

УДК 631.354.2.076

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРНА И ПОЛОВЫ НА ФРАКЦИИ
В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО
КОМБАЙНА**

И. А. БАРАН

*Научно-технический центр комбайностроения
ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь*

В. Б. ПОПОВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

А. Н. ВЫРСКИЙ, С. В. ТРУХАНОВИЧ

*Научно-технический центр комбайностроения
ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь*

Введение

В настоящее время одной из важнейших задач, стоящих перед Научно-техническим центром комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», является разработка сельскохозяйственной техники, востребованной на зарубежных рынках.

В Научно-техническом центре комбайностроения ОАО «Гомсельмаш» внедрены и активно используются современные компьютерные САЕ-технологии для решения задач механики деформируемого тела, задач кинематического и динамического моделирования сложных механических систем, нелинейных и быстропротекающих процессов в деформируемых средах со сложными реологическими свойствами. Одной из важнейших областей является моделирование и исследование аэродинамических процессов в тракте сельскохозяйственных машин и взаимодействия воздушных потоков с растительной массой. Отличительной особенностью работы зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов является наличие движущейся растительной массы в воздушном потоке, проходящем через сложное геометрическое пространство технологического тракта. Несмотря на большое количество исследований аэродинамики систем очистки, вопросы, связанные с взаимодействием зерновой массы и воздушного потока, остаются открытыми.

Основной целью данной работы является описание настройки симуляции и результаты решения задачи движения двух фаз частиц (зерна и половы) в аэродинамическом потоке системы очистки зерноуборочного комбайна КЗС-1624 при формировании воздушного потока осевым вентилятором средствами Star-CCM+.

Моделирование процесса разделения растительной массы

Для определения параметров системы очистки комбайна воспользуемся методикой, представленной в работах [6]–[11].

Площадь решета определяется по допустимой удельной нагрузке на 1 м^2 [6]:

$$F = \frac{q_B}{q_F},$$

где q_B – подача на очистку вороха, кг/с; q_F – удельная нагрузка на единицу площади решета.

Подача вороха на очистку определяется по формуле [6]:

$$q_B = q(1 - \lambda k_0),$$

где q – подача хлебной массы в молотилку, кг/с; λ – коэффициент солоmistости (отношение массы соломы ко всей хлебной массе 1–1,5–2,5):

$$\lambda = \frac{c}{c + 3} = \frac{1,5-2,5}{1,5-2,5 + 1} = 0,6-0,714;$$

k_0 – коэффициент, характеризующий работу молотильного устройства и соломотряса.

Так как часть мелкой соломы попадает вместе с зерном на очистку, то $k_0 = 0,6-0,9$.

Принимаем величину подачи хлебной массы в молотилку равной $q = 10 \text{ кг/с}$.

Тогда

$$q_B = 10(1 - 0,6-0,714 \cdot 0,6-0,9) = 3,5-6,4 \text{ кг/с}.$$

Следовательно, ширину решета принимают равной ширине молотилки, т. е. $B_M = B_p = 1,5 \text{ м}$.

Тогда длина решета определяется по формуле [6]:

$$L = \frac{F}{B_p} = \frac{1,4-4,26}{1,5} = 0,933-2,84 \text{ м}.$$

Общая длина решет зерноуборочного комбайна составляет более 3 м. Для уменьшения габаритных размеров и лучшей сепарации зернового вороха решета устанавливают в 2–3 яруса: верхнее и нижнее решето с возможной установкой дополнительных решет.

Рабочую скорость воздушного потока устанавливают в зависимости от качества вороха, поступающего на очистку. Она должна превышать критическую скорость (скорость витания) $V_{кр}$ тех элементов, которые должны быть вынесены за пределы машины. Принимая это во внимание, $C_{ср}$ находим по выражению [11]:

$$C_{ср} = (1,4-1,7)V_{кр} = aV_{кр},$$

где $a = 1,1-1,7$ – для соломы длиной до 200 мм; $a = 1,9-3,7$ – для половы; $a = 2,5-5,0$ – для сбины; $a = 1,5-3,0$ – для обмолоченных колосьев.

Приняв минимальную критическую скорость для зерен пшеницы $V_{кр} = 8,9 \text{ м/с}$ [8], определим скорость воздушного потока на выходе из вентилятора:

$$C_{ср} \leq 1,4 \cdot 8,9 = 12,46 \text{ м/с}.$$

Опыты с системами очисток комбайнов и молотилок показывают, что средняя скорость воздуха в зоне расположения решета составляет 60–70 % от скорости $C_{ср}$ [10] (см. таблицу).

Аэродинамические характеристики семян
и других сельскохозяйственных материалов

Название семян	Скорость витания, м/с	Частицы	Скорость витания, м/с
Пшеница	8,9–11,5	Солома	5,9–9,0
Рожь	8,4–9,9	Полова	2,7–5,3
Ячмень	8,4–10,8	Сбоина	2–4
Овес	8,1–9,1	Мелкие сорняки	4,5–5,2
Соя	17,3–20,2	Стержни колоса	2,7–4,0

Таким образом, скорость воздушного потока в районе решет должна быть меньше минимальной критической скорости витания зерен и, конечно, выше скорости витания тех элементов, которые необходимо удалить за пределы машины.

Для стабильного удержания зерен и невынесения их за пределы очистки принимаем максимальную скорость воздушного потока на выходе из вентилятора равной $C_{cp} = 10$ м/с.

На рис. 1 представлена геометрическая модель проточной части системы очистки зерноуборочного комбайна, имеющая ряд дефлекторов, жалюзи решет с регулируемым поворотом и другие конструктивные элементы, воздействующие на воздушный поток и движущиеся частицы. Для расчета движения частиц в аэродинамическом потоке необходимо импортировать САД-модель системы очистки, задать сетку, физические модели и граничные условия. Для оценки динамики взаимодействия потоков воздуха с частицами зерна и соломы и стенками конструкции расчет проводили в области, границы которой совпадают с положением стенок системы очистки.

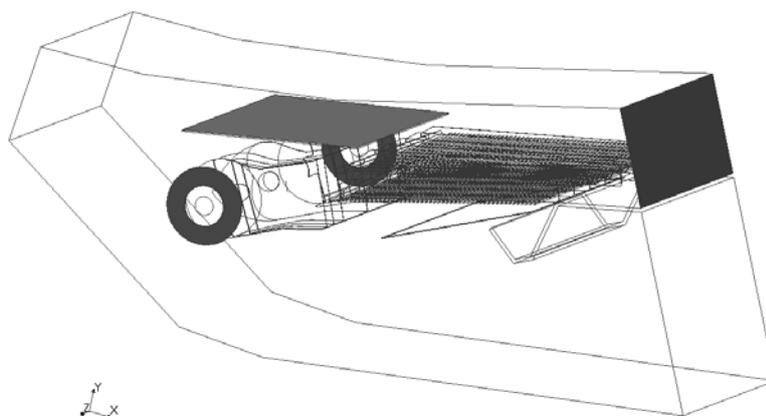


Рис. 1. Геометрическая модель проточной части системы очистки зерноуборочного комбайна

Объемная конечно-элементная сетка (КЭМ) проточной части системы очистки, сгенерированная посредством STAR-CCM+, представлена на рис. 2.

Решение задачи движения массы в аэродинамическом потоке выполнялось в несколько этапов. На первом этапе осуществляется численное моделирование движения воздуха в системе очистки зерноуборочного комбайна на основе уравнений Навье–Стокса и $k-\epsilon$ модели турбулентности [1], [2]. На рис. 3 представлены поля распределения скоростей установившегося воздушного потока в проточной части системы очистки зерноуборочного комбайна КЗС-1624 при частоте вращения вентилятора 1000 мин^{-1} .

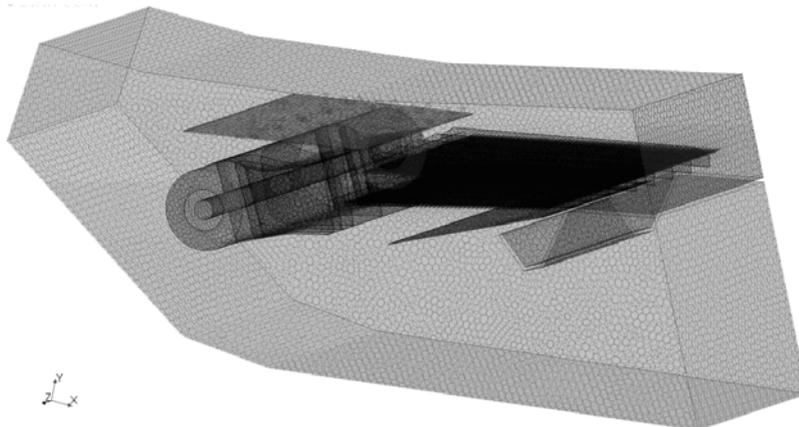


Рис. 2. Конечно-элементная модель системы очистки зерноуборочного комбайна

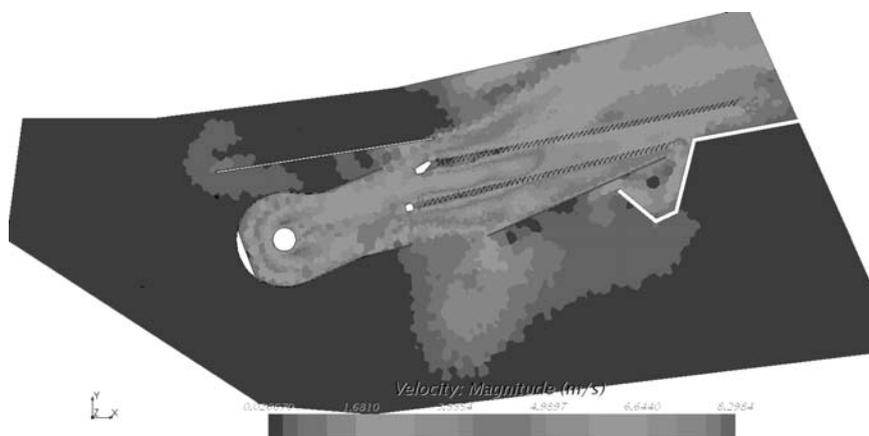


Рис. 3. Поля распределения скоростей воздушного потока на плоскости симметрии системы очистки зерноуборочного комбайна (установившийся режим)

После нахождения стационарного решения на втором этапе осуществлялось моделирование системы очистки с учетом движения двух фаз частиц зерна и половы, вбрасываемых на стрясную доску. На этом этапе для моделирования вброса частиц использовалась модель инжектора, расположенного на заданной высоте над стрясной доской.

Направление вектора начальной скорости частиц перпендикулярно стрясной доске. Это направление принято с учетом характера движения половы и зерна на выходе из молотильно-сепарирующего устройства (МСУ), при этом частицы равномерно распределены на стрясной доске. Для реализации в симуляции Star CCM+ граничных условий над стрясной доской после получения стационарного решения задачи движения воздуха в системе очистки добавили в симуляцию модель лагранжевой многофазности. Для этого добавили лагранжевую фазу, где задавались частицы материала. В целях упрощения модели частицы зерна, вбрасываемые на стрясную доску, моделировались как твердые частицы из трех сфер, имеющие плотность 8 кг/м^3 . Частицы половы моделировались как твердые частицы из двух сфер с плотностью $0,5 \text{ кг/м}^3$. Форма частиц представлена на рис. 4 (форма и плотность подбирались с учетом скорости витания зерна и половы). В качестве источника подачи частиц зерна и половы над стрясной доской использовались инжекторы в форме прямоугольника. При попадании частиц на стрясную доску им сообщается движение $0,3 \text{ м/с}$ в направлении системы очистки.



Рис. 4. Геометрия моделей частиц:
а – зерно; б – полова

Выбиралась физическая модель, учитывающая взаимное влияние лагранжевой и непрерывных фаз в связи с аэродинамическим сопротивлением, т. е. фазы могут обмениваться между собой импульсом. В качестве граничных условий для лагранжевой фазы определялось взаимодействие частиц со стенками системы очистки, т. е. частицы, достигшие поверхности твердой фазы, отталкиваются от стенок системы очистки, что позволяет определить зону решет системы очистки, где наиболее эффективно происходит очистка зерна от посторонних примесей (в данной модели от половы).

На рис. 5 изображено векторное представление скоростей воздушного потока системы очистки зерноуборочного комбайна КЗС-1624 при частоте вращения вентилятора 1000 мин^{-1} и положение частиц, моделирующих зерно и полову в различные периоды времени в конструкции проточной части.

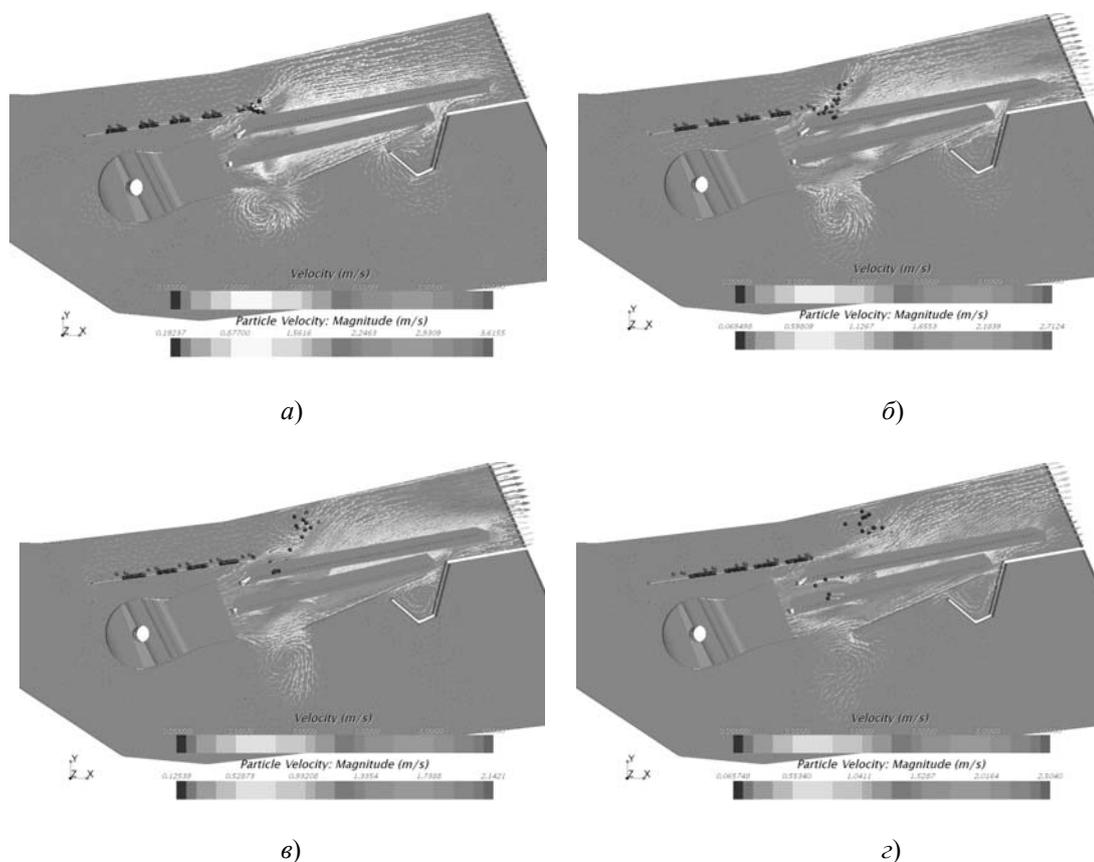


Рис. 5. Разделение зерна и половы на фракции в воздушном потоке системы очистки (реальное время работы системы от вброса частиц из инжекторов – 23 с:
а – 6 с; б – 12 с; в – 18 с; з – 23 с)

Анализ компьютерной визуализации процесса разделения двухфазной смеси в воздушном потоке системы очистки комбайна КЗС-1624 для приведенных выше частоты вращения вентилятора и параметров частиц показал, что компьютерная модель адекватна работе реальной системы очистки зерноуборочного комбайна.

Заключение

Как показывает практика, для приведенных выше параметров зерна и половы система очистки работает стабильно с весьма низким процентом потерь, которые связаны с выносом зерна из системы очистки. Однако в реальных условиях плотность, геометрические размеры и, соответственно, скорость витания частиц зерна и половы изменяются в широких пределах, что является основной причиной увеличения потерь в связи с невозможностью точной настройки параметров воздушного потока.

Компьютерный анализ и визуализация движения воздуха и частиц растительной массы в технологическом тракте комбайна для различных условий эксплуатации позволяет получить точные параметры настройки вентилятора, углы установки дефлекторов и жалюзи решет, форму и размер затенителей на выходе из очистки и других элементов для существенного снижения потерь.

Внедренная в процесс проектирования новой техники методика компьютерного моделирования аэродинамических потоков в системе очистки зерноуборочного комбайна позволяет подобрать оптимальные конструктивные параметры технологического тракта для получения заданной производительности зерноуборочного комбайна и энергоемкости процесса разделения зернового вороха на фракции.

Литература

1. Численное моделирование на основе программного пакета STAR-CD аэродинамических потоков с целью выявления ударных волн в турбокомпрессоре / А. М. Крот [и др.] // Авиадвигатели XXI века : II Междунар. науч.-техн. конф., Москва, 6–9 дек. / Центр. ист. архив Москвы. – Москва, 2005. – Т. 1. – С. 339–340.
2. Выровский, А. Н. Повышение надежности несущих конструкций и узлов сельскохозяйственных машин путем применения методов конечно-элементного анализа / А. Н. Выровский, В. А. Пигенко // Динамика, прочность и надежность сельскохозяйственных машин : сб. материалов I Междунар. науч.-техн. конф., Тернополь. – 2004. – С. 118–124.
3. Исследование плоских ударных волн в турбокомпрессоре на основе аэродинамического компьютерного моделирования в программном пакете STAR-CD / В. А. Балдин [и др.] // Информатика. – 2005. – № 4 (8). – С. 5–12.
4. Минервина, Е. Б. Компьютерное моделирование аэродинамических потоков в рабочей камере турбокомпрессора с использованием программного комплекса STAR-CD / Е. Б. Минервина // Информатика. – 2005. – № 2 (6). – С. 15–24.
5. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-10К «Палессе GS10» : инструкция по эксплуатации. – ПО «Гомсельмаш», 2008. – 231 с.
6. Босой, Е. С. Теория, конструкция и расчет / Е. С. Босой. – М. : Машиностроение, 1978. – 157 с.
7. Брусиловский, И. В. Аэродинамика осевых вентиляторов / И. В. Брусиловский. – М. : Машиностроение, 1984. – 239 с.

8. Долгов, И. А. Уборочные сельскохозяйственные машины / И. А. Долгов. – Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ, 2003. – 706 с.
9. Карпенко, А. Н. Сельскохозяйственные машины / А. Н. Карпенко, В. М. Халанский. – М. : Колос, 1983. – 495 с.
10. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / Б. Г. Турбин [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1967. – 583 с.
11. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г. Е. Листопад [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1986. – 688 с.

Получено 04.07.2016 г.