

Методический подход к исследованию эффективности технологических процессов измельчения и разброса соломы зерноуборочного комбайна

А.П. Ловчиков, д.т.н., С.А. Турчанинов, аспирант, А.О. Бжезовский, аспирант, О.С. Шагин, аспирант, ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ

Современный зерноуборочный комбайн в настоящее время рассматривается как самоходная молотилка и совокупность технологических адаптеров [1–9].

Материал, методы и результаты исследования. Исследование проводилось с целью обоснования методического подхода к изучению эффективности технологических процессов измельчения и разброса соломы зерноуборочного комбайна. Исследование базируется на общелогическом методе и анализе.

Технологический процесс зерноуборочного комбайна в многочисленных исследованиях рассматривается в виде блок-схемы (рис. 1) [3–12].

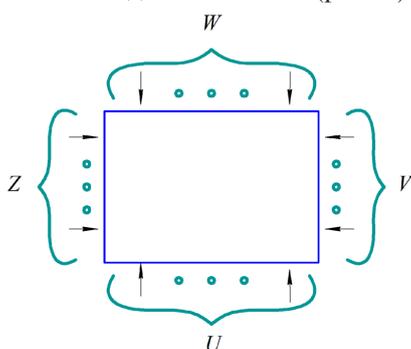


Рис. 1 – Блок-схема:

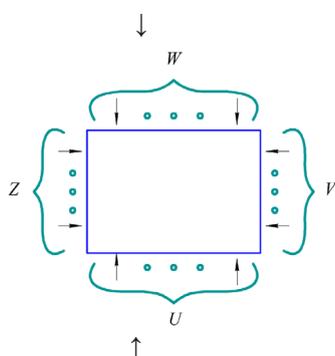
Z – вектор контролируемых возмущений; V – вектор контролируемых выходных переменных; W – вектор неконтролируемых возмущений, воздействующих на режим технологического процесса; U – вектор контролируемых управляемых воздействий, с помощью которых регулируется технологический процесс

Согласно блок-схеме, представленной на рисунке 1, технологические процессы измельчения и разброса соломы комбайна при прямом комбайнировании зерновых рассматривались как замкнутые технологические подсистемы, что практически не соответствует современным агротехнологиям возделывания сельскохозяйственных культур. Такой вывод обусловлен тем, что на качественно-количественные показатели выполнения данных подпроцессов технологического процесса зерноуборочного комбайна влияют исходные требования процессов почвообработки и посева ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Исходя из этого факта, технологические подпроцессы измельчения и разброса соломы во время комбайнирования зерновых культур можно рассматривать как открытые подсистемы на входе и выходе (молотильный аппарат + соломотряс), что отражено на рисунке 2.

По своей сущности измельчение и разброс соломы при комбайнировании зерновых культур явление многоплановое [1–6], поскольку включает в себя подпроцессы: измельчение или измельчение + расщепление; аэротранспортировку; аэроразброс. По своей сути техническое устройство измельчитель-разбрасыватель соломы (ИРС) зерноуборочного комбайна характеризуется совокупностью подпроцессов, для которых имеет место пространственно-временная структура и не просто влияние и взаимное влияние, а частично взаимное включение.

Наличие подпроцессов измельчения или измельчения + расщепления, аэротранспортировки и аэроразброса технологического процесса зерноуборочного комбайна позволяет получить их

Исходные требования, к измельчённой соломе в ресурсосберегающих технологиях возделывания сельскохозяйственных культур



Качественно-количественные показатели продукта (соломы) после технологического воздействия

Исходные требования, к измельчённой соломе в ресурсосберегающих технологиях возделывания сельскохозяйственных культур

Рис. 2 – Блок-схема технологических подпроцессов измельчения и разброса соломы зерноуборочного комбайна как открытых подсистем

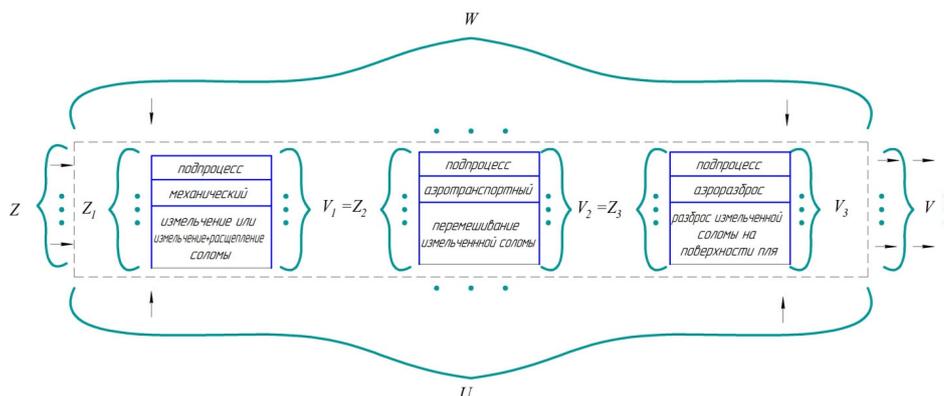


Рис. 3—Структурная схема подпроцессов преобразующей технической подсистемы в виде измельчителя-разбрасывателя соломы зерноуборочного комбайна

однородность. При этом обозначенные подпроцессы взаимодействуют, а это означает, что выход одного подпроцесса образует непосредственно вход следующего (рис. 3).

Преобразование входа в выход (рис. 3) можно рассматривать как процесс, а это означает, что при исследовании функционирования преобразующей технической подсистемы в виде измельчения-разбрасывания соломы зерноуборочного комбайна можно применить процессный подход [13, 14]. Его преимущество заключается в непрерывности управления на стыке между отдельными подпроцессами, а также при их комбинации и взаимодействии.

В ранее опубликованной работе отмечается, что выходные показатели функционирования технологического процесса зерноуборочного комбайна условно можно рассматривать как два типа – интегральные и дифференциальные [3]. Так, интегральные – это те показатели, которые образуются в результате действия совокупности преобразующих технических подсистем, а дифференциальные – это выходные показатели, которые образуются в результате действия отдельных преобразующих технических подсистем. К данному типу можно отнести показатели, характеризующие измельчение и разброс соломы на поле.

Исходя из вышеизложенного, преобразующую техническую подсистему измельчитель-разбрасыватель соломы зерноуборочного комбайна можно представить в виде структурной модели, построенной по принципу «вход–выход» (рис. 4).

По рисунку 4 следует, что преобразующая техническая подсистема измельчитель-разбрасыватель соломы комбайна состоит из двух типов технических устройств, имеющих различное технологическое назначение. Так, подсистема-1 обеспечивает измельчение соломы, а подсистема-2 – разброс измельченной соломы на поле. Кроме того, структурная модель (рис. 4) свидетельствует о том, что входные показатели $X(Tg)$ образуются посредством двух преобразующих технических подсистем зерноуборочного комбайна – это молотильный аппарат и соломотряс. В частности, X_1 – длина стебля соломины, X_2 – диаметр стебля соломины, X_3 – подача соломы в измельчитель, X_4 – равномерность подачи соломы по ширине ротора-измельчителя, X_5 – пространственное расположение стеблей в потоке соломы, т.е. структура потока соломы, X_6 – влажность соломы.

Общеизвестно, что любой процесс и подпроцесс условно можно разбить на три составляющие: исходный материал, технологический процесс или подпроцесс и конечный (готовый) продукт (рис. 5).

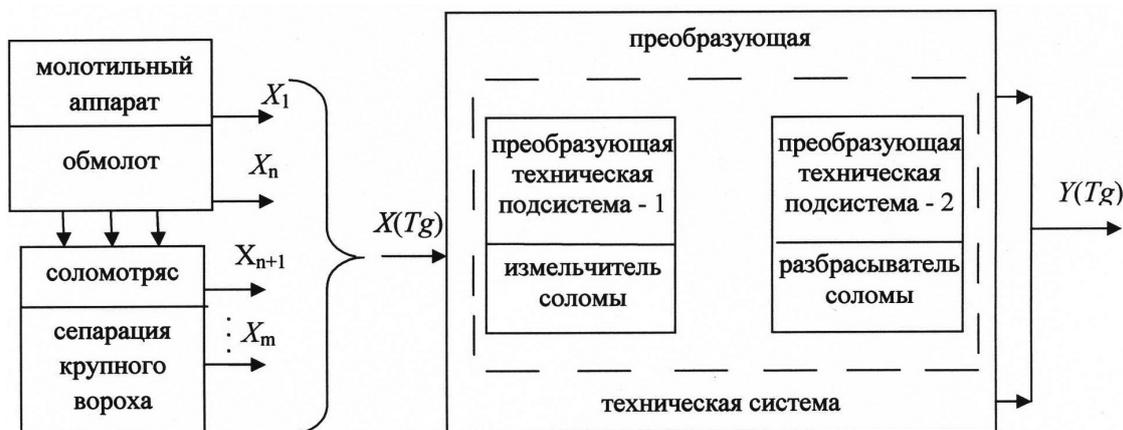


Рис. 4—Структурная модель измельчителя-разбрасывателя соломы как преобразующей технической подсистемы зерноуборочного комбайна

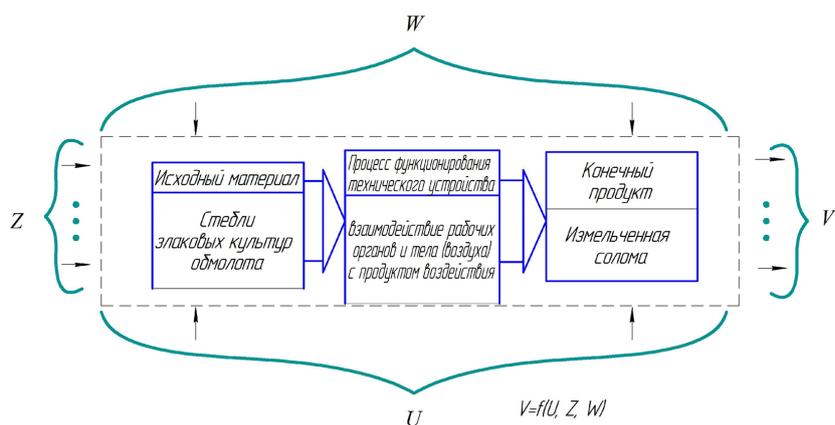


Рис. 5 – Блок-схема технологического подпроцесса измельчителя-разбрасывателя соломы зерноуборочного комбайна

Сложность технологического процесса измельчителя-разбрасывателя соломы зерноуборочного комбайна заключается в том, что при выполнении подпроцессов технического устройства рабочие органы и воздух (тело) последовательно взаимодействуют с объектом технологического воздействия (стебель соломы, измельчённая солома), т.е. с исходным и конечным состоянием продукта. В результате формируется система качественных показателей продукта воздействия, которая во многом определяется качеством преобразующей технической подсистемы в виде ИРС зерноуборочного комбайна, или её составляющими и их взаимосвязью.

По рисункам 3–5 видно, что функционирование технологических подпроцессов ИРС комбайна можно представить в виде модели [13, 15, 16], построенной по принципу «вход–выход». На входе модели действует вектор-функция Z внешних воздействий:

$$Z = (q_c(t), \omega_c(t), \omega_{\text{сор}}(t), K_{\text{св}}(t), B_c(t), K_{\text{сн}}(t)), \quad (1)$$

где $q_c(t)$ – удельная подача соломы на 1 м ширины измельчителя-разбрасывателя комбайна, кг/с;
 $\omega_c(t)$ – влажность соломы, %;
 $\omega_{\text{сор}}(t)$ – влажность сорных растений, %;
 $K_{\text{св}}(t)$ – коэффициент, характеризующий связанность стеблей соломы;
 $B_c(t)$ – ботанический сорт сельскохозяйственной культуры;
 $K_{\text{сн}}(t)$ – коэффициент неравномерности подачи соломы по ширине измельчителя-разбрасывателя комбайна.

В качестве выходной переменной принимается вектор-функция качественно-количественных показателей выполнения технологических подпроцессов измельчителя-разбрасывателя соломы комбайна:

$$Y = (q_{\text{уд}}(t), D_{\text{из}}(t), F_{\text{из}}(t), v_b(t), Q_b(t), K_p(t), K_{\text{рш}}(t), K_{\text{нрс}}(t)), \quad (2)$$

где $q_{\text{уд}}(t)$ – удельный расход топлива, кг/га;
 $D_{\text{из}}(t)$ – длина измельчённой соломы, мм;

$F_{\text{из}}(t)$ – фракционный состав измельчённой соломы, %;

$v_b(t)$ – скорость воздушного потока по ширине ИРС комбайна, м/с;

$Q_b(t)$ – расход воздуха ИРС комбайна, м³/с;

$K_p(t)$ – коэффициент, характеризующий расщепление соломины, %;

$K_{\text{рш}}(t)$ – коэффициент, характеризующий разброс измельчённой соломы по ширине захвата комбайновой жатки;

$K_{\text{нрс}}(t)$ – коэффициент, характеризующий неравномерность разброса продукта измельчения (соломы) по ширине захвата комбайновой жатки.

Вывод. Вышеизложенное свидетельствует о сложности протекания технологических подпроцессов ИРС зерноуборочного комбайна, поскольку имеет место воздействие на объект (растение в виде соломы) как механическое, так и телом (воздухом). На основе представленного материала далее можно сформулировать структурно-расчетную модель подпроцессов ИРС зерноуборочного комбайна, которая отражает взаимодействие отдельных элементов в системе «объект воздействия – среда – техническая подсистема».

Литература

1. Ловчиков А. П. Технико-технологические основы совершенствования зерноуборочных комбайнов с большим молотильным аппаратом. Ульяновск: Зебра, 2016. 111 с.
2. Ловчиков А. П. Результаты производственной проверки прямого комбайнирования с высоким срезом зерновых культур / А. П. Ловчиков, В. П. Ловчиков, Ш. С. Иксанов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (63). С. 75–77.
3. Ловчиков А. П. Методический подход к моделированию технологического процесса зерноуборочного комбайна / А. П. Ловчиков, Е. А. Поздеев, О. С. Шагин [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 6 (74). С. 91–93.
4. Ловчиков А. П., Ловчиков В. П., Поздеев Е. А. Агротехническая оценка работы измельчителей-разбрасывателей соломы комбайнов при уборке зерновых культур прямым комбайнированием // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (58). С. 55–58.
5. Ловчиков А. П. Повышение эффективности технологических систем уборки зерновых культур (на примере регионов Южного Урала и Северного Казахстана СНГ): дис. ... докт. техн. наук. Оренбург: ОГАУ, 2006. 271 с.
6. Ловчиков А. П., Поздеев Е. А., Шагин О. С. Взаимопроникающие движения в воздушно-соломистой смеси при

- функционировании ИРС зерноуборочного комбайна // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (73). С. 152–154.
7. Ловчиков А. П., Ловчиков В. П., Иксанов Ш. С. Теоретический аспект технологического процесса прямого комбайнирования зерновых культур с двойным срезом стеблей // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 3 (53). С. 92–95.
 8. Завражнов А. И. Снижение потерь и механических повреждений зерна при уборке урожая: метод. рекомендации / А. И. Завражнов, М. М. Константинов, А. П. Ловчиков [и др.] Мичуринск: МГАУ, 2012. 82 с.
 9. Ловчиков А. П. Формирование уборочно-транспортных комплексов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2003. № 10. С. 7–9.
 10. Ловчиков А. П. Повышение качества зерна и эффективности использования комбайнов в условиях Южного Урала. Челябинск: РЕКПОЛ, 2002. 144 с.
 11. Ловчиков А. П., Ловчиков В. П., Грднева И. И. Снижение травмирования зерна в период уборки урожая // Хранение и переработка сельхозсырья. 2002. № 12. С. 35–38.
 12. Ловчиков А. П., Ловчиков В. П. Механическое травмирование зерна и выход продукции помола // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. № 3. С. 55–57.
 13. Ловчиков А. П., Ловчиков В. П. Влияние механических микроповреждений зерна колосовых культур на выход продукции при помоле: учеб. пособие. Челябинск: Южно-Уральский ГАУ, 1999. 61 с.
 14. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 2001. 343 с.
 15. Система менеджмента качества. ИСО 9001. Международный стандарт. М., 2001. 25 с.
 16. Карташов Л. П. Системный синтез технологических объектов АПК. Екатеринбург: УрОРАН, 1988. 185 с.
 17. Карташов Л. П. Параметрический и структурный синтез технологических объектов на основе системного подхода и математического моделирования. Екатеринбург: УрОРАН, 2009. 225 с.