

Взаимопроникающие движения в воздушно-соломистой смеси при функционировании ИРС зерноуборочного комбайна

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

Зерноуборочный комбайн можно рассматривать как сложную многопараметрическую преобразующую техническую систему [1–12], состоящую из различных технико-технологических подсистем, которые имеют своё технологическое назначение.

Исследование проводили с целью обоснования методического подхода моделирования технологи-

ческого подпроцесса измельчителя-разбрасывателя зерноуборочного комбайна. В процессе исследования решалась задача: обосновать методический подход к разработке модели взаимопроникающего движения в воздушно-соломистой смеси при функционировании измельчителя-разбрасывателя комбайна. Исследование базировалось на общелогическом методе и математическом анализе.

Результаты исследования. Взаимодействие рабочих органов измельчителя-разбрасывателя комбайна с объектом воздействия приводит к изменению

состояния незерновой части стебля (соломины) и её качественно-количественных характеристик (переход из неустойчивого состояния в состояние покоя). Одновременно с этим под воздействием аэродинамических сил (напора воздуха), образующегося от вращения ножей измельчителя-разбрасывателя соломы (ИРС) комбайна, продукт измельчения распределяется за машиной.

Общеизвестно, что основу любого технологического процесса и подпроцесса составляют взаимодействия между структурами поведения и режимами функционирования в системе механико-технологического пространства, что отражается в общем виде системой уравнений, т.е. в виде математических моделей.

Технологический процесс измельчителя-разбрасывателя соломы (ИРС) зерноуборочного комбайна характеризуется образованием смеси воздух + измельчённая солома, т.е. газосмесь (газ + твёрдые частицы), которую можно рассматривать как гетерогенную среду (суспензию) и многоскоростную систему. В данной смеси за сплошную среду можно принять воздух, где находится «скелет» твёрдых частиц в виде измельчённой соломы, который также движется.

Исходя из вышеизложенного, предположим, что в каждой точке пространства после измельчителя солома комбайна находит несколько сред (в нашем случае две) со своей приведённой плотностью ρ_i (M_i – масса i -компонента, $i = 1 \dots m$ в единице объёма), со своими скоростями U_i и v_i , плотностью ρ_i , давлением p_i , температурой T_i (примем допущение, что T_i незначительна). Воздушно-соломистая смесь в целом характеризуется параметрами:

$$\rho = \sum_{i=1}^m \rho_i, \quad \rho \cdot \mathcal{V} = \sum_{i=1}^m \rho_i \cdot v_i. \quad (1)$$

Кроме приведённых плотностей ρ_i смесь может характеризоваться истинной плотностью ρ_i^0 , т.е. плотностью воздуха и измельчённой соломы, соответствующих данному давлению при отсутствии других компонентов смеси.

Предположим, что в объёме V находится воздушно-соломистая смесь, состоящая из $i = 2$ компонент. Величина V_i – часть объёма, занимаемая i -й компонентой смеси при истинной плотности. Тогда согласно закону сохранения массы имеем:

$$\rho_i^0 \cdot V_i = V \cdot \rho_i, \quad (2)$$

откуда

$$\frac{V_i}{V} = \frac{\rho_i}{\rho_i^0}.$$

Так как $V = \sum_{i=1}^m V_i$, то получим:

$$\sum_{i=1}^m \frac{\rho_i}{\rho_i^0} = 1,0. \quad (3)$$

Исходя из выражения (3) воздушно-соломистую смесь можно описать уравнением, связывающим

приведение плотности ρ_i с истинными плотностями ρ_i^0 , которое имеет вид:

$$\frac{\rho_i}{\rho_1^0} + \frac{\rho_i}{\rho_2^0} + \dots + \frac{\rho_i}{\rho_m^0} = 1,0. \quad (4)$$

Соотношение $\frac{\rho_i}{\rho_1^0} = \gamma_i$ есть объёмная доля

i -й компоненты воздушно-соломистой смеси. Выражение (4) позволяет замкнуть систему уравнений смеси.

Для воздушно-соломистой смеси удельная энергия (приходящаяся на единицу массы) E_i имеет вид:

$$E_i = U_i + K_i = U_i + \frac{v_i^2}{2}, \quad (5)$$

где U_i – внутренняя энергия;

$\frac{v_i^2}{2}$ – кинетическая энергия единицы массы.

Тогда для смеси в целом энергия имеет вид:

$$\rho \cdot E = \sum_{i=1}^m \rho_i \cdot E_i = \sum_{i=1}^m \rho_i \cdot \left(U_i + \frac{v_i^2}{2} \right). \quad (6)$$

При движении воздушно-соломистой смеси трудно определить энергии, поэтому воспользуемся скоростями v_i , которые называют диффузионными и определяемыми равенством:

$$v_i = v_i - v.$$

Тогда на основе работы Х.А. Рахматулина [13] можно записать:

$$\rho \cdot E = \sum_{i=1}^m \rho_i \cdot \frac{(v_i + v)^2}{2} = \frac{\rho_0 \cdot v^2}{2} + \sum_{i=1}^m \frac{\rho_i \cdot v_i^2}{2}, \quad (7)$$

т.е. кинетическая энергия многоскоростной среды определяется не только её движением как целого со скоростью v , но и скоростями относительного движения составляющих – воздуха и твёрдых частиц, или измельчённой соломы.

Исходя из этого положения полная энергия смеси равна:

$$E = U + \frac{v^2}{2} + \frac{1}{\rho} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{\rho_i \cdot v_i^2}{2}. \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что полная энергия воздушно-соломистой смеси зависит от относительного движения её составляющих.

Кроме того, гетерогенная смесь (в нашем случае воздух + твёрдые частицы (измельчённая солома)) описывается многоскоростной моделью с учётом динамических эффектов, возникающих из-за несоответствия скоростей отдельных фаз, поскольку сила взаимодействия компонент смеси пропорциональна разности их скоростей. При этом не отсутствует линейная зависимость взаимного сопротивления от разности скоростей, так как коэффициент взаимного сопротивления зависит не только от скоростей, но и от других параметров смеси, в частности от геометрических параметров измельчённой соломы.

Вывод. Анализ динамики взаимопроникающих движений в воздушно-соломистой смеси свидетельствует о сложности протекания процесса перемещения компонентов газозвеси, поскольку во многом зависит как от относительных движений составляющих, так и от других параметров, в том числе от геометрических параметров измельчённой соломы.

Литература

1. Ловчиков А.П. Техничко-технологические основы совершенствования зерноуборочных комбайнов с большим молотильным аппаратом. Ульяновск: Зебра, 2016. 111 с.
2. 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. Повышение эффективности технологических систем уборки зерновых культур (на примере регионов Южного Урала и Северного Казахстана СНГ): дисс. ... докт. техн. наук. Оренбург, 2006. 271 с.
4. Ловчиков А.П., Ловчиков В.П., Поздеев Е.А. Биологизация земледелия в ресурсосберегающих технологиях возделывания зерновых культур // Международный научно-исследовательский журнал (International Research Journal):1143. 4.2, Екатеринбург. 2016. С. 44–46.
5. 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.
6. 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.
7. Снижение потерь и механических повреждений зерна при уборке урожая / А.И. Завражнов, М.М. Константинов, А.П. Ловчиков [и др.]: методич. рекомендации. Мичуринск: МГАУ, 2012. 82 с.
8. Ловчиков А.П. Формирование уборочно-транспортных комплексов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2003. № 10. С. 7–9.
9. Ловчиков А.П. Повышение качества зерна и эффективности использования комбайнов в условиях Южного Урала. Челябинск: РЕКПОЛ, 2002. 144 с.
10. Ловчиков А.П., Ловчиков В.П., Гриднева И.И. Снижение травмирования зерна в период уборки урожая // Хранение и переработка сельхозсырья. 2002. № 12. С. 35–38.
11. Ловчиков А.П., Ловчиков В.П. Механическое травмирование зерна и выход продукции помолы // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. № 3. С. 55–57.
12. 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.
13. Рахимов Х.Р. Газовая и волновая динамика. М.: Московский университет. 1983. 200 с.