения и досушки початков. Бункер состоит из боковых решетчатых стенок и виброднища 1, предназначенного для ускоренной выгрузки початков. Виброднище имеет угол наклона 20° , установлено на демпфирующие опоры 3 и имеет по периметру зазор с боковыми стенками 10–20 мм. Во избежание просыпания кукурузы через образующуюся щель, она должна быть закрыта резиновой прокладкой. Генерация вибрации днища производится виброгенератором типа ИВ-15, ИВ-25.

Рабочий процесс сушильного блока заключается в следующем.

Очищенные початки через завальную горловину попадают на верхний транспортер сушилки и движутся на нем с

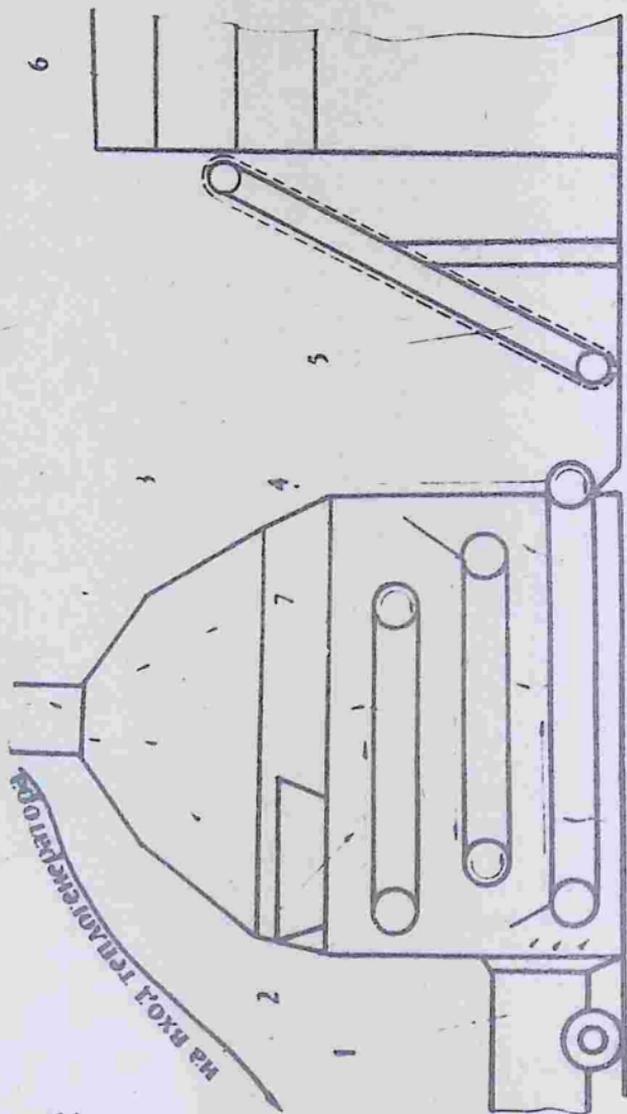


Схема сушильного блока универсального механизированного пункта послеуборочной обработки початков кукурузы:
 1 - теплогенератор; 2 - сушилка; 3 - воздухооборник; 4 - транспортеры;
 5 - транспортер цепочно-планчатый; 6 - бункер; 7 - корпус

определенной скоростью V_1 , одновременно продуваясь подогретым воздухом. С верхнего транспортера початки просыпаются на средний, а со среднего на нижний и с нижнего на выход.

Воздух теплогенератора подается под нижний транспортер и поднимается вверх, проходя через слои початков и подсушивая их. Отработанный воздух, проходя через рекуператор, выбрасывается в атмосферу, а подогретый в рекуператоре воздух подается во всасывающее сопло теплогенератора. Такое использование отработанного агента позволяет снизить расход топлива на 10-12%.

Початки, подсушенные до влажности 16-18%, подаются транспортером в бункер-сушилку, откуда, после съема 2-4% влаги, поступают в хранилище или в транспортное средство.

Обоснование основных параметров блока-сушилки проводили, исходя из количества V_1 нагретого воздуха, подаваемого воздухоподогревателем ВПТ-600, скорости фильтрации V воздуха и предельнодопустимой толщины H слоя загрузки материала, начальной ω_1^0 и конечной ω_2^0 влажности и экспозиции сушки τ раб.

Продолжительность сушки (экспозицию) определяли по формуле /1/:

$$\tau_{\text{ред.}} = \frac{H^{0,4} \rho'_{\text{поз.}}}{4,3 C_t C_{\omega} V^{0,7}} \cdot \frac{\omega_1^0 - \omega_2^0}{100 - \omega_2^0}, \text{ з,}$$

где C_t, C_{ω} - поправочные коэффициенты, учитывающие изменение скорости сушки в зависимости от температуры нагретого воздуха и влажности;

$\rho'_{\text{поз.}}$ - объемная масса початков, т/м³.

По данным /1/, значения $H, \rho'_{\text{поз.}}, C_t, C_{\omega}, V, \omega_1^0, \omega_2^0$ приняты соответственно равными 1,5, 0,5 т/м³; 1,15, 1,14, 0,4 м/с; 40 и 16%.

С учетом принятых значений экспозиция (τ раб) сушки получена равной 5 часам.

Исходя из количества V_1 нагретого воздуха, подаваемого воздухоподогревателем, и скорости V фильтрации воздуха, определили площадь S поперечного сечения сушилки:

$$S = \frac{V_1}{V} = \frac{50000}{1440} = 35 \text{ м}^2$$

Тогда рабочий объем сушильной камеры составит $V=SH=35 \cdot 1,5=52 \text{ м}^3$.

При $\rho'_{\text{поз}}=0,50 \text{ т/м}^3$ масса M_2 початков в сушильной камере составит 25 т.

С учетом экспозиции сушки початков и массы M_2 початков в сушильной камере определена производительность сушилки, равная

$$Q = \frac{M_2}{t_{\text{раб}}} = \frac{25}{5} = 5 \text{ т/ч}.$$

При сушке початков в насыпи процесс имеет свои особенности, т.е. початки просыхают послойно. По данным [1], вначале просыхает почти до равновесного состояния первый со стороны входа сушильного агента слой толщиной 0,4–0,8 м. По мере снижения его влажности начинает сохнуть следующий слой примерно такой же толщины, затем третий и т.д.

В течение всего времени, пока просыхают нижние слои, вышележащие слои не сохнут, а могут даже увлажниться.

Устранить этот недостаток представляется возможным, если сушку производить послойно в противопотоке воздуха и движущегося слоя.

Исходя из полученного поперечного сечения сушилки, принимаем длину транспортера, равную 20 м. Для того, чтобы масса початков высушивалась до влажности 16–18% за время экспозиции, равной 5 ч, скорость транспортеров должна быть равной $V_1 = \frac{l}{t_{\text{раб}}} = \frac{60}{5} = 12 \text{ м/ч}$, или 0,003 м/с.

Расчет экономической эффективности ленточной сушилки произведен в сравнении с пунктом послеуборочной обработки початков кукурузы при годовом объеме обработки початков в количестве 6000 т. Балансовая цена ленточной сушилки определена по сопоставимому весу с блоком бункеров-сушилок и равна 6000 руб.

Экономические показатели сравниваемых объектов определены по ГОСТ 23730-79 путем наложения на конкретное хозяйство (с-з "Северный" Сальского района Ростовской области).

Результаты расчетов представлены в таблице.

Удельные экономические показатели сравниваемых
объектов

Показатели	Сравниваемые объекты	
	базовый	новый
Удельные капиталовложения, руб/т	30,935	22,135
Удельные приведенные затраты, руб/т	3,006	2,373
Экономический эффект, руб/т	-	1,952
Срок окупаемости, лет	-	2,1

Таким образом, использование ленточной сушилки обеспечивает снижение капиталовложений на 13,5, приведенных затрат — на 13,1% и, кроме того, позволяет экономить около 1,1 кг дизельного топлива на каждой тонне высушенных початков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уколов В.С. Сушка кукурузы. — М.: Колос, 1964, — 303 с.

Кандидаты технических наук
А.А.Гончаров, В.В.Громак,
А.А.Климов

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ЗАПАСА МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРИ
СЛУЧАЙНЫХ НАГРУЗКАХ

Возрастающие требования к качеству функционирования электропривода в сельском хозяйстве обуславливают необходимость более широкого учета реально воздействующих на них факторов и ситуаций. Такая постановка вопроса требует определения обоснованного запаса эксплуатационной устойчивости электроприводов. (Под эксплуатационной устойчивостью электроприводов понимается их свойство преодолевать действующие нагрузки при существующих колебаниях и отклонениях напряжения и изменениях условий окружающей среды, сокра-

няя при этом в заданных пределах значения эксплуатационных характеристик и надежности /1/).

Для решения этой задачи недостаточно рассмотреть лишь значения моментов, тока или мощности, потребляемой электродвигателем, если известно, что и нагрузкам, и основным характеристикам электродвигателей присущи изменчивость и случайность /1,2,3/. Такое значение эквивалентной мощности или момента, которое называют расчетным, представляет собой лишь некоторый уровень, относительно которого колеблются фактические значения этих величин. Поэтому использование при выборе мощности электродвигателей только эквивалентных значений мощности или момента не обеспечивает надежной работы электроприводов. Опыт эксплуатации электродвигателей, занятых в сельском хозяйстве, показывает, что 65-70% отказов электродвигателей происходит в результате перегрузки /2,4/. Причиной этого, наряду с отсутствием эффективных защит от перегрева и разрушения изоляции обмоток электродвигателей, являются и недостатки методов расчета мощности электроприводов. Главным из них является то, что выбранные этим методом электродвигатели подвержены перегрузкам.

Процесс нагружения любого элемента электропривода характеризуется нагрузочной диаграммой или графиком нагрузки /5,6,7/. Если при этом номинальная мощность электродвигателя принята равной эквивалентной, полученной по нагрузочной диаграмме, то при положительных выбросах за уровень $P_n = P_v$ электродвигатель будет перегружаться. Случайные факторы, действующие на рабочие органы большинства электрифицированных машин, обуславливают и случайные изменения тока нагрузки электродвигателей и потребляемой ими мощности. При этом изменяется не только действующая нагрузка, зависящая от производительности машин, но и допустимая нагрузка, определяемая качеством электропитания, температурой окружающей среды и другими условиями эксплуатации.

Величины действующей и допустимой нагрузок на электродвигатели сельскохозяйственных машин зависят от большого числа различных параметров. В этом случае на осно-

вании теории вероятностей [2,5] композиция этих параметров будет представлять нормальный закон распределения. Предположение о нормальных законах распределения допустимой и действующей f_n на электродвигатели сельскохозяйственных машин нагрузок подтверждается имеющимися результатами экспериментов [1,2,8] и оправдано для построения теории оценки эксплуатационной устойчивости электроприводов.

Пусть f_n — нагрузка, действующая на электродвигатель, которая характеризуется математическим ожиданием m_2 , среднеквадратическим отклонением σ_2 и эффективным периодом T_c . Обозначим допустимую нагрузку на электродвигатель через f_g . Она является функцией случайных изменений условий эксплуатации (температуры окружающей среды, напряжения питающей сети и т.д.) и имеет размерность f_n . Допустимая нагрузка характеризуется математическим ожиданием m_1 , среднеквадратическим отклонением σ_1 . Очевидно, что нарушения работы электропривода не наступит, если $f_n < f_g$. Вероятность соблюдения этого условия называется запасом эксплуатационной устойчивости. Эта вероятность определяется по формуле:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}} \int_0^{\infty} \exp\left\{-\frac{[y - (m_1 - m_2)]^2}{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}\right\} dy,$$

где y — текущее значение разности $m_1 - m_2$.

При использовании табулированных значений нормированной нормальной функции распределения Φ оценка запаса эксплуатационной устойчивости производится по формуле:

$$P = \Phi\left[\frac{m_1 - m_2}{\sqrt{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}}\right].$$

Вероятность перегрузки электродвигателя как вероятность противоположного события будет равна $P_n = 1 - \Phi(x)$, где величину

$$x = \frac{m_1 - m_2}{\sqrt{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}}.$$

называют коэффициентом запаса [1]. При выборе мощности электродвигателей по эквивалентным нагрузкам принимается, что допустимая нагрузка равна номинальной. Вероятность перегрузок в этом случае зависит от коэффициента

ции нагрузочной диаграммы и коэффициента загрузки электродвигателя. Как показывают результаты исследований и расчеты, вероятность перегрузки электродвигателей сельскохозяйственных машин при коэффициенте вариации $(0,1-0,4)P_n$ и коэффициенте загрузки $K_3 = 0,9$ составляет $0,315-0,799$.

Вероятность перегрузки электродвигателя при различных значениях коэффициента вариации нагрузочных диаграмм и коэффициента загрузки

Коэффициент загрузки	Коэффициент вариации в долях			
	$\Delta = 0,1$	$\Delta = 0,2$	$\Delta = 0,3$	$\Delta = 0,4$
0,9	0,315	0,621	0,745	0,799
0,8	$4,61 \cdot 10^{-2}$	0,315	0,506	0,621
0,7	$2,97 \cdot 10^{-3}$	0,184	0,315	0,454
0,6	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$4,61 \cdot 10^{-2}$	0,184	0,315
0,5	$7,4 \cdot 10^{-7}$	$1,23 \cdot 10^{-2}$	$9,52 \cdot 10^{-2}$	0,235

Величину запаса эксплуатационной устойчивости, т.е. вероятность отсутствия перегрузок, необходимо выбирать близкой к единице, обеспечивая максимальную экономию расчетных затрат. Как известно [4], расчетные затраты, отнесенные к одному году эксплуатации электродвигателя, равны:

$$Z = (C + K_T + K_M)(K_n + K_{TP} + K_A) + C_y,$$

где C - цена изделия;

K_T, K_M - транспортные расходы и затраты на монтаж электродвигателя (принимаются равными соответственно 0,11 и 0,25 от цены);

$K_n = 0,15$ - нормативный коэффициент эффективности;

$K_A = 0,120$ - отчисления на амортизацию;

$K_{TP} = 0,048$ - отчисления на текущий ремонт;

C_y - затраты, связанные с отказом электродвигателя, т.е. ущерб.

$$C_y = (y + C + K_g + K_M)[1 - \Phi(x)].$$

Здесь $У$ – средний технологический ущерб от нарушения эксплуатационной устойчивости;

$K_0 = 0,5 K_{\text{н}}$ – расходы на демонтаж электродвигателя;
 $[1 - \Phi(x)]$ – вероятность перегрузки электродвигателя.

После подстановки соответствующих значений коэффициентов в формулы получим расчетные затраты:

$$З = 0,44 Ц + (У + 1,48 Ц) (1 - \Phi(x)). \quad (1)$$

Изменение коэффициентов запаса экономически целесообразно, если выполняется условие:

$$\exists = З_{x_1} - З_{x_2} \geq 0.$$

Здесь $З_{x_1}, З_{x_2}$ – расчетные затраты, отнесенные к одному году эксплуатации, соответствующие коэффициентам запаса X_1 и X_2 и цене электродвигателей $Ц_1$ и $Ц_2$. С учетом формулы (1) получим:

$$\exists = 0,44(Ц_1 - Ц_2) + (У + 1,48 Ц_1)[1 - \Phi(x_1)] - (У + 1,48 Ц_2)[1 - \Phi(x_2)]. \quad (2)$$

Для определения расчетных значений коэффициентов запаса принимаем минимальную величину технологического ущерба от выхода из строя электродвигателя, равную его цене $Ц_1$. Минимальная годовая экономия в этом случае будет равна:

$$\exists_{\text{min}} = 0,44(Ц_1 - Ц_2) + 2,48 Ц_1 [1 - \Phi(x_1)] - (Ц_1 + 1,48 Ц_2) [1 - \Phi(x_2)].$$

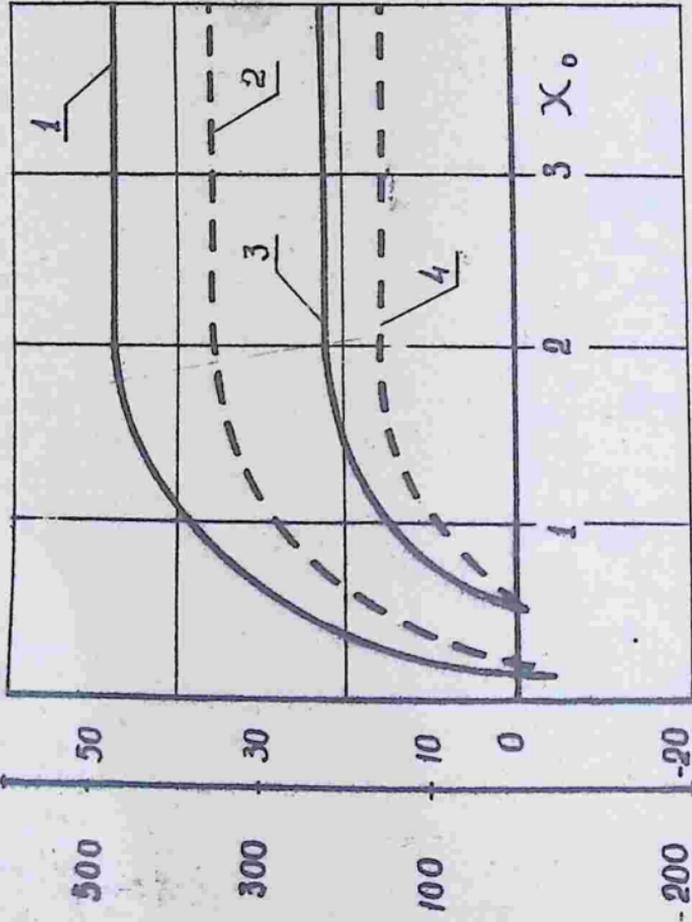
Графическая иллюстрация полученной зависимости представлена на рисунке. Расчетные затраты определены при замене электродвигателя 4А71АУЗ на 4А71В6УЗ при коэффициентах вариации нагрузочных диаграмм $0,3 P_{\text{н}}$ (кривая 1) и $0,1 P_{\text{н}}$ (кривая 3) и электродвигателя 4А160 2УЗ на 4А160М2УЗ при коэффициентах вариации нагрузочных диаграмм $0,3 P_{\text{н}}$ (кривая 2) и $0,1 P_{\text{н}}$ (кривая 4). Как видно из рисунка, минимальная годовая экономия достигает наибольшего значения при коэффициенте запаса $x > 2$.

В случае, когда улучшение эксплуатационной устойчивости электродвигателя достигается снижением коэффициента загрузки ($Ц_1 = Ц_2 = Ц$), формула (2) преобразуется к виду

$$\exists_{\text{min}} = 2,48 [\Phi(x_2) - \Phi(x_1)].$$

Зависимость минимальной годовой экономии от коэффициента запаса:

3 млн, руб.



1,3 - при замене электродвигателя 4A71AY3 на 4A71B6Y3 с коэффициентом вариации нагрузочных диаграмм соответственно 0,3 и 0,1 Pн;

2,4 - при замене электродвигателя 4A160 2Y3 на 4A160M2Y3 с коэффициентом вариации нагрузочных диаграмм соответственно 0,3 и 0,1 Pн.

Как показали теоретические расчеты и экспериментальная проверка /1,8/, при выборе мощности электроприводов по эквивалентной мощности коэффициент запаса $X = 0,2$. Таким образом, фактическое значение коэффициента запаса в 10 раз меньше теоретически необходимого. Это является причиной большей вероятности перегрузки электродвигателей, выбранных этим методом, и объясняет одну из причин выхода их из строя.

На основании проведенной оценки можно сделать вывод, что при выборе мощности электроприводов величина коэффициента запаса должна быть в пределах 2-3 при коэффициенте загрузки электродвигателей 0,7-0,9.

В этом случае при низкой вероятности нарушения эксплуатационной устойчивости ($5,3 \cdot 10^{-3} \dots 1,2 \cdot 10^{-7}$) можно получить максимальную годовую экономию от использования электродвигателей, выбранных с учетом коэффициентов запаса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров А.А. Исследование электроприводов зерноочистительных агрегатов с целью достижения их оптимальных эксплуатационных характеристик / Дис. ... канд. техн. наук. - Волгоград, 1980.
2. Мусин А.М. Теория, методы расчета и испытания электроприводов сельскохозяйственных машин со случайной нагрузкой / Дис. ... д-ра техн. наук. - М., 1973.
3. Кравчик А.Э., Шпаф М.М., Афонин В.И., Соболенская Е.А. Асинхронные двигатели серии 4А / Справочник. - М.: Энергоиздат, 1982.
4. Мусин А.М., Панькин В.В. Области применения тепловой и встроенной температурной защит. - Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1977, № 5.
5. Гайдукевич В.И., Мельников А.А. Вероятностная обработка осциллограмм электрических величин. - М.: Энергия, 1972.
6. Миллер Е.В. Основы теории электропривода. - М.: Высшая школа, 1968.
7. Гончаров А.А. Определение статистических характери-

стик нагрузочных диаграмм зерноочистительных машин. - В сб.: Комплексная механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства. - Ростов-на-Дону, 1977.

8. Громак В.В., Устименко Н.А. Анализ статистических и динамических характеристик электропривода машин зерноочистительного агрегата. - Сб. работ по механизации и электрификации с.-х. производства. Изд-во Ростовского ун-та, 1969.

Инженер А.А.Зотов

К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТЁРА ЗЕРНОВОГО ВОРОХА

Существенный резерв кормопроизводства - использование на кормовые цели незерновой части урожая зерновых колосовых культур. При этом, однако, следует иметь в виду, что подготовка соломы к скармливанию требует дополнительных по сравнению с половой затрат труда и средств. Кроме того, питательная ценность соломы в 2-2,5 раза ниже, чем половы. Поэтому незерновая часть колосовых культур, и в первую очередь солома, должна служить продуктом для получения полнорационных кормов. Однако применяемые технологии уборки незерновой части урожая в этом отношении характеризуются рядом недостатков. Основные из них - это или большие потери половы - от 35 до 90%, или снижение производительности комбайнов на 15-25% в процессе ее заготовки вместе с уборкой зерна.

С учетом отмеченных недостатков была разработана точно-индустриальная технология уборки и послеуборочной обработки зерновых колосовых культур или, образно говоря, "невейка". Данная технология предусматривает получение зернового вороха колосовых культур, содержащего 70-80% зерна и 20-30% мелких фракций соломы и половы при влажности массы 12-14%. Ворох предназначен для обработки на стационаре.

Одним из важных элементов технологии "невейка" является прием и транспортирование зернового вороха с определенной подачей в ворохоочиститель. Данный процесс оказы-

вадет немаловажное воздействие на скорость и качество очистки зернового вороха ворохоочистительной машиной.

Для равномерного транспортирования сыпучих, связанных и стебельчатых материалов из бункера в рабочую машину разработаны транспортирующие устройства, конструкции которых весьма разнообразны.

Здесь следует отметить, что выбор способа и средств для перемещения грузов зависит от рациональной технологической схемы, процесса и условий работы. Этот выбор определяется родом и свойствами транспортируемого материала, характером, направлением и расстоянием транспортирования, способами захвата и выдачи груза, требуемой производительностью, безопасностью и удобством обслуживания.

На рисунке представлена технологическая схема приемно-очистительного отделения зерно-половистого вороха.

В данной технологической схеме применение винтового конвейера для транспортирования зерно-половистого вороха обусловлено следующими причинами.

1. Пневматическое транспортирование разнородного по аэродинамическим свойствам материала отрицательно сказывается на производительности и качестве работы питаемых рабочих машин. Кроме того, пневмотранспортеры расходуют энергии в 8-14 раз больше, чем при механическом транспортировании, имеют повышенный износ частей, соприкасающихся с материалами, которые перемещаются с большими скоростями.

2. Ленточные, цепочные, скребковые, планчатые и качающиеся транспортеры применяют для горизонтального и слабонаклонного транспортирования. Применение двухленточного и ленточно-трубчатого транспортеров, предназначенных для крутонаклонного транспортирования, невозможно из-за плохой сыпучести зерно-половистого вороха, вследствие чего забор продукта этими транспортерами затруднителен. Скребковые и планчатые цепочные транспортеры измельчают и истирают транспортируемый материал и имеют повышенный износ направляющего желоба вследствие его трения о планки и скребки.

3. Ковшовые элеваторы (нории) имеют сложную конструкцию, чувствительны к перегрузкам (вследствие постуше-

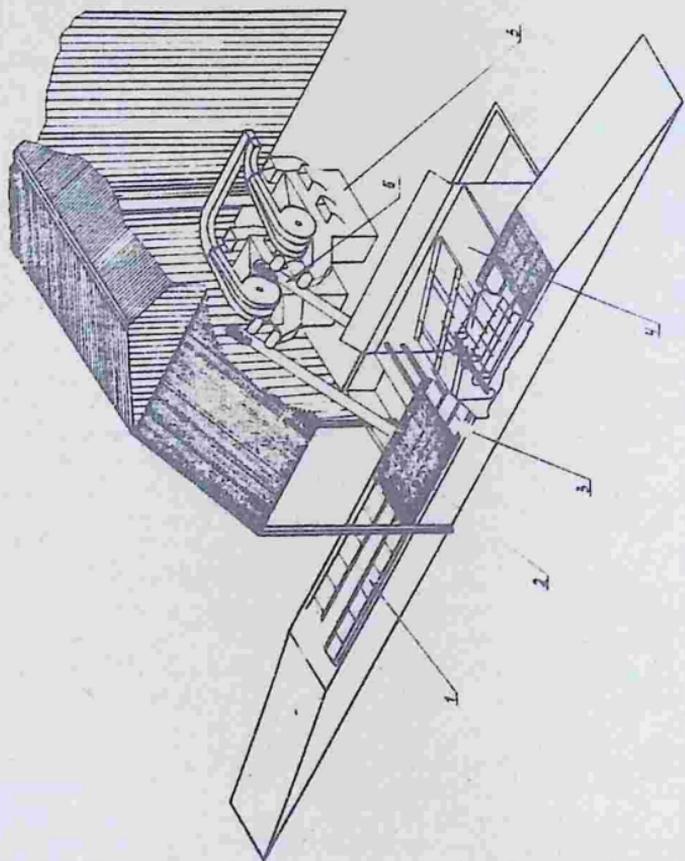


Схема линии предварительной очистки зернового вороха: 1 - автомобильеразгрузчик; 2 - бункер зерна; 3 - загрузчик прищелов; 4 - питатель-дозатор; 5 - ворохоочистительная машина; 6 - шнековый транспортер

ния вороха с разным содержанием соломы и зерна), работают по принципу ударного воздействия на транспортируемый материал, что ведет к повреждению зерна.

Рассмотрение существующих конструкций винтовых конвейеров (шнеков) показывает, что они предназначены или для незначительно засоренного вороха, или для сыпучих, связанных и стебельчатых кормов, которые по своим физико-механическим свойствам резко отличаются от зерно-половистого вороха. В конструкциях транспортеров, предназначенных для передвижения кормов, относительно велико травмирование зерна. Кроме того, существующие конструкции не удовлетворяют агротехническим требованиям на комплекс машин для уборки зерновых культур с обработкой зернового вороха в стационарных условиях. Транспортирование же такого материала, как зерно-половистого вороха, специально еще не изучалось.

В вертикальных и крутонаклонных быстроходных шнеках транспортируемый материал перемещается благодаря разности угловых скоростей транспортируемого материала и винта. Транспортируемый материал тормозится силами трения о кожух и под действием центробежных сил располагается концентрично по поверхности кожуха. Центробежная сила, возникающая в транспортируемом материале, заполняющем кожух, вследствие его вращения прижимает его к стенкам кожуха, в результате чего возникает тангенциальная сила трения, и материал под действием винта начинает совершать восходящее движение, как гайка. В общем виде траектория его представляет собой винтовую линию с шагом меньше шага винта, при этом данная линия имеет направление, противоположное линии рабочего винта.

При движении материальной частицы по шнеку на нее действуют: сила тяжести массы, сила трения о винт, увлекающая ее во вращение, центробежная сила, прижимающая частицу к кожуху, сила трения о кожух, тормозящая вращение частицы вместе с винтом, силы внутреннего трения частицы. Суммарное воздействие этих сил приводит к проскальзыванию частицы по винтовой поверхности и осевому смещению ее, т.е. к транспортированию.

Известно, что сыпучая среда в движении приобретает некоторые свойства жидкости. Поэтому при транспортировании шнеком разнородного по своим физико-механическим свойствам зерно-половистого вороха происходит его сегрегация. Под действием центробежных сил частицы с большей массой будут перемещаться к кожуху шнека, с меньшей массой — к валу шнека. Вследствие различных коэффициентов трения разнородных частиц коэффициенты трения частиц вороха друг о друга, о кожух и винт будут величинами не постоянными и будут изменяться во времени. То есть по мере транспортирования вороха частицы с большей массой (зерно) займут наиболее удаленное положение от оси вращения, а частицы с меньшей массой (пшеница и мелкие фракции соломы) — наименее удаленное положение от оси винта. Поэтому с изменением коэффициентов трения между частицами, а также частиц с винтом и кожухом будет изменяться производительность винтового конвейера. Кроме того, с изменением скорости движения, влажности, коэффициента бокового давления транспортируемого материала и его давления на поверхность винта изменится коэффициент трения.

Многочисленные исследования винтовых конвейеров показали, что достаточно точно рассчитать параметры и режимы работы винтового конвейера по существующим формулам не удается (ошибка составляет 15...60%) и необходимые величины, как правило, подбираются опытным путем.

Это можно объяснить следующими причинами:

1. При расчете производительности шнеков, расчете мощностей, необходимых для их работы, и других параметров вместо скоростей транспортируемых материалов определяют скорости самого шнека.
2. Движение отдельной частицы, расположенной на периферии винтовой поверхности элементарного объема, обобщают для потока частиц (полного объема).
3. Сложные по характеру влияния условия, в которых находится материал, заполняющий пространство между кожухом и винтом, не учитываются ввиду трудности данных исследований.
4. Транспортируемый материал рассматривается как однородное тело с одинаковыми физико-механическими свойствами.

5. Влияние на коэффициент трения скорости движения, влажности, коэффициента бокового давления транспортируемого материала и его давления на поверхность винта также не учитывается.

Устранение полностью или частично последних трех допущений приведет к уменьшению ошибки между параметрами и режимами работ, полученными теоретически и экспериментально.

Производительность шнека в общем случае есть функция:

$$Q = \Phi(D, r_0, S, \omega, \alpha, \varphi, f_k, f_{ш}, \gamma),$$

где D - диаметр винта; r_0 - радиус вала винта; S - шаг винта; ω - угловая скорость вращения винта; α - угол подъема винтовой линии по наружному диаметру винта; φ - угол естественного откоса транспортируемого материала; $f_{ш}, f_k$ - соответственно коэффициенты трения груза о винт и кожух; γ - плотность транспортируемого материала.

В данном выражении величина коэффициентов трения для определенного материала и различных режимов работы постоянна. Изменение угла естественного откоса разнородного транспортируемого материала в процессе его разделения под действием центробежных сил и коэффициентов трения в зависимости от скорости, влажности, коэффициента бокового давления и давления транспортируемого материала на поверхность винта не учитывается.

Поэтому теоретическая производительность винтового конвейера представлена с учетом следующих зависимостей:

$$f_k = \Phi_1(V, W, k, \rho),$$

$$f_{ш} = \Phi_2(V_0, W, \rho_0),$$

$$\varphi = \Phi_3(n, \varphi_m, \varphi_{m_1}, \varphi_{m_2}, W).$$

где $V = \omega R$ - максимальная линейная окружная скорость движения транспортируемого материала относительно кожуха;

ω - угловая скорость транспортируемого материала;

- R - радиус шнека;
 k - коэффициент бокового давления транспортируемого материала;
 D - удельное давление транспортируемого материала на кожух;
 V_0 - линейная окружная скорость центров давления транспортируемого материала на шнек;
 W - влажность транспортируемого материала;
 π - соотношение разнородных частиц;
 φ_M - угол естественного откоса транспортируемого материала;
 φ_{M_1} - угол естественного откоса первой группы частиц;
 φ_{M_2} - угол естественного откоса второй группы частиц.
 С учетом указанных зависимостей производительность шнека равна:

$$Q = \sqrt{5400q(\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta)^2 \left(\frac{\lambda \tau_0 D}{25^2 f_k [c_1 \cos \beta - \lambda c_2 \sin \beta]} - \frac{\psi k}{S} \right)} \cdot \frac{\operatorname{ctg} \varphi \Psi}{60} \left[\int_{r_0}^R (R_i - r_0) \frac{R_i - \cos^2 \varphi_M \sqrt{4\pi^2 R_i^2 + S^2}}{c_0^2 + R_i^2} dR - \int_{r_0}^R (R_i - r_0) \sqrt{4\pi^2 R_i^2 + S^2} \cdot \frac{2R_i c_0 \sin \varphi_M \cos \varphi_M}{c_0 + R_i^2} dR + \int_{r_0}^R (R_i - r_0) \sqrt{4\pi^2 R_i^2 + S^2} \cdot \frac{c_0^2 \sin \varphi_M}{c_0^2 + R_i^2} dR \right],$$

- где q - ускорение свободного падения;
 β - угол подъема винтовой линии, по которой движутся периферийные частицы транспортируемого материала;
 S - шаг шнека;

$$c_1 = \cos \alpha_0 - f_M \sin \alpha_0;$$

$$c_2 = \sin \alpha_0 + f_M \cos \alpha_0;$$

α_0 - угол подъема винтовой линии центров давления;

$$\lambda = \frac{D_0}{D};$$

D_0 - диаметр линии центров давления материала на шнек;

ψ - коэффициент заполнения шнека;

C_i - длина развертки винтовой линии на длине одного шага на радиусе;

$C_0 = \frac{S}{2\pi}$ - часть шага винта, приходящегося на один радиан поворота образующей;

dR - приращение радиуса элементарной площади.

Из представленных рассуждений можно сделать вывод о том, что определение производительности винтового конвейера с учетом изменения угла естественного откоса транспортируемого разнородного материала и коэффициентов трения в зависимости от скорости, влажности, коэффициента бокового давления и давления транспортируемого материала позволит снизить ошибку между теоретическими и экспериментальными данными.

○ Кандидат технических наук
А.С.Болотов

ВЫБОР СПОСОБА УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ

В настоящее время применяется три способа уборки зерновых колосовых: прямое комбайнирование, раздельная уборка и смешанная. Прямое комбайнирование повсеместно применялось до середины шестидесятых годов. Затем широко стал использоваться смешанный способ уборки: часть полей убирали прямым комбайнированием, а часть - раздельным способом. При раздельном способе уборки вначале хлеба косят рядковыми жатками с укладкой хлебной массы в валки, затем по мере подсыхания валков их подбирают и обмолачивают. В последние годы все шире используется раздельный способ уборки хлебов. Правильный выбор способа уборки может привести к сокращению потерь зерна.

Кроме технических показателей зерноуборочных комбай-

нов, на выбор способа уборки оказывает влияние и наличие механизаторских кадров. До шестидесятых годов колхозы и совхозы имели комбайнеров, которые в летне-весенний период готовили комбайны к уборке, затем работали в качестве комбайнеров и в осенне-зимний период использовались как ремонтные рабочие мастерских и на других работах. По мере насыщения сельскохозяйственного производства тракторами и зерноуборочными комбайнами количество комбайнеров, за которыми не закреплены тракторы, в удельном отношении постоянно уменьшается. В настоящее время практически каждый механизатор имеет в своем распоряжении один, а иногда и два трактора, два-три специальных комбайна. Сельскохозяйственные работы ведутся, как правило, по циклам. В каждый период определяется основная операция, для выполнения которой выделяют технику и механизаторов. По завершении работы их переключают на выполнение следующей операции. Такой способ выполнения работ позволяет меньшим количеством механизаторов выполнять все сельскохозяйственные операции.

При обосновании способа уборки зерновых будем держиваться указанного способа выполнения работ, т.е. будем считать, что одни и те же механизаторы последовательно участвуют в выполнении разных операций. При этом будем исходить из того, что количество агрегатов, ежедневно занятых на выполнении работ, адекватно количеству механизаторов.

В случае равномерного созревания хлебов и полной загрузки зерноуборочных комбайнов при прямом комбайнировании объем уборочных работ Q определяется зависимостью:

$$Q = N_n T_2 W_3, \quad (1)$$

где N_n — количество ежедневно работающих зерноуборочных комбайнов; W_3 — средняя дневная производительность зерноуборочного комбайна при прямом комбайнировании; T_2 — продолжительность уборки (сбора зерна).

Продолжительность уборки определяется объемом уборочных работ, количеством комбайнов и их производительностью. Кроме того, продолжительность уборки зависит от

биологических свойств растений и почвенно-климатических условий зоны. Так, если хлеба созревают в течение t_1 дней на всей уборочной площади и каждый участок после достижения полной спелости целесообразно убирать в течение t_3 дней, то продолжительность уборки определится выражением:

$$T_2 = t_1 - t_3 - 1. \quad (2)$$

Допустимая продолжительность уборки хлебов при полной спелости определяется биологией возделываемых сортов. Так, озимая пшеница Безостая 1 и новые сорта, полученные на ее основе, не осыпаются и их можно убирать прямым комбайнированием длительное время, а практически все сорта ячменя при достижении полной спелости "поникают" и при уборке прямым способом теряется большое количество колосков, так как они при воздействии мотвила обламываются. В этом случае прямое комбайнирование не применимо. Время созревания хлебов определяется биологией возделываемых сортов, предшественниками, влажностью почвы и воздуха, ориентацией склонов относительно сторон света и др. факторами.

При раздельном способе уборки зерновых колосовых по точно-цикловым методом вначале производится кошение всех хлебов на свал, а затем их подбор и обмолот. Кошение хлебов на свал складывается из двух периодов: кошение в течение созревания хлебов от молочно-восковой спелости до полной, когда можно начинать подбор, и кошение в оставшийся агросрок. Подбор и обмолот начинается после окончания кошения на свал и также выполняется в два срока: подбор и обмолот после допустимого агросрока кошения хлебов на свал и подбор во время допустимого агросрока кошения хлебов на свал. Поточность уборки определяется равенством:

$$N_p t_2 W_1 + N_p x W_1 = N_p (t_1 - 1 - x) W_2 + N_p t_3 W_2 \Rightarrow \quad (3)$$

$$x(W_1 + W_2) = T_2 W_2 - t_2 W_1,$$

где N_p — количество ежедневно работающих зерноуборочных комбайнов при раздельном способе уборки; t_2 — продолжительность дозревания хлебов в валках; x — продолжительность кошения хлебов в период, когда

часть хлебов, скошенных вначале, можно подбирать и обмолачивать; W_1 - средняя дневная производительность жатвенного агрегата; W_2 - средняя дневная производительность зерноуборочного комбайна на подборе и обмолоте хлебов.

Условия уборки всего урожая описываются равенством:

$$Q = N_p(t_1 - 1 + t_3 - x)W_2 = N_p(T_2 - x)W_2. \quad (4)$$

Решая совместно (3) и (4), получим:

$$Q = \frac{N_p T W_1 W_2}{W_1 + W_2} = N_p T W_n, \quad (5)$$

где T - продолжительность работ при раздельном способе уборки; W_n - приведенная производительность зерноуборочного комбайна при раздельном способе уборки.

Продолжительность работ при раздельной уборке больше продолжительности работ при прямом комбайнировании на срок дозревания хлебов в валках (t_2):

$$T = T_2 + t_2 = t_1 + t_2 + t_3 - 1. \quad (6)$$

Приведенная производительность зерноуборочного комбайна при раздельной уборке определяется из выражения:

$$W_n = \frac{W_1 W_2}{W_1 + W_2}. \quad (7)$$

Приведенная производительность на кошении хлебов раздельным способом всегда меньше наименьшей производительности. Чтобы поднять производительность непосредственно на сборе зерна, необходимо вести кошение на свал только в период дозревания хлебов в валках t_2 дня, а затем производить подбор и обмолот хлебов и прямое комбайнирование. Условие поточности раздельной уборки для этого случая представляется равенством:

$$N t_2 W_1 = N x W_2, \Rightarrow x = \frac{t_2 W_1}{W_2}, \quad (8)$$

где x - продолжительность подбора хлебов, а условие уборки всего урожая - равенством:

$$N x W_2 + N(T_2 - x)W_2 = Q, \Rightarrow N = \frac{Q}{T_2 W_2 + (W_2 - W_1) \frac{t_2 W_1}{W_2}}. \quad (9)$$

Сравнивая потребность в зерноуборочных комбайнах при прямом комбайнировании из (1) и при смешанном способе уборки из (9), имеем:

$$\frac{Q}{T_2 W_3} = \frac{Q}{T_2 W_3 + (W_2 - W_3) \frac{t_2 W_4}{W_2}}, \Rightarrow W_2 = W_3. \quad (10)$$

При выполнении условия (10) требуемое количество комбайнов для уборки одинаковое как для прямого комбайнирования, так и для смешанного способа уборки. Если учесть, что при прямом комбайнировании техника и механизаторы используются меньше времени, то в этом случае целесообразно применять прямое комбайнирование. Таким образом, прямое комбайнирование целесообразно применять при условии:

$$W_2 \leq W_3. \quad (11)$$

Сравнивая требуемое количество зерноуборочных комбайнов, необходимых для уборки зерновых колосовых при смешанном способе уборки по формуле (9) и при раздельном способе по формуле (5), получим:

$$\frac{Q}{T_2 W_3 + (W_2 - W_3) \frac{t_2 W_4}{W_2}} = \frac{Q}{T W_1 W_2} (W_1 + W_2), \Rightarrow W_3 = \frac{W_1 W_2}{W_1 + W_2}. \quad (12)$$

Учитывая тот факт, что для смешанного способа уборки необходимо производить три перестройки агрегатов, в этом случае целесообразен раздельный способ уборки. Смешанный же способ уборки с учетом (11) и (12) целесообразен, если

$$W_2 > W_3 > \frac{W_1 W_2}{W_1 + W_2}. \quad (13)$$

Если производительность зерноуборочного комбайна на прямом комбайнировании меньше или равна приведенной производительности при раздельном способе уборки, то уборку целесообразно производить раздельным способом.

Выражение (5) имеет ограниченную область применения, так как оно не учитывает в явном виде допустимых сроков кошения хлебов на свал и их подбора и обмолота. В зависимости от производительности комбайна могут представиться следующие граничные условия: относительно высокая производительность жатвенных агрегатов, когда хлеба представляется возможным убрать до созревания хлебов в валках;

$$\frac{Q}{N_p W_1} = \frac{T W_2}{W_1 + W_2} \geq t_2. \quad (14)$$

Весь объем уборки в этом случае можно выполнить только тогда, когда хлеба дружно созревают, но медленно дозревают в валках, т.е. когда

$$t_1 < t_2. \quad (15)$$

Допустимое соотношение производительности для этого граничного условия получается из выражения (14):

$$\frac{W_2}{W_1} \geq \frac{t_2}{T - t_2}. \quad (16)$$

Если хлеба на корню созревают медленнее, чем дозревают в валках, то кошение на свал должно длиться t_1 дней:

$$\frac{Q}{N_p W_1} = \frac{T W_2}{W_1 + W_2} \geq t_1, \Rightarrow \frac{W_2}{W_1} \geq \frac{t_1}{T - t_1}, \text{ при } t_1 > t_2. \quad (17)$$

Выражения (16) и (17) показывают верхний предел производительности жатвенных агрегатов в зависимости от природно-климатической зоны. Превышение этого предела в обоих случаях допустимо, только необходимо включать в работу на кошение хлебов в валки часть имеющихся комбайнов.

При относительно низкой производительности жатвенных агрегатов могут сложиться такие условия уборки, что хлеба, достигшие полной спелости, будут находиться в необранном состоянии более допустимого времени. При кошении хлебов на свал в течение всего допустимого агросрока (T_1) на подбор и обмолот остается только t_3 дня. Хлеба будут при этом убраны в соответствии с агросроками только при условии, что $t_1 < t_3$ и соотношение производительности при этом должно быть:

$$\frac{W_2}{W_1} \leq \frac{T_1}{t_3} = \frac{t_1 + t_2 - 1}{t_3}. \quad (18)$$

Если допустимое время уборки спелых хлебов меньше времени созревания, то соотношение производительности должно быть:

$$\frac{W_2}{W_1} \leq \frac{T - t_1}{t_1}, \text{ при } t_1 > t_3. \quad (19)$$

Учитывая, что условия (16) и (17) не являются достаточными, то применение отдельной уборки целесообразно, если

$$\frac{W_2}{W_1} \leq \begin{cases} \frac{T_1}{t_3}, & \text{при } t_1 < t_3 \\ \frac{T-t_1}{t_1}, & \text{при } t_1 > t_3 \end{cases} \quad (20)$$

Когда производительность на кошении хлебов в валки и подбore и обмолоте не удовлетворяет неравенству (20), для уборки зерновых в установленные агротехнические сроки целесообразно часть зерноуборочных комбайнов при достижении хлебами полной биологической спелости переключить на прямое комбайнирование. Условие поточности выполнения отдельной уборки при $t_1 < t_3$ запишется так:

$$Nt_2 W_1 + N(t_1 - 1)W_1 = N_1 t_3 W_2, \quad (21)$$

а условие уборки всего объема зерновых - как

$$Q = N_1 t_3 W_2 + (N - N_1) T_2 W_3, \quad (22)$$

где N_1 - количество зерноуборочных комбайнов, полностью занятых на отдельной уборке хлебов.

Решая совместно равенства (21) и (22), получим:

$$Q = N \left[T_2 W_3 + \frac{t_2 W_1 (t_3 W_2 - T_2 W_3)}{t_3 W_2 - (t_1 - 1) W_1} \right]. \quad (23)$$

В выражении (23) второе слагаемое всегда положительное. Следует отметить, что положительное значение характерно как для числителя, так и для знаменателя. В противном случае это выражение не имеет смысла. Из выражения (23) видно, что при нулевом значении второго слагаемого весь объем уборки выполняется прямым комбайнированием, а это возможно, когда выполняется условие:

$$\frac{W_2}{W_3} \leq \frac{T_2}{t_3}. \quad (24)$$

При $t_1 > t_3$ условие выполнения поточности при отдельной уборке запишется так:

$$Nt_2 W_1 + N_1 (t_3 - 1) W_1 = N_1 t_1 W_2. \quad (25)$$

Условие уборки всего объема зерновых:

$$Q = N_1 t_1 W_2 + (N - N_1) T_2 W_3. \quad (26)$$

Совместное решение уравнений (25) и (26) дает:

$$Q = N \left[T_2 W_3 + \frac{t_2 W_1 (t_1 W_2 - T_2 W_3)}{t_1 W_2 - (t_3 - 1) W_1} \right]. \quad (27)$$

Второе слагаемое равенства (27) всегда положительно, так же, как и в равенстве (23). Из равенства (27) видно, что при нулевом значении второго слагаемого весь объем уборки производится прямым комбайнированием, а это возможно, когда выполняется условие:

$$\frac{W_2}{W_3} \leq \frac{T_2}{t_1}. \quad (28)$$

Условия применения прямого комбайнирования (24) и (28) менее вероятны, чем условие (11), так как в этих неравенствах производительность зерноуборочного комбайна на прямом комбайнировании должна быть всегда больше, чем на подборе и обмолоте, что в настоящее время пока является технически неразрешимой задачей.

Для практической деятельности наиболее вероятные условия сведем в таблицу.

Условия применения различных способов
уборки зерновых

Применяемый способ уборки	Значение показателей
Прямое комбайнирование	$W_2 \leq W_3$
Смешанный способ уборки	$W_2 > W_3 > \frac{W_1 W_2}{W_1 + W_2}$
Раздельный способ уборки	$W_3 < \frac{W_1 W_2}{W_1 + W_2}; \frac{W_2}{W_1} \leq \begin{cases} \frac{T}{t_3}, \text{ при } t_1 < t_3 \\ \frac{T - t_1}{t_1}, \text{ при } t_1 > t_3 \end{cases}$

Проведенный анализ дает в руки организаторов сельскохозяйственных работ действенный метод выбора способа уборки зерновых колосовых. Использование предложенных зависимостей позволит сократить потери урожая и сроки уборки.

Кандидат технических наук
А.Д.Беспамятнов, инженер
А.В.Надежин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИРМ-15М

Анализ результатов исследований рабочего органа для переработки растительных материалов позволил разработать промышленный образец модернизированного измельчителя ИРМ-15М /1,2/. В связи с организацией промышленного выпуска и внедрения данного измельчителя в хозяйствах Ростовской области возникла необходимость в его экспериментальной проверке при переработке различных кормов.

В отличие от двухбарабанного измельчителя ИРМ-15 /3/, испытываемая машина имеет один измельчающий барабан с усиленными ножами толщиной 14 мм и подшипниковые узлы, унифицированные с опорами молотильного барабана комбайна "Нива" а также деку с противорежущими элементами, прячущимися при перегрузках и попадании инородных предметов.

Для обеспечения необходимого качества переработки кормов одним измельчающим барабаном на деке между рядами противорежущих элементов установлены поперечные пластины с рифами (бичи молотильного барабана комбайна "Нива"), которые направляют частицы корма в зоны резания их молотками барабана относительно противорежущих элементов /4/. Кроме того, пластины с рифами способствуют хорошему расщеплению и перетиранию частиц измельчаемого материала, что уменьшает их жесткость и увеличивает поедаемость.

Длина резки различных кормов регулируется путем введения в камеру измельчения определенного количества рядов противорежущих элементов деки. Для получения минимальной длины резки над поверхностью деки устанавливаются четыре ряда противорежущих элементов - два ряда с шагом 76 мм и два ряда - с шагом 38 мм. Более крупную резку можно получить при установке на деке двух рядов

противоречащих элементов с шагом 76 или 38 мм или повернуть оси противоречащих элементов таким образом, чтобы все ряды были выведены из камеры измельчения. Результаты исследования влияния количества рядов противоречащих элементов на качественные и энергетические показатели измельчителя ИРМ-15М при переработке стебельных материалов, таких как ячменная солома, кукурузный силос и смесь силоса и соломы в соотношении 3:1, представлены на рис. 1.

Из графика видно, что с ростом количества рядов противоречащих элементов качество измельчения улучшается. Так, увеличение количества рядов до 4-х уменьшает среднюю длину резки с 60 до 18 мм при измельчении ячменной соломы, а силоса - с 40 до 19 мм. Удельный расход электроэнергии при этом возрастает соответственно с 1,7 до 5,0 и с 1,5 до 3,5 кВт-ч/т. При этом производительность измельчителя с ростом числа рядов противоречащих элементов падает, что объясняется увеличением пребывания измельчаемого материала в камере измельчения и дополнительными затратами энергии на доизмельчение.

Качество измельчения кормов регулировалось также изменением линейной скорости молотков путем изменения частоты вращения барабана в пределах 1600...2000 мин⁻¹ при помощи вариаторного шкива привода. Экспериментальные исследования, проведенные на переработке силоса, сена и ячменной соломы, показывают значительное влияние линейной скорости на качественные и энергетические показатели (длину резки, степень расщепления, производительность и расход мощности).

Результаты исследований приведены на рис. 2. Анализ результатов, представленных на рис. 2, показывает, что с ростом линейной скорости конца молотков возрастает удельный расход электроэнергии на измельчение кормов. Так, при увеличении скорости с 54,4 до 66 м/с удельный расход электроэнергии на измельчение ячменной соломы возрастает с 3,7 до 6,1 кВт-ч/т, на измельчение злако-бобового сена - с 4,8 до 6,6 кВт-ч/т, а при доизмельчении кукурузного силоса - соответственно с 2,7 до 3,5 кВт-ч/т. При совме-

стной подаче силоса и соломы в соотношении 3:1 удельный расход электроэнергии увеличивается с 3,1 до 4,8 кВт-ч/т.

С увеличением линейной скорости молотков качество измельчения повышается. Так, при измельчении соломы со скоростью 54,4 м/с частиц до 50 мм в общей массе содержится 78,82%, а при скорости 66 м/с - 94,16%, частиц силоса длиной до 50 мм - соответственно 88,19 и 91,8%.

Увеличение удельного расхода энергии на измельчение и смешивание кормов при повышении частоты вращения барабана можно объяснить ростом затрат энергии на холостой ход, а также на передачу измельченной массе большего количества кинематической энергии.

В связи с переходом на малоконцентратный тип кормления большое место в рационах крупного рогатого скота и свиноголовья приобретают измельченные початки кукурузы. Початки измельчают как при закладке их в траншею, так и непосредственно перед раздачей животным.

В зависимости от вида животных, которым скармливается кукуруза, к качеству ее измельчения предъявляются определенные требования. Так, при закладке кукурузных початков молочно-восковой и восковой спелости влажностью 30...40% в составе комбинированного силоса размер частиц стержней должен быть в пределах 10 мм, а наличие целых зерен не допускается.

Экспериментальные исследования измельчителя ИРМ-15М на переработке початков кукурузы различной влажности и зерна кукурузы показывают, что по качественным показателям он удовлетворяет существующим требованиям. Из графика на рис. 3 видно, что с ростом линейной скорости молотков возрастает удельный расход электроэнергии. Так, с увеличением скорости от 54 до 65,8 м/с при измельчении початков в обертке удельный расход электроэнергии возрос с 2,96 до 3,8 кВт-ч/т, а при измельчении початков без обертки - с 3,25 до 4,8 кВт-ч/т.

Качество измельчения початков с ростом линейной скорости молотков повышается. Так, если при измельчении початков в обертке со скоростью 54 м/с средневзвешенный

размер частиц зерна и строжней составляет 5,32 мм, а удельный вес частиц свыше 10 мм в общей массе составляет 13,9%, то при повышении скорости до 65,3 м/с модуль помола равен 4,56 мм, а удельный вес частиц свыше 10 мм уменьшается до 7,35%. При измельчении початков без обертки повышение скорости способствует снижению модуля помола с 4,87 до 3,38 мм, а доли частиц более 10 мм — с 10,3 до 4,3%. В массе измельченных початков без обертки целых зерен кукурузы нет, а наличие обертки на початках уменьшает интенсификацию процесса измельчения и количество целых зерен может составлять от 2,2 до 3,2%. Производительность измельчителя с уменьшением частоты вращения барабана повышается и составляет от 14 до 24 т/ч при полной нагрузке двигателя мощностью 55 кВт.

Для получения мелкоизмельченной массы свиноголовью выходное окно измельчителя закрывалось решетом с отверстиями диаметром 8 и 20 мм.

Исследования ИРМ-15Мс решетом проводились на переработке сена, соломы, початков и зерна кукурузы повышенной влажности.

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице.

Анализ таблицы показывает, что производительность измельчителя с решетом при переработке кормов в муку составляет 2,64–5,87 т/ч, что превышает производительность существующих дробилок более чем в два раза. Качество измельченного продукта отвечает зоотехническим требованиям к подготовленному зерновому материалу для свиней, а также соответствует среднему помолу согласно стандарту на комбикорма.

Измельчитель может перерабатывать не только рассыпные корма, но и тюки прессованного сена, соломы. Для выполнения этой операции в конструкции измельчителя предусмотрено переоборудование питателя с целью увеличения прохода под приемным битером до толщины тюка (360 мм) и снижения в два раза скорости подачи тюка в камеру измельчения. Приемный битер переставляют в верхнее положение, а на валы привода битера и ленточного транспортера

Качественные и энергетические показатели работы
измельчителя ИРМ-15М с решетом

Наименование показателей	Вид перерабатываемого корма и его влажность				
	кукуруза в почат- ках, W=31,3%	кукуруза в зерне, W=29,6%	солома, W=12,2%	сено лю- церновое, W=14,5%	кукуруза в почат- ках си- лосован- ная, W=45%
Диаметр решета, мм	8,0	8,0	8,0	20,0	20,0
Производительность, т/ч	4,06	5,87	2,64	2,8	4,5
Потребляемая мощ- ность, кВт	63,56	64,36	55,70	51,2	65,0
Затраты энергии на холостой ход, кВт	15,60	15,60	15,60	15,60	15,60
Удельный расход электроэнергии, кВт-ч/т	15,60	11,0	21,10	18,8	14,4
Массовая доля фракций, %, остав- шихся на решетке диаметром:					
10 мм	нет	нет	5,01	6,05	3,80
7	0,47	0,22	5,26	5,60	5,40
5	1,40	0,98	6,16	5,43	6,18
3	14,95	15,63	23,32	8,90	11,56
2	15,42	23,97	21,92	17,54	11,51
1	11,22	17,60	9,06	10,20	9,82
0,7	20,56	20,54	13,36	23,06	6,54
0,25	18,69	15,16	9,16	16,88	36,81
дно	17,29	5,87	6,75	6,34	8,38
Средневзвешенный размер частиц (мо- дуль), мм	1,52	1,78	3,15	2,69	2,36
					143

устанавливают звездочки с числом зубьев $Z = 73$ (звездочки, заимствованные с мотовила комбайна "Нива").

Тюки вручную укладывают на ленточный транспортер питателя, который совместно с приемным битером зажимает тюк и подает его к ножевому битеру. Последний разрыхляет тюк, отделяет от него слой массы и подает в камеру измельчителя. Перед подачей в измельчитель с тюка снимают вязальную проволоку. В том случае, если обвязка тюка произведена шпагатом, возможна подача материала без его снятия.

Исследования, проведенные на переработке тюков пресованной соломы влажностью 10,8%, показали, что при частоте вращения вала барабана, равной 1960 мин^{-1} , и подаче 3,15 кг/с производительность измельчителя составила 11,4 т/ч. При этом удельный расход электроэнергии был в пределах 4,5 кВт-ч/т, а средняя длина резки - 12,1 мм.

Подача обвязанных тюков в измельчитель создавала неравномерную загрузку двигателя. Прохождение основной массы через камеру измельчения вызывало кратковременную (до 3...5 с) перегрузку двигателя до 60%. Однако падение частоты вращения барабана незначительное и процесс измельчения выполнялся стабильно.

На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Предложенная конструктивно-технологическая схема однобарабанного измельчителя растительных материалов ИРМ-15М с молотками ножевого типа отличается простотой в изготовлении, уменьшенной металлоемкостью и высокой эффективностью в работе.
2. Измельчитель может быть рекомендован к использованию на фермах крупного рогатого скота для измельчения различных видов кормов, а также для приготовления кормосмеси при совместной подаче в измельчитель грубых и сочных кормов.
3. Измельчитель ИРМ-15М может использоваться в качестве базовой машины для измельчения и смешивания компонентов при закладке комбисилоса.
4. Качественные показатели работы измельчителя

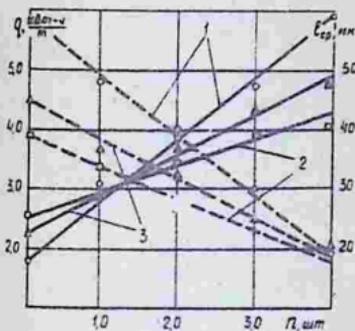


Рис. 1. Изменение удельного расхода электроэнергии (q) и средней длины резки (l_{cp}) в зависимости от количества рядов противорезающих элементов (n) при измельчении кормосмеси и ее компонентов: — удельный расход электроэнергии (q); - - - средняя длина резки (l_{cp}); 1 - солома ячменная; 2 - силос кукурузный; 3 - смесь силоса и соломы (соотношение 3:1).

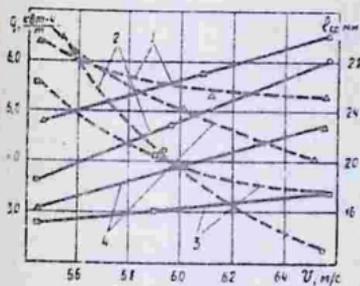


Рис. 2. Изменение удельного расхода электроэнергии (q) и средней длины резки (l_{cp}) в зависимости от линейной скорости молотков при измельчении кормосмеси и ее компонентов:

— удельный расход электроэнергии (q); - - - средняя длина резки (l_{cp}); 1 - сено злако-бобовое влажностью 9,48%; 2 - солома ячменная влажностью 10,8%; 3 - силос кукурузный влажностью 64,35%; 4 - смесь силоса и соломы в соотношении 3:1 влажностью 51,2%.

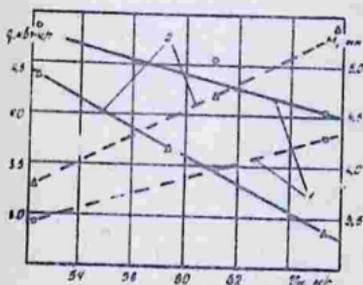


Рис. 3. Изменение удельного расхода электроэнергии (q) и модуля помола (M) в зависимости от линейной скорости молотков при измельчении початков кукурузы: 1 - початки кукурузы в обертке влажностью 35,76%; 2 - початки кукурузы без обертки влажностью 31,30%.

ИРМ-15М при переработке кормов любого вида и состояния полностью удовлетворяют зоотехническим требованиям, предъявляемым к кормам крупного рогатого скота и овец.

5. При установке решет с отверстиями диаметром 8 или 20 мм измельчитель может использоваться в кормоцехах для свиноголовья на измельчении грубых кормов, а также фуражного зерна и початков силосованной и зрелой кукурузы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Надежин А.В. Исследование рабочего процесса и обоснование параметров измельчителя кормов. - В сб.: Совершенствование средств механизации для заготовки и приготовления кормов. - Зерноград, 1981.

2. Надежин А.В. Результаты экспериментальных исследований по оптимизации процесса измельчения грубых и сочных кормов. - В сб.: Исследование и разработка высокопроизводительных технических средств в кормопроизводстве. - Зерноград, 1982.

3. Беспямятнов А.Д., Надежин А.В. Измельчитель ИРМа-15. - Техника в сельском хозяйстве, 1980, № 8, с.51-52.

4. Беспямятнов А.Д., Надежин А.В. Измельчитель кормов. Опис. изобрет. к авт. свид. № 888859 М.Кл.³ А01Г 29/02 по заявке № 2938995/30-15 от 09.06.80. Опубликовано в Б.И. № 46, 1981.

Кандидат технических наук

А.И.Бурьянов, инженер Н.И.Пасечный

ОБ ЭФФЕКТИВНЫХ ТИПАХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ МАССЫ НА СИЛОС

В настоящее время ведутся интенсивные работы по изысканию эффективных типов тракторных прицепов для перевозки измельченной массы на силос и сенаж. Разрабатываются специальные прицепы (ПИМ-40, ПИМ-60), специальные кузова к универсальным шасси (ПСЕ-20, ПСЕ-30, ПСЕ-40) и специальное съемное оборудование (надставные борта) к

универсальным прицепами. Указанные прицепы при равных значениях грузоподъемности и объемов кузовов имеют различную материалоемкость и стоимость /1/. Кроме того, в отличие от специальных прицепов, целиком участвующих в работе, универсальные прицепы участвуют в работах частично, что обуславливает различную годовую загрузку их частей, а следовательно, и разные затраты средств на перевозку грузов. Годовая загрузка зависит от зональных особенностей и определяется структурой перевозимых грузов и сроками выполнения работ. Все это требует специальных исследований, направленных на изыскание эффективных типов прицепов.

В связи с указанными обстоятельствами задачи данной работы заключались в определении области целесообразного (эффективного) использования указанных транспортных средств.

Выбор типа тракторных прицепов может быть осуществлен на основе оценки их экономической эффективности. Области экономически целесообразного использования тракторных прицепов могут быть определены из условия получения равных приведенных затрат на перевозку единицы продукции различными типами средств и тенденций изменения приведенных затрат при изменении годовой загрузки.

При определении приведенных затрат использовали методику оценки экономической эффективности машин /2/.

Затраты рассчитывали по формуле:

$$C = \left(\frac{Пб}{Тз} + \frac{Псп}{Тг} \right) \frac{1}{W_{тр}}$$

где $Пб$, $Псп$ – приведенные затраты, образованные базовой частью транспортного средства и специальным оборудованием; $Тз$, $Тг$ – зональная годовая загрузка тракторного прицепа и специального оборудования; $W_{тр}$ – производительность транспортного средства на перевозке измельченной массы на силос.

При расчете затрат приняты следующие допущения: годовая загрузка универсальных прицепов и шасси равна установленной зональной годовой загрузке /3/; производительность транспортных средств различных типов на перевозке

измельченной массы на силос равная; используются аналогичные ходовые системы для указанных средств.

В калькуляцию приведенных затрат, образованных специальным оборудованием, включены стоимость работ по установке и снятию съемного оборудования и кузовов /1/.

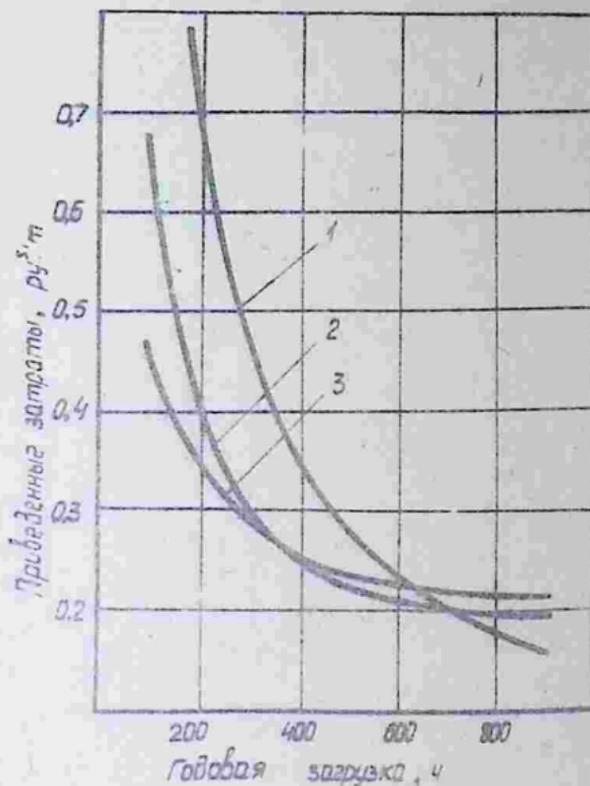
На рисунке показана зависимость приведенных затрат на транспортировку от годовой загрузки и типа транспортных средств для перевозки измельченных кормов.

Различная величина постоянной доли затрат, образованной от использования базовой части транспортного средства, а также различная величина переменной части, вследствие различной стоимости специального оборудования при одинаковой годовой загрузке ее, обуславливают различную интенсивность изменения суммарных затрат и области целесообразного использования различных типов транспортных средств. При низких годовых загрузках на перевозках кормов (до 360 ч) целесообразно применение съемного оборудования к универсальным кузовам, при загрузках 360-700 ч целесообразны съемные кузова, а при более высоких - специальные транспортные средства.

Следовательно, для условий зоны Северного Кавказа и степных районов страны, где нормативные годовые загрузки на перевозке измельченной массы на силос составляют 170 ч / 3/, целесообразно использование съемного оборудования к универсальным транспортным средствам. Это обеспечивает снижение затрат на транспортировку в 1,24 и более чем в 2 раза по сравнению с перевозками специальными кузовами и специальными транспортными средствами.

Во ВНИПТИМЭСХ совместно с ПО "Гомсельмаш" разработано съемное оборудование с поворотными щитками для перевозки измельченных кормов к тракторным прицепах ИПТС-9 и ЗПТС-12 /4/.

Установка съемного оборудования на указанные прицепы позволила увеличить объем кузова до 30 и 40 м³ соответственно. Указанное оборудование допускает двухстороннюю загрузку от кормоуборочных комбайнов всех типов. Разгрузка прицепов двухсторонняя. При наклоне платформы поворотный клапан воздействует на один из поворотных щитков,



Зависимость приведенных затрат на перевозку от годовой загрузки и типа транспортных средств для перевозки измельченных кормов: 1 — специальное транспортное средство; 2 — специальный кузов; 3 — съемное оборудование к универсальному кузову

обеспечивая беспрепятственный сход измельченной массы.

В результате экспериментальной проверки и обработки хронометражных наблюдений разработанных и серийных транспортных средств на перевозке измельченной массы, проведенной при уборке кукурузы на силос на ОПХ ВНИПТИМЭСХ в 1962 году, определены основные технико-эксплуатационные

и экономические показатели их работы. Полученные результаты представлены в таблице.

Технико-эксплуатационные и экономические показатели транспортных средств на перевозке измельченной массы от кормоуборочного комбайна КСК-100 (расстояние перевозки 8,3 км, урожайность 180 ц/га)

Показатели	Марка транспортного средства		
	ГАЗ-53Б	Т-150К+ 1ПТС-9	Т-150К+ 1ПТС-9Э (макет)
Грузоподъемность, т	3,5	9,0	8,6
Объем кузова, м ³	9,0	17,4	29,8
Объем материала в кузове, м ³	12,7	20,2	29,8
Фактическая грузоподъемность, т	4,1	6,7	9,9
Производительность транспортного средства, т/ч	5,2	6,9	9,4
Эксплуатационные затраты на уборку и перевозку, руб/т	0,82	0,74	0,61
Приведенные затраты на уборку и перевозку, руб/т	0,94	0,80	0,77

Установка съемного оборудования с поворотными шитами на прицеп 1ПТС-9Э позволила поднять его грузоподъемность на 47,8%. Фактическая грузоподъемность прицепа превысила номинальную на 15%. Это было достигнуто при двухсторонней загрузке прицепа. При заготовке силоса работа комбайнов, как правило, групповая, что исключает челночную работу их в загоне и двухстороннюю загрузку. При одно-сторонней загрузке грузоподъемность прицепа составила 9,5 т.

Производительность тракторного поезда со сменным оборудованием возросла на 36,2%, а эксплуатационные затраты снизились на 0,13 руб/т по сравнению с серийным прицепом (Т-150К+1ПТС-9). Производительность макетного

поезда была в 2,4 раза выше, чем автомобиля ГАЗ-53Б, а эксплуатационные затраты были ниже на 0,21 руб/т.

Кроме того, при использовании макетных прицепов потери измельченного корма при загрузке и перевозке были меньше, что обеспечило увеличение погектарного сбора кормового сырья более чем на 5%.

Годовой экономический эффект от использования тракторного прицепа 1ПТС-9 с комплектом съемного оборудования на перевозках силосной и сенажной массы с учетом сокращения потерь кормового сырья составляет свыше 1100 руб. по сравнению с серийным прицепом.

Выводы

1. Эффективным типом транспортных средств для перевозки измельченных кормов на силос в условиях Северного Кавказа является универсальное транспортное средство с кузовами, оснащенными съемным оборудованием.

2. Использование съемного оборудования к прицепам 1ПТС-9 позволяет повысить производительность тракторного поезда на 36%, снизить эксплуатационные затраты на 0,13 руб/т и получить годовой экономический эффект свыше 1100 рублей с учетом стоимости корма, полученного от сокращения потерь при загрузке и перевозке измельченной массы на силос и сенаж, по сравнению с серийным прицепом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калтахчян А.Т. Совершенствование транспортных средств в сельском хозяйстве/ Обзорная информация.- М.: ВНИИТЭИсельхоз МСХ СССР, 1975.

2. ГОСТ 23728-23730-79. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. - М.: 1979.

3. Нормативно-справочные материалы для экономической оценки сельскохозяйственной техники. (Справочное приложение к ГОСТ 23722-79-23730-79 "Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки"). - М.: ЦНИИТЭИ, 1980.

4. АС № 881035. Кузов самосвального транспортного средства для перевозки легковесных грузов/ Бурьянов А.И., Пасечный Н.И., Маренич Ю.Я. и др. -БИ, №46, 1982.

СОДЕРЖАНИЕ

Э.И.Липкович. Основы математического моделирования системы машин	3
В.Я.Жуков, А.Г.Далальянц, А.Р.Раслопов. Обоснование параметров молотильного устройства высокопроизводительного зерноуборочного комбайна	27
В.Н.Курочкин, Л.Д.Пасечная. О моделировании использования организационно-технологических комплексов	45
В.Н.Курочкин, Л.М.Сергеева, Ю.А.Тимофеев. Математическая модель для управления уборочно-транспортным и заготовительным процессом в административном районе	52
А.Ф.Жолобов, Н.Н.Приходько. Алгоритм создания механизированных формирований по уборке зерновых культур на базе межхозяйственной кооперации	57
В.С.Барнагия, Л.М.Сергеева. Применение метода имитационного моделирования для оптимизации структуры уборочно-транспортных комплексов	68
А.И.Дорожук. Обоснование конструктивных параметров молотилки зернокомбайна повышенной производительности	74
В.И.Пахомов. О процессе сушки зерна электрофизическими методами	87
П.А.Чапский. Организация внутрихозяйственной системы кормопроизводства	96
П.А.Чапский, М.Л.Новиков. К обоснованию температуры и устройства для подогрева воздуха при досушивании сена активным вентилированием.	104
А.Д.Беспамятнов, А.Л.Пономаренко, А.Г.Шураков. Обоснование основных параметров блока сушилки	110

универсального пункта послеуборочной обработки початков кукурузы	110
А.А.Гончаров, В.В.Громак, А.А.Климов. Технико-экономическое обоснование запаса мощности электроприводов при случайных нагрузках	117
А.Д.Зотов. К обоснованию параметров транспортера зернового вороха	124
А.С.Бологов. Выбор способа уборки зерновых колосовых	131
А.Д.Беспамятнов, А.В.Надежин. Экспериментальные исследования модернизированного измельчителя растительных материалов ИРМ-15М	139
А.И.Бурьянов, Н.И.Пасечный. Об эффективных типах транспортных средств для перевозки измельченной массы на силос	146

РЕФЕРАТЫ

УДК 519.24:631.3-52

Основы математического моделирования системы машин. Липкович Э.И. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с.3-27.

Раскрыта методика обоснования системы машин для сельскохозяйственного производства (на примерах уборочных работ), основанная на привлечении системного анализа, в частности математического моделирования сельскохозяйственных процессов. Предлагаемые методы позволяют формировать машинные комплексы для села, которые в наибольшей степени соответствуют почвенно-климатическим, а также экономическим условиям зон и подзон.

УДК 631.354.2.026

Обоснование параметров молотильного устройства высокопроизводительного зерноуборочного комбайна. Жуков В.Я., Далальянц А.Г., Распопов А.Р. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с.27-45.

Приведены результаты испытаний зернокомбайна "Дон-1500", сравнивавшегося с рядом лучших зарубежных комбайнов, на основе чего разработаны меры по совершенствованию конструкции молотилки новой зерноуборочной машины.

УДК 519.24:631.15

О моделировании использования организационно-технологических комплексов. Курочкин В.Н., Пасечная Л.Д. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с. 45-51.

Показаны возможность и направление использования методов математического моделирования для оптимизации организационно-технологических комплексов на уборочных работах.

УДК 519.24:631.35

Математическая модель для управления уборочно-транспортным и заготовительным процессом в административном районе. Курочкин В.Н., Сергеева Л.М., Тимофеев Ю.А. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1988, с. 52-57.

Показаны направления и результаты производственной проверки внедрения методов моделирования в управление уборочным и транспортно-заготовительным процессом в административном сельском районе во время жатвы хлебов. Установлен уровень эффективности применения электронной вычислительной техники для планирования и управления на основе разработанной математической модели.

УДК 681.3:631.35

Алгоритм создания механизированных формирований по уборке зерновых культур на базе межхозяйственной кооперации и управление ими. Жолобов А.Ф., Приходько Н.Н. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с. 57-68.

Разработан алгоритм, позволяющий с применением ЭВМ обосновать возможность создания межхозяйственных механизированных формирований на базе кооперации части материальных и трудовых ресурсов отдельных хозяйств района с учетом обеспечения их экономических интересов.

УДК 519.24:631.5

Применение метода имитационного моделирования для оптимизации структуры уборочно-транспортных комплексов. Барнагян В.С., Сергеева Л.М. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с. 68-74.

В модели рассматривается резервирование с помощью подменных комбайнов, направленное не только на повышение надежности функционирования всей системы уборочных комплексов, но и на более рациональное использование механизаторов, участвующих в этом процессе.

Получены регрессионные уравнения,* позволяющие определить рациональные соотношения основных и резервных комбайнов в комплексе.

УДК 631.354.2.026

Обоснование конструктивных параметров молотилки зернокомбайна повышенной производительности. Дорожук А.И. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с. 74-87.

На основе анализа важнейших тенденций комбайностроения в СССР и за рубежом обоснованы перспективная конструктивная схема и технологический процесс молотилки зерноуборочного комбайна пропускной способностью 10 кг/с. В частности, намечены пути совершенствования процесса сепарации на клавишном соломотрясе за счет применения двухъярусного расположения клавишей, увеличения площади сепарации соломотряса и очистки и их интенсификации. В результате обоснована возможность создания зернокомбайнов повышенной производительности без увеличения габаритов.

УДК 631.365.2

О процессе сушки зерна электрофизическими методами. Пахомов В.И. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с. 87-96.

Приводятся элементы аналитического исследования процесса сушки зерна электрофизическими методами (энергией токов высокой частоты и сверхвысокочастотных колебаний), изучается взаимодействие тепло- и массообмена, устанавливаются особенности сушки с применением электромагнитных полей СВЧ в сравнении с процессом обычной тепловой сушки.

УДК 631.363:631.1

Организация внутрихозяйственной системы кормопроизводства. Чапский П.А. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с. 96-104.

Приведены структура, состав и условия функционирования внутрихозяйственной системы кормопроизводства в хозяйствах различного производственного направления, опыт хозяйств по освоению основных элементов системы кормопроизводства, обеспечивающей, в частности, более эффективное проведение работ по уборке и консервированию кормов.

УДК 631.365.23

К обоснованию температуры и устройства для подогрева воздуха при досушивании сена активным вентилированием. Чапский П.А., Новиков М.Л. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Черноград, 1983, с.104-110.

На основе проведенного технико-экономического анализа выявлено, что наиболее рациональным типом устройства для подогрева воздуха при искусственной сушке сена являются эластичные солнечные коллекторы. Применение вентиляционных установок с такими подогревателями позволяет в сравнении с сушкой неподогретым воздухом снизить на 19,5% эксплуатационные затраты и на 37,8% - затраты труда.

УДК 631.365.22

Обоснование основных параметров блока сушилки универсального пункта послеуборочной обработки початков кукурузы. Беспамятнов А.Д., Пономаренко А.Л., Шураков А.Г. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Черноград, 1983, с.110-117.

Показано устройство для сушки кукурузных початков и других продуктов, основанное на применении ленточного рабочего органа. В сравнении с другими лучшими способами сушки подобных материалов ленточная сушилка обеспечивает снижение капиталовложений на 13,5, приведенных затрат - на 13,1% и, кроме того, позволяет экономить дизельное топливо.

УДК 631.3.01-83:658.011.46

Технико-экономическое обоснование запаса мощности

электроприводов при случайных нагрузках. Гончаров А.А., Громак В.В., Климов А.А. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с.117-124.

На основании технико-экономических расчетов и экспериментальных данных определена величина коэффициента запаса при выборе мощности электроприводов с использованием статистических методов.

УДК 631.354.2.025

К обоснованию параметров транспортера зернового вороха. Зотов А.В. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с.124-131.

Обосновываются условия транспортирования зернового вороха на основе анализа стационарной части комплекта оборудования для поточно-индустриальной технологии уборки всего биологического урожая зерновых колосовых культур. Путем обобщения выполненных ранее исследований выбирается рациональная технологическая схема транспортера зернового вороха, приводятся некоторые аналитические закономерности процесса.

УДК 631.35

Выбор способа уборки зерновых колосовых. Болотов А.С. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с.131-138.

Рассмотрены условия, при которых целесообразно применять один из трех способов уборки: прямое комбайнирование, раздельную уборку и смешанную. Целесообразность применения того или иного способа уборки рассматривается с точки зрения полного использования рабочего времени и выполнения уборки минимальными материальными и трудовыми ресурсами.

УДК 631.363.25

Экспериментальные исследования модернизированного измельчителя растительных материалов ИРМ-15М. Беспмятников А.Д., Надежин А.В. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с.139-146.

На основе экспериментальных исследований модернизированного варианта измельчителя ИРМ-15 выявлена его эффективность для использования на фермах крупного рогатого скота, а также для приготовления комбисилоса.

УДК 656.7:63

Об эффективных типах транспортных средств для перевозки измельченной массы на силос. Бурьянов А.И., Пасечный Н.И. - В сб.: Повышение эффективности уборочных работ. - Зерноград, 1983, с.146-151.

Показаны области целесообразного использования специальных кузовов и съемного оборудования к универсальным прицепах для перевозки измельченной массы на силос. Разработанное съемное оборудование к тракторным прицепах ИПТС-9 и ЗПТС-12 позволило повысить производительность труда на 36%, снизить эксплуатационные затраты на 0,13 руб/т и получить годовой эффект свыше 1100 руб. на перевозке измельченной массы на силос и сенаж

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
УБОРОЧНЫХ РАБОТ

Сборник научных трудов

Редакторы	В.Ф.Бирман, Ж.Ф.Валиев
Технические редакторы	А.В.Агафонова, Л.В.Каун
Индексатор	В.Г.Жукова
Корректоры	Ж.Ф.Валиев, Л.В.Каун, Л.Ф.Скнаръ

Подписано к печати 1.09.83. Формат 60x84 1/16. Бумага
тип. №1. Объем 9,8 усл.п.л., 9,5 уч.-издл. Тираж 800.
Заказ 56 - 83 Цена 80 коп.

Печатно-множительная группа ВНИПТИМЭСХ