

Методический подход к разработке процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей

А.П. Ловчиков, д.т.н., профессор, В.П. Ловчиков, к.т.н., Ш.С. Иксанов, аспирант, ФГБОУ ВПО Челябинская ГАА

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

Цель исследования – обоснование методических положений к разработке процесса прямого комбайнирования зерновых колосовых культур с двойным срезом стеблей.

Задачи исследования: 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 обусловлена использованием комбайнов, поскольку их технологическая загрузка зависит от изменения физико-механических свойств рас-

тений, с которыми напрямую связаны и технологические свойства [1–4].

На рисунке 1 видно, что технологические свойства стеблестоя зерновых культур условно можно разбить на две группы факторов – это 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.

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 засорённость 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).

Из рисунка 2 следует, что во время уборки урожая зерновых культур комбайнами со стороны режущего аппарата жатки действует сила $P_{cp}(t_1)$, которая характеризует процесс среза растения. Через определённый промежуток времени (Δt_1), т.е. время $(t_1 + \Delta t_1)$ действует сила $P_{об}(t_1 + \Delta t_1)$, которая характеризует процесс обмолота стебля с колосом длиной $l_{cp,c}$. Сила $P_{об}(t_1 + \Delta t_1)$ практически воздействует на всю длину стебля $l_{cp,c} = H_c - H_{cm}$.

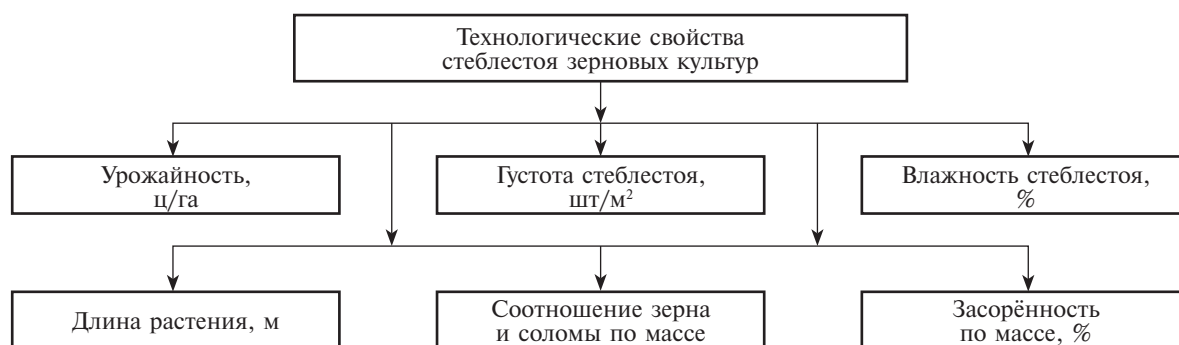


Рис. 1 – Схема технологических свойств стеблестоя зерновых культур

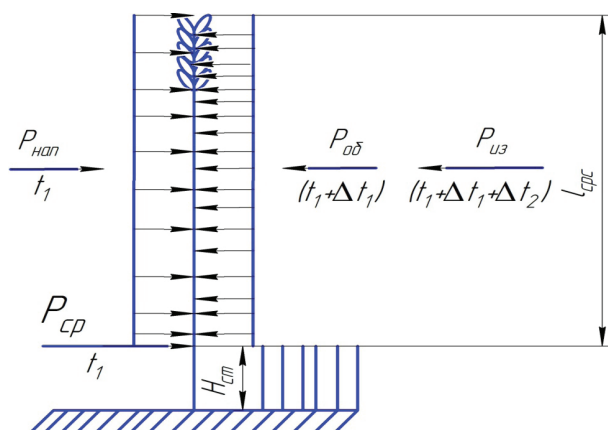


Рис. 2 – Схема технологического воздействия рабочих органов машины на стебель при прямом комбайнировании зерновых культур

Помимо этого на длину стебля ($l_{ср}$) через промежуток времени (Δt_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 $P_{из}(t_1 + \Delta t_1 + \Delta t_2) = 0$, т.е. 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 (ρ) и модулем Юнга (E). Скоростной ($P_{ск}$) и упругий ($P_{упр}$) напор хлебостоя характеризуется выражением [5]:

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

где V_M – скорость комбайна на поле, м/с;
 ρ – первоначальная плотность хлебной массы, кг/м³;
 $\varepsilon = \frac{\Delta \rho}{\rho}$ – относительная деформация, где $\Delta \rho$ – изменение плотности хлебной массы ($\varepsilon = 8,0$), кг/м³;
 E – модуль Юнга, для хлебостоя равен $E = 0,015$ кг/м³ [6].

В общем, 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 [5].

Результаты исследований. 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).

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 (Δl) на поверхности поля; 3 – обмолот продукта (колос + часть соломины) длиной ($l_2 = l_{ср}$); 4 – сепарация крупного вороха (солома), измельчение и разбрасывание соломы по полю; 5 – сепарация мелкого вороха, разбрасывание половец по полю.

Структурная схема технологического процесса, представленная на рисунке 3, как система может быть раскрыта в виде технологического воздействия рабочих органов машины или комбайна на стебель (рис. 4). По схеме 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, 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) [2–6].

Внешние воздействия характеризуют такие факторы, как неравномерность поверхности поля

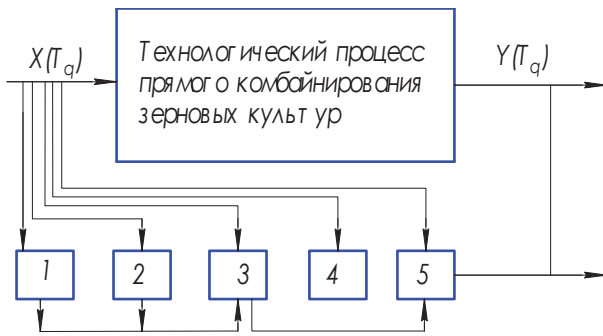


Рис. 3 – Схема технологического процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей в виде системы

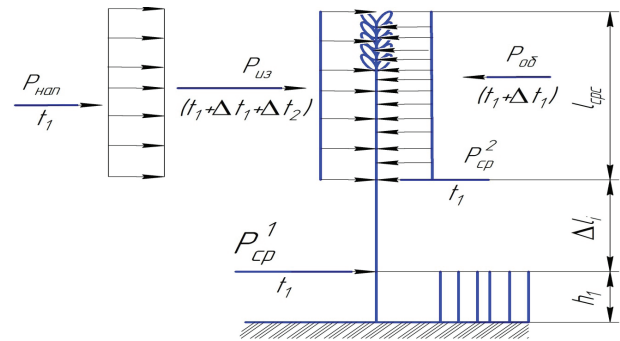


Рис. 4 – Схема технологического воздействия рабочих органов машины на стебель при прямом комбайнировании зерновых культур с двойным срезом

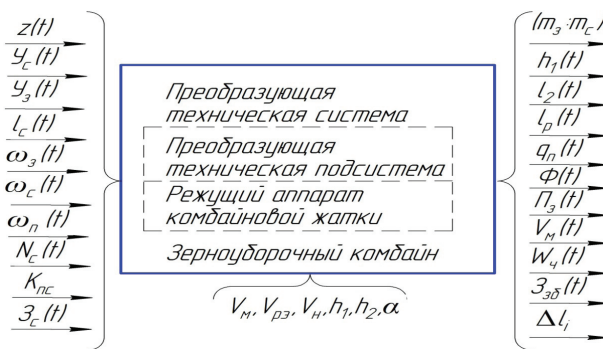


Рис. 5 – Информационная модель технологического процесса преобразующей технической системы «зерноуборочный комбайн» с двойным срезом стеблей зерновых колосовых культур

$Z(t)$ или $Z(s)$, вызывающее 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 $K_{пс}(s)$; засорённость 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 «зерноуборочный комбайн», составной частью которого является техническая подсистема «режущий аппарат», можно представить в виде информационной модели, построенной по принципу «вход – выход» (рис. 5).

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:

$$Y = \{(m_3 : m_c), h_1(t), l_2(t), l_p(t), \Delta l_i(t), q_n(t), \Phi(t), \Pi_3(t), V_m(t), W_q(t), Z_{36}(t)\}, \quad (4)$$

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

$h_1(t) = H_{ст}$ – высота среза или стерни, м;

$l_2(t) = l_{спс} = (h_1 + \Delta l_i)$ – высота среза стебля, м;

Δl_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;

$Z_{36}(t)$ – 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 (α) 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, т.е. $V_{рз}^B = V_{рз}^H$, а также, что $t_p^B = t_p^H$, т.е. происходит одновременный срез, хотя и может быть случай, что $t_p^B \neq t_p^H$. Влажность почвы (ω_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, т.е. 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].

Выводы. Результаты анализа технологических свойств стеблестоя зерновых культур свидетельствуют о том, что ряд из них можно отнести к управляемым, в частности соотношение зерна и соломы по массе за счёт изменения длины среза стеблей.

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

Двойной срез стеблей во время скашивания зерновых культур характеризуется образованием трёх видов продукта – это растительные остатки в виде стерни, растительные остатки части соломины (ΔI_1) на поверхности поля и растительный продукт «часть стебля+колос», который подвер-

гается технологическому воздействию рабочими органами комбайна.

Наличие промежуточного продукта соломы (ΔI_1) свидетельствует о необходимости уточнения составляющих математической модели процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей.

Литература

1. Константинов М.М., Ловчиков А.П., Ловчиков В.П. и др. Проектирование и организация эффективного процесса уборки зерновых культур. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2011. 144 с.
2. Завражнов А.И., Ловчиков А.П., Константинов М.М. и др. Снижение потерь и механических повреждений зерна при уборке урожая: рекомендации. Мичуринск: Изд-во Мичуринского госуниверситета, 2012. 82 с.
3. Ловчиков А.П., Ловчиков В.П., Иксанов Ш.С., и др. К обоснованию сроков уборки зернофуражных культур и технической оснащённости уборочного процесса в технологии производства плюшевого кормового зерна // Вестник Красноярского агроуниверситета. 2012. Вып. 9. С. 177–182.
4. Пугачёв А.Н. Контроль качества уборки зерновых культур. М.: Колос, 1980. 255 с.
5. Алферов С.А., Калошин А.И., Угаров А.Д. Как работает зерноуборочный комбайн. М: Машиностроение, 1981. 191 с.
6. Жалнин Э.В. Расчёт основных параметров зерноуборочных комбайнов с использованием принципа гармоничности их конструкции. М.: ВИМ, 2011. 104 с.