

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



УДК 658.001.42

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

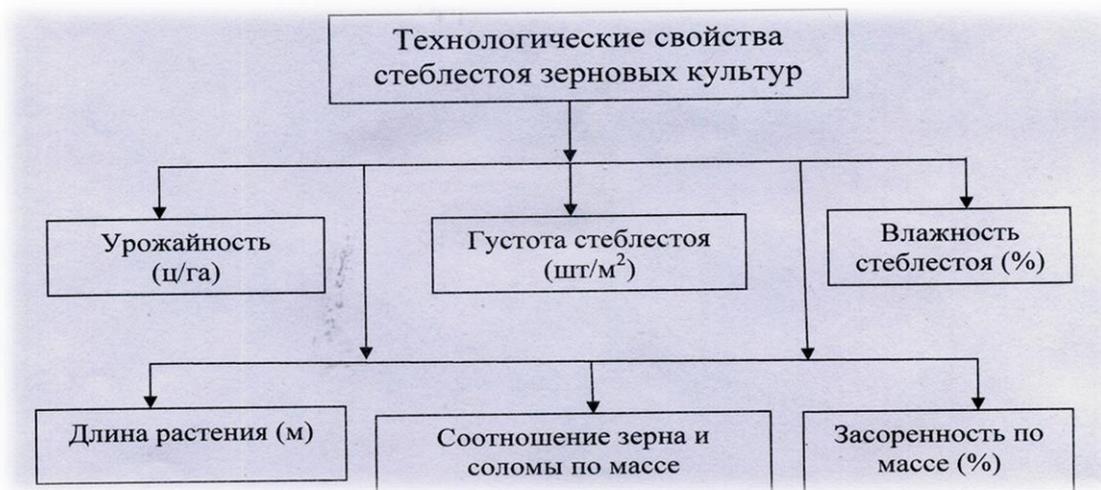


Рис. 1. Схема технологических свойств стеблестоя зерновых культур

Посредством изменения длины стеблестоя за счёт высоты среза во время скашивания зерновых культур при прямом их комбайнировании возможно изменять соотношение зерна и соломы по массе, а также и засоренность хлебной массы перед подачей её в молотильный аппарат, что в конечном итоге отразится на эффективности использования комбайнов.

В общем процесс прямого комбайнирования зерновых культур можно представить в виде схемы технологического воздействия рабочих органов машины или комбайна на стебель (рис. 2).

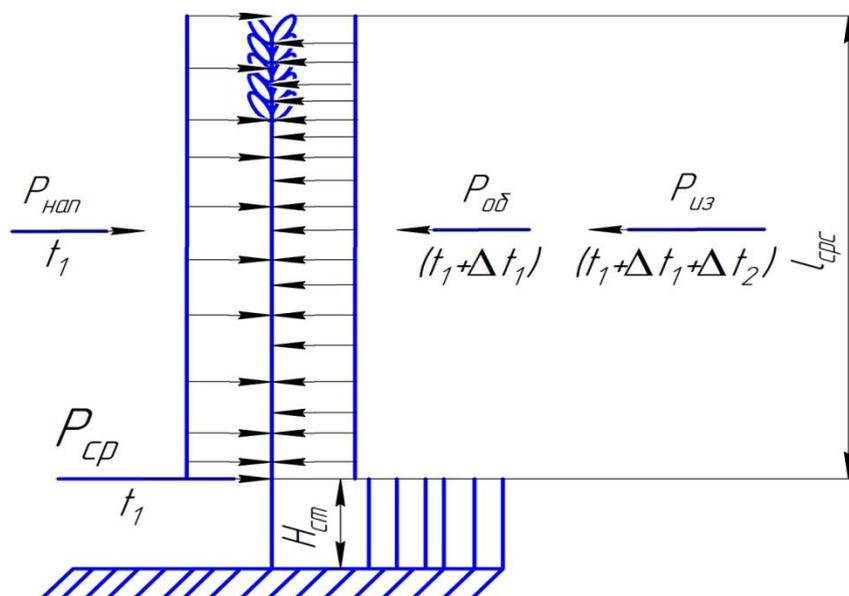


Рис. 2. Схема технологического воздействия рабочих органов машины на стебель при прямом комбайнировании зерновых культур

Из рис. 2 следует, что во время уборки урожая зерновых культур комбайнами со стороны режущего аппарата жатки действует сила  $P_{кр}(t_1)$ , которая характеризует процесс среза растения. Через определённый промежуток времени ( $\Delta t_1$ ), то есть время  $(t_1 + \Delta t_1)$ , действует сила  $P_{об}(t_1 + \Delta t_1)$ , которая характеризует процесс обмолота стебля с колосом длиной  $l_{крс}$ . Сила  $P_{об}(t_1 + \Delta t_1)$  практически воздействует на всю длину стебля  $l_{крс} = H_c - H_{см}$ . Помимо этого, на длину стебля ( $l_{крс}$ ) через промежуток времени ( $\Delta t_1$ ) действует сила  $P_{из}(t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2)$ , которая характеризует процесс измельчения соломины стебля, или незерновой части урожая (НЧУ). При этом возможно, что  $P_{из}(t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2) = 0$ , то есть измельчения НЧУ не осуществляется.

В процессе движения зерноуборочного комбайна по полю с повышением скорости перемещения жатки начинает усиливаться скоростной и упругий напор ( $P_{нап}$ ) хлебостоя как своеобразной упругой среды со своей плотностью ( $\rho$ ) и модулем Юнга  $E$ . Скоростной ( $P_{ск}$ ) и упругий ( $P_{упр}$ ) напор хлебостоя характеризуется выражением [6]:

$$P_{ск} = V_M^2 \cdot \frac{\rho}{2} \quad \text{и} \quad P_{упр} = \varepsilon \cdot E, \quad (1)$$

где  $V_M$  – скорость комбайна на поле, м/с;  
 $\rho$  – первоначальная плотность хлебной массы, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\varepsilon = \frac{\Delta\rho}{\rho}$  – относительная деформация, где  $\Delta\rho$  – изменение плотности хлебной массы ( $\varepsilon = 8,0$ ), кг/м<sup>3</sup>;  
 $E$  – модуль Юнга, для хлебостоя равен  $E = 0,015$  кг/м<sup>3</sup> [6].  
 Давление напора хлебной массы ( $P_{нап}$ ) при прямом комбайнировании зерновых культур равно:

$$P_{нап} = P_{ск} + P_{упр}. \quad (2)$$

При этом величина давления хлебной массы ( $P_{нап}$ ) возрастает при жёстком малоподатливом хлебостое, что характерно для короткостебельных сортов пшеницы, поскольку величина упругого напора повышается [6].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Вышеизложенное позволяет обосновать структурную схему технологического процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стебля как системы, в которой преобразуются входные воздействия в виде функционирования  $X(T_q)$  в выходные  $Y(T_q)$ , определяющие количественные и качественные показатели работы зерноуборочного комбайна (рис. 3).

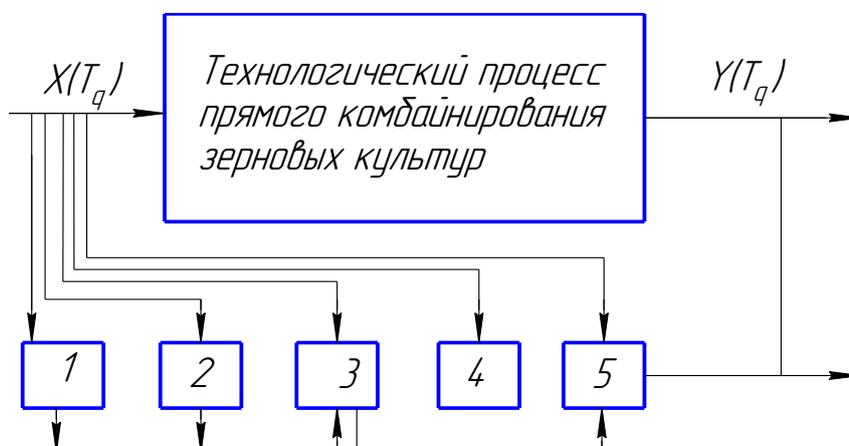


Рис. 3. Схема технологического процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей в виде системы

Подсистемами в этом случае (рис. 3) являются в основном последовательно соединённые во времени технологические процессы технических подсистем преобразующей технической системы «зерноуборочный комбайн». Это такие, как: 1 – срез стебля на высоте ( $h_1$ ); 2 – срез стебля на высоте ( $h_1 + \Delta l$ ) и разбрасывание соломины длиной ( $\Delta l$ ) на поверхности поля; 3 – обмолот продукта (колос+часть соломины) длиной ( $l_2 = l_{срс}$ ); 4 – сепарация крупного вороха (солома), измельчение и разбрасывание соломы по полю; 5 – сепарация мелкого вороха, разбрасывание половы по полю.

Структурная схема технологического процесса, представленная на рис. 3, как система может быть раскрыта в виде технологического воздействия рабочих органов машины или комбайна на стебель (рис. 4). Из схемы на рис. 4 видно, что первой операцией в технологической цепи прямого комбайнирования зерновых колосовых культур с двойным срезом стеблей является срез растений на корню, который выполняет преобразующая техническая подсистема «режущий аппарат» комбайновой жатки.

Общеизвестно [2, 3, 4, 5, 6], что преобразующая техническая система «зерноуборочный комбайн» работает в производственных условиях, где постоянно изменяются внешние воздействия вероятной природы, которые можно рассматривать как случайные функции ( $t$ ), или от пути ( $S$ ).

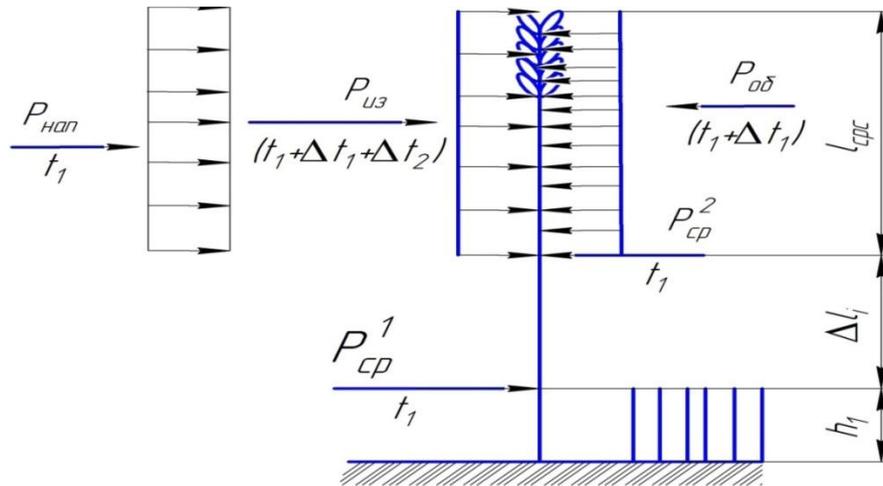


Рис. 4. Схема технологического воздействия рабочих органов машины на стебель при прямом комбайнировании зерновых культур с двойным срезом

Внешние воздействия характеризуют такие факторы, как неравномерность поверхности поля  $Z(t)$  или  $Z(s)$ , вызывающие колебание как комбайновой жатки, а следовательно, и режущего аппарата, так и зерноуборочного комбайна: урожайность соломы  $Y_c(t)$ , или  $Y_c(s)$ , и зерна  $Y_3(t)$ , или  $Y_3(s)$ ; высота стеблестоя  $H_c(t)$ , или  $H_c(s)$ ; влажность зерна  $\omega_3(t)$ , или  $\omega_3(s)$ ; влажность соломы  $\omega_c(t)$ , или  $\omega_c(s)$ ; влажность почвы  $\omega_n(t)$ , или  $\omega_n(s)$ ; густота стеблестоя  $N_c(t)$ , или  $N_c(s)$ ; пониклость стеблей  $K_{пс}(t)$ , или  $K_{пс}(s)$ ; засоренность поля  $Z_c(t)$ , или  $Z_c(s)$ ; высота стеблестоя  $l_c(t)$ , или  $l_c(s)$ ; диаметр стеблестоя  $d_c(t)$ , или  $d_c(s)$ , и другие. В общем виде технологический процесс преобразующей технической системы «зерноуборочного комбайна», составной частью которого является техническая подсистема «режущий аппарат», можно представить в виде информационной модели, построенной по принципу «вход-выход» (рис. 5).



Рис. 5. Информационная модель технологического процесса преобразующей технической системы «зерноуборочный комбайн» с двойным срезом стеблей зерновых колосовых культур

На входе модели действует вектор-функция ( $X$ ) условий работы (внешних возмущений):

$$X = \{z(t), Y_c(t), Y_3(t), l_c(t), d_c(t), \omega_c(t), \omega_3(t), \omega_n(t), N_c(t), K_{пс}(t), Z_c(t)\}. \quad (3)$$

В качестве выходной переменной принимается вектор-функция количественных показателей выполнения технологического процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей:

$$Y = \{(m_3 : m_c), h_1(t), l_2(t), l_p(t), \Delta l_i(t), q_n(t), \Phi(t), \Pi_3(t), V_m(t), W_4(t), Z_{эб}(t)\}, \quad (4)$$

где  $(m_3 : m_c)$  – соотношение зерна и соломы по массе;

$h_1(t) = H_{ст}$  – высота среза или стерни, м;  
 $l_2(t) = l_{срс} = (h_1 + \Delta l_i)$  – высота среза стебля, м;  
 $\Delta l_i$  – промежуточный продукт соломины, м;  
 $l_p(t)$  – длина резки соломы, м;  
 $q_n(t)$  – пропускная способность молотилки комбайна, кг/с;  
 $\Phi(t)$  – фракционный состав вороха, доля, или %;  
 $\Pi_3(t)$  – суммарные потери зерна колосом за машиной, %;  
 $V_m(t)$  – рабочая скорость комбайна, м/с;  
 $W_q(t)$  – часовая производительность комбайна, т/ч, или га/ч;  
 $Z_{зб}(t)$  – засорённость бункерного зерна, %.

Управляющими воздействиями в модели являются высота установки нижнего ( $h_1$ ) и верхнего ( $h_2$ ) уровня среза режущего аппарата комбайновой жатки, рабочая скорость движения ( $V_m$ ) зерноуборочного комбайна, скорость режущего элемента ( $V_{рз}$ , или несущего элемента  $V_n$ ) режущего аппарата комбайновой жатки, угол наклона режущего элемента ( $\alpha$ ) к горизонту.

В ходе разработки модели системы технологического процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стебля принимаем допущения, что скорость среза стеблей верхнего и нижнего режущего элемента равна между собой, то есть  $V_{рз}^B = V_{рз}^H$ , а также, что  $t_p^B = t_p^H$ , то есть происходит одновременный срез, хотя и может быть случай, что  $t_p^B \neq t_p^H$ . Влажность почвы ( $\omega_n$ ) является нормальной и составляет 20,0–25,0 % [1, 6], что обеспечивает движение машины по полю практически без буксования, а следовательно, не оказывает влияния на скоростной режим работы зерноуборочного комбайна. При этом обмолот зерновых колосовых культур осуществляется в фазе начала полной спелости зерна, то есть при влажности зерна  $\omega_3 = 18,0$ –20,0 %, что соответствует влажности соломы  $\omega_c = 20,0$  – 22,0 %. Влажность соломы изменяется от 20 до 40 %. Пониклость стеблестоя составляет не менее 0,92–0,96 [1, 4, 6]

**Закключение.** Результаты анализа технологических свойств стеблестоя зерновых культур свидетельствует о том, ряд из них можно отнести к управляемым, в частности, соотношение зерна и соломы по массе за счет изменения длины среза стеблей.

На основе анализа схем технологического воздействия рабочих органов комбайна на стебель обоснована информационная модель технологического процесса преобразующей технической системы «зерноуборочного комбайна», в которой имеется преобразующая техническая подсистема в виде «режущего аппарата» двойного среза стеблей.

Двойной срез стеблей во время скашивания зерновых культур характеризуется образованием трех видов продукта, в которые входят растительные остатки в виде стерни, растительные остатки части соломины ( $\Delta l_i$ ) на поверхности поля и растительный продукт «часть стебля+колос», подвергающийся технологическому воздействию рабочими органами комбайна.

Наличие промежуточного продукта соломы ( $\Delta l_i$ ) свидетельствует о необходимости уточнения составляющих математической модели процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей.

## Литература

1. Проектирование и организация эффективного процесса уборки зерновых культур /М.М. Константинов, А.П. Ловчиков, В.П. Ловчиков [и др.]. – Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2011. – 144 с.
2. Снижение потерь и механических повреждений зерна при уборке урожая: рекомендации /А.И. Завражнов, А.П. Ловчиков М.М., Константинов [и др.]. – Мичуринск, 2012. – 82 с.
3. К обоснованию сроков уборки зернофуражных культур и технической оснащенности уборочного процесса в технологии производства плющеного кормового зерна /А.П. Ловчиков, В.П. Ловчиков, Ш.С. Иксанов [и др.]. // Вестн. КрасГАУ. – 2012. – № 9. – С. 177–182.
4. Пугачев А.Н. Контроль качества уборки зерновых культур. – М.: Колос, 1980. – 255 с.
5. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов с использованием принципа гармоничности их конструкции. – М.: ВИМ, 2011. – 104 с.
6. Алферов С.А., Калошин А.И., Узаров А.Д. Как работает зерноуборочный комбайн. – М.: Машиностроение, 1981. – 191 с.