

УДК 631.354.2.076, 532.5

А.А. КАЛИНОВСКИЙ, магистр техн. наук
 ведущий инженер-конструктор
 E-mail: kiodpan@gomselmash.by

НТЦК ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 18.01.2024.

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА В 2D-ПОСТАНОВКЕ

В статье приведена методика моделирования воздушных потоков в проточной области воздушно-решетной системы очистки зерноуборочного комбайна в двумерной постановке. Даны рекомендации по настройке параметров программного пакета вычислительной гидрогазодинамики Ansys Fluent. Приведен пример аэродинамического расчета двумерной модели системы очистки. По оценке результатов экспериментальных исследований и моделирования погрешность составила не более 10 %. Сформулированы рекомендации по проектированию системы очистки для получения равномерного воздушного потока по всей ее ширине. Применение данной методики позволяет провести расчет модели на персональном компьютере без использования кластеров или высокопроизводительных серверов. Полученные результаты будут впоследствии использованы при дальнейшем исследовании системы очистки зерноуборочного комбайна.

Ключевые слова: система очистки, проточная область, 2D-моделирование, воздушные потоки, комбайн

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-2-67-53-60>

Введение. Воздушно-решетная система очистки зерноуборочного комбайна предназначена для выделения зерна из вороха, поступающего из-под молотильного устройства и соломосепаратора. Разделение вороха на фракции происходит посредством воздушного потока, создаваемого вентилятором. Для качественной очистки зерна большое значение имеет распределение скорости потока как по длине, так и по ширине решет. Гиперболическое распределение скорости над решетками по длине является более предпочтительным [1]. В этом случае интенсивный обдув начальной части решет обеспечивает взвешивание легкой фракции и разгрузку средней части, где происходит сепарация вороха от объемной части примесей. Вынос отходов из системы очистки обеспечивается некоторым увеличением обдува конца верхнего решета. Равномерное распределение воздушного потока по ширине очистки необходимо для качественного протекания технологического процесса, так как неравномерность вызывает засорения зерна или его вынос наружу, что ведет к увеличению потерь.

В исследованиях [2–4] показано, что поля распределения скоростей воздушного потока по проточной области очистки в поперечном направлении имеют существенную неравномерность. Однако не уделено должное внимание причинам, приводящим к неравномерности потока, и решению данной проблемы, а также не определен по-

казатель равномерности потока, к обеспечению которого нужно стремиться.

Если рассмотреть процесс очистки зерна от примесей в воздушном потоке на примере пшеницы, то, основываясь на значениях скоростей витания примесей (легкие сорняки — 4,0...5,0 м/с, овсюг — 6,0...7,0 м/с, щуплая и битая пшеница — 6,0...8,0 м/с) и цельного зерна (8,0...12,0 м/с), можно сделать следующие выводы [5]:

- вынос пыли, оболочек семян, легких сорняков и овсюга происходит при скорости потока 6,0...7,0 м/с;
- отделение щуплой и битой пшеницы — 7,5...8,0 м/с;
- транспортировка зерна воздушным потоком — 12,0...13,0 м/с.

Следовательно, для получения пшеницы без включений разница скоростей воздушного потока по ширине системы очистки не должна превышать разницу между скоростями транспортировки зерна и выноса примесей — 4,0...5,5 м/с (30...40 % от скорости транспортировки зерна воздушным потоком). В этом случае гарантируется вынос примесей без захвата цельного зерна. Аналогичная картина по соотношению скоростей витания наблюдается и по другим зерновым культурам.

Элементы системы очистки и поток воздуха находятся в одном геометрическом пространстве, а сопротивления проточной области оказывают суще-

ственное влияние на воздушный поток, выходящий из вентилятора, следовательно, воздушно-решетную систему очистки необходимо рассматривать как целостную систему. Математическое моделирование целостной системы требует больших вычислительных мощностей и временных затрат.

Зачастую распределение воздушного потока по ширине очистки носит симметричный характер [3], тогда для сокращения временных затрат и снижения требований к вычислительным мощностям задачу можно привести к симметричной постановке. В случае равномерного распределения воздушного потока по ширине очистки для оценки аэродинамических свойств системы очистки нет необходимости моделировать проточную область в трехмерном пространстве, а можно обойтись двумерной постановкой.

Целью данной работы является описание методики составления упрощенной аэродинамической 2D-модели, подтверждение адекватности модели по результатам экспериментальных исследований системы очистки, а также выработка рекомендаций по основным конструктивным решениям при ее проектировании для обеспечения равномерного потока воздуха по ширине и обоснование данных решений.

Оборудование и материалы. Экспериментальные исследовательские работы системы очистки проводились на серийном образце зерноуборочного комбайна КЗС-3219 производства ОАО «Гомсельмаш».

Для аэродинамических исследований системы очистки (замеров скоростей потока) использовались зонд-крыльчатки диаметром 16 мм, имеющие в диапазоне скорости потока 0,6...40,0 м/с погрешность $\pm(0,2 \text{ м/с} + 1\% \text{ от измеряемого значения})$ с разрешением 0,1 м/с. Записи велись многофункциональными измерительными приборами Testo 480 с частотой дискретизации 10 Гц. Частота вращения вентилятора контролировалась ручным оптическим тахометром ДО-01Р с погрешностью измерения 0,2 %.

Для создания аэродинамической модели использовалась система вычислительной гидрогазодинамики Ansys Fluent с использованием метода конечных объемов для численного решения дифференциальных уравнений Навье–Стокса, описывающих движение текучей среды. Расчеты проводились на персональном компьютере с процессором AMD Ryzen 7 3700X 8-Core и 64 Гб оперативной памяти.

Экспериментальные исследования. Сечение проточной области, проведенное по центру одной из секций вентилятора системы очистки комбайна, представлено на рисунке 1.

Исследования выполнялись на базе комплекса испытательных лабораторий при температуре окружающей среды 18...20 °С, атмосферном давлении 10 985 Па и относительной влажности воздуха 70 %. Привод рабочих органов очистки был отключен, решета и доски зафиксированы в сред-

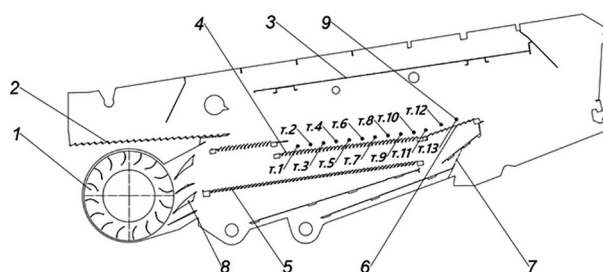


Рисунок 1 — Сечение проточной области системы очистки комбайна: 1 — вентилятор центробежный; 2 — доска стрясная; 3 — доска скатная; 4 — решето верхнее; 5 — решето нижнее; 6 — удлинитель верхнего решета; 7 — бельтинг; 8 — элероны; 9 — точки замеров т. 1...т. 13

Figure 1 — Section of the flow area of the combine cleaning system: 1 — centrifugal fan; 2 — shaking board; 3 — slope board; 4 — upper screen; 5 — lower screen; 6 — upper screen extension; 7 — belting; 8 — ailerons; 9 — measurement points p. 1...p. 13

нем положении. Размер открытия жалюзи решета был настроен на уборку пшеницы: верхнее решето — 4...12 мм, удлинитель верхнего решета — 6...9 мм, нижнее решето — 5...8 мм. Частота вращения центробежного вентилятора 1 постоянная и зафиксирована на среднем значении диапазона вариации ременного вариатора 630 об/мин.

Эксперименты проводились для двух вариантов конфигурации проточной области с установленным бельтингом 7, перекрывающим выход воздушного потока под удлинителем верхнего решета 4, и при демонтированном бельтинге 7.

Измеряемыми параметрами экспериментальных исследовательских работ выступали замеры скоростей воздушного потока над верхним решето 4 и его удлинителем 6 в проточной области системы очистки комбайна.

Для гарантированной повторяемости замеров в контрольных точках было спроектировано специальное приспособление для крепления зондов, фрагмент которого представлен на рисунке 2. Измерительные зонды 1 закреплены на рамке 2, которая в свою очередь устанавливается на верхнее решето 3 и его удлинитель 4. Зонды располагаются в 6 рядов по 13 штук по центру секций верхнего решета и удлинителя.

В ходе выполнения экспериментальных работ было проведено по пять замеров для каждой кон-

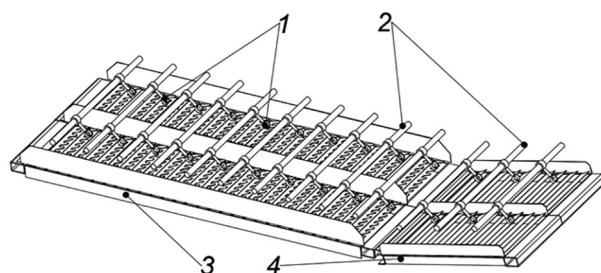


Рисунок 2 — Установка измерительных зондов: 1 — зонды измерительные; 2 — рамка; 3 — решето верхнее; 4 — удлинитель верхнего решета

Figure 2 — Installation of measuring probes: 1 — measuring probes; 2 — frame; 3 — upper screen; 4 — upper screen extension

фигурации проточной области. Отклонение величины частоты вращения вентилятора не превышало $\pm 1\%$ от принятого значения. Запись скоростей потока велась одновременно со всех зондов в течение 30 с, перед которыми 20 с отводилось на затухание колебаний потока от разгона вентилятора. Разброс значений скоростей потока в контрольных точках с доверительной вероятностью 95 % не превысил $\pm 7\%$.

Методика аэродинамического моделирования. Целью представленной методики является описание построения упрощенной аэродинамической модели системы очистки комбайна, в полной мере описывающей движения воздушных потоков. В результате моделирования будут получены характеристики воздушного потока по всему сечению очистки для анализа (скорость воздушного потока, линии тока, давление).

При создании модели были выделены основные этапы:

- построение подробной 2D-модели системы очистки;
- построение расчетной сетки и постановка граничных условий;
- постановка и корректировка математической модели, проведение расчетов;
- обработка и анализ полученных результатов, проверка адекватности модели.

Однако последовательность этапов обозначена условно, так как в ходе моделирования приходится совмещать этапы или вводить корректировки на основании предварительных расчетов.

Далее этапы моделирования рассмотрены более детально.

Используя конструкторскую 3D-модель системы очистки, по центру одной из секций вентилятора было построено 2D-сечение проточной области (см. рисунок 1), на основе которого сформирована конечно-объемная сетка (рисунок 3).

Для получения более качественной картины течения вблизи стенок элементов очистки использовалась структурированная призматическая сетка, построенная с помощью функции Inflation [6, 7].

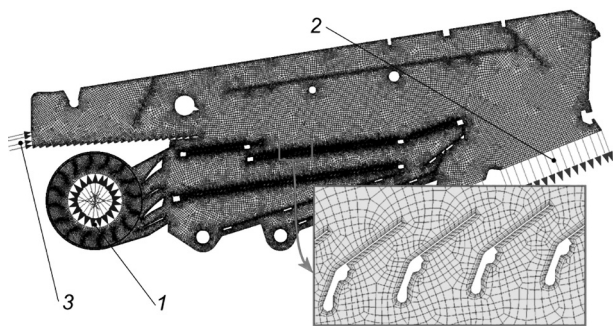


Рисунок 3 — Конечно-объемная сетка проточной области:
1 — вход в вентилятор; 2 — выход из проточной области;
3 — вход из молотильно-сепарирующего устройства

Figure 3 — Finite-volume grid of the flow area:
1 — fan inlet; 2 — exit from the flow area; 3 — entrance from the threshing and separating device

На основе полей течения, предварительно полученных на более грубой сетке, была выполнена ее локальная адаптация, в результате которой значение безразмерной переменной y^+ , описывающей профиль скорости пристенной области, не превышает 10, что соответствует рекомендованной величине [6]. Призматический слой пристенной области содержит 10...15 ячеек в нормальном направлении к движению потока. Коэффициент роста (Expansion Factor) размеров ячеек сетки составил 1,2. По итогу построенная сетка имеет следующие показатели качества: ортогональность (Mesh Orthogonality) — не менее 0,7; коэффициент пропорциональности (Aspect Ratio) — не более 50.

В качестве рабочего тела применена модель воздуха (air) с плотностью $1,225 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $1,7894 \cdot 10^{-5} \text{ кг/(м}\cdot\text{с)}$ при температуре 20°C .

На границе входа и выхода из расчетной области описаны граничные условия pressure-inlet и pressure-outlet соответственно с относительным давлением $p = 0 \text{ Па}$ (атмосферное давление 101 325 Па).

В качестве модели турбулентного течения выбрана SST $k-\omega$ -модель с двумя дифференциальными уравнениями, представляющая собой комбинацию $k-\varepsilon$ - и $k-\omega$ -моделей турбулентности: для расчета течения в свободном потоке используются уравнения $k-\varepsilon$ -модели, а в области вблизи стенок — уравнения $k-\omega$ -модели. Эта модель довольно стабильна, подходит для решения реальных инженерных задач и во многих случаях предлагает хороший компромисс с точки зрения точности [8].

Так как скорость потока воздуха в системе гораздо ниже скорости звука, при таких значениях сжимаемость среды незначительна и ей можно пренебречь [9, 10]. В связи с этим для решения системы уравнений, описывающих движения среды, был применен решатель на основе давления Pressure-Based [11].

В воздушном потоке рассматриваемой области измерений имеет место протекание вихревых процессов, и по результатам экспериментальных замеров изменение величин скоростей потока в контрольных точках достигает 30 %, поэтому постановка задачи требует нестационарного решения. Для решателя была выбрана формулировка с временной аппроксимацией Transient Formulation, а для описания взаимодействия между подвижной областью вентилятора и стационарной областью системы очистки использована модель скользящей сетки Sliding Mesh Model.

Размер шага расчета по времени Δt при наличии скользящей сетки был вычислен согласно рекомендациям [12]:

$$\Delta t \leq \frac{\Delta s}{v_m},$$

где Δs — размер элемента сетки в скользящем интерфейсе; v_m — относительная скорость движущейся зоны.

Для улучшения сходимости расчета в качестве схемы интерполяции давления принята опция PRESTO! (PREssure STaggering Option).

С целью ускорения выполнения расчета в качестве данных для инициализации нестационарного решателя использовались результаты стационарного моделирования с формулировкой Steady Formulation и моделью описания взаимодействия между зонами Multiple Reference Frames.

Для сохранения результатов моделирования нестационарного процесса, а также их дальнейшей обработки использовалась опция выборки данных Data Sampling for Time Statistics с частотой записи на каждой итерации расчета в течение 2 с. Запись выполнялась после установившегося колебания скоростей воздушного потока в контрольных точках.

Результаты исследования, подтверждение адекватности модели. В результате замеров экспериментальных исследований и расчетов состав-

ленной модели были получены значения скоростей потока во временном интервале. Для сопоставления результаты эксперимента и моделирования были подвергнуты среднеквадратичному усреднению. В связи с тем, что экспериментальные измерения проводились в трехмерном пространстве (по ширине очистки), а модель имеет двумерную постановку, их результаты также были арифметически усреднены и по рядам. Результаты исследования приведены в таблице.

По экспериментальным замерам видно, что разброс значений скоростей потока по ширине очистке незначителен и составляет от 3 до 22 %. Полученная разница скоростей потока по ширине комбайна не противоречит принятым условиям качественной очистки зерна, из чего можно сделать вывод, что данную конструкцию системы очистки можно при моделировании представить в двумерном пространстве.

Таблица — Результаты экспериментальных замеров и моделирования
Table — Results of experimental measurements and modeling

№ контрольной точки	Скорость потока, усредненная по времени, м/с							
	Скорость по результатам экспериментальных замеров						Скорость, усредненная по рядам	Скорость по результатам моделирования
	Ряд зондов*							
	1	2	3	4	5	6		
Вариант с бельтингом								
т. 1	3,2	2,8	2,7	2,8	2,9	3,1	2,9	3,2
т. 2	2,8	2,6	2,4	2,3	2,8	2,9	2,6	2,8
т. 3	2,9	2,7	2,4	2,4	2,7	2,8	2,7	2,9
т. 4	2,8	2,8	2,4	2,4	2,6	2,9	2,7	2,9
т. 5	4,0	3,4	3,2	3,3	3,5	3,9	3,6	3,8
т. 6	3,8	3,3	3,2	3,3	3,5	3,7	3,5	3,4
т. 7	3,3	3,0	2,9	2,8	2,8	3,0	3,0	3,2
т. 8	3,1	3,0	2,5	2,4	3,1	3,0	2,9	3,1
т. 9	3,7	3,6	3,2	3,3	3,7	3,8	3,6	3,8
т. 10	3,1	3,2	3,1	3,0	3,4	3,3	3,2	3,3
т. 11	3,2	2,8	3,0	3,1	3,1	3,3	3,1	3,3
т. 12	6,1	6,1	6,0	6,1	6,0	6,2	6,1	6,6
т. 13	8,2	8,2	8,0	7,9	8,0	8,1	8,1	8,5
Вариант без бельтинга								
т. 1	3,9	3,8	3,7	3,5	3,6	4,0	3,8	4,1
т. 2	2,8	2,6	2,6	2,7	2,9	3,1	2,8	3,0
т. 3	3,0	3,0	2,9	3,0	3,2	3,4	3,1	3,2
т. 4	3,1	3,0	2,8	2,9	3,0	3,2	3,0	3,2
т. 5	3,2	3,1	2,7	2,8	3,0	3,1	3,0	3,2
т. 6	3,0	3,0	2,9	2,7	2,7	2,9	2,9	3,1
т. 7	3,2	3,1	2,6	2,5	3,1	3,0	2,9	3,2
т. 8	3,1	3,2	2,8	2,8	3,0	2,9	3,0	3,1
т. 9	3,2	3,2	2,7	3,0	3,2	3,3	3,1	3,3
т. 10	2,8	2,9	2,6	2,6	2,9	3,0	2,8	3,1
т. 11	3,1	2,9	2,8	2,9	3,2	3,0	3,0	3,3
т. 12	3,7	3,5	3,3	3,6	3,4	3,5	3,5	3,8
т. 13	6,6	6,1	5,9	6,3	6,5	6,2	6,3	6,8

Примечание: *отсчет ведется от правой боковины по ходу движения комбайна.

Падение скорости потока наблюдается по центру очистки (см. 3 и 4 ряды зондов в таблице), что объясняется затруднительным забором воздуха центральной секцией вентилятора из-за его расположения и конструктивных особенностей комбайна.

Значения скоростей воздушных потоков в контрольных точках, полученные путем математического моделирования, выше значений по результатам реальных замеров, но расхождения не превышают 10 % (см. таблицу). Это показывает адекватность 2D-модели и позволяет проводить дальнейшее исследование системы очистки на ее основе.

Полученные несоответствия вызваны наличием конструктивных элементов, таких как продольных несущих труб решет и механизмов их регулирования, создающих дополнительное сопротивление воздушному потоку. Учесть влияние данных элементов в двумерной постановке не представляется возможным.

Зависимости изменения скорости воздушного потока по длине очистки по результатам моделирования и экспериментов носят идентичный характер (рисунки 4 и 5).

На рисунках 6–8 изображены поля распределения скоростей и линии тока воздушного потока для двух вариантов проточной области по результатам математического моделирования. Представленная визуализация основана на результатах расчетов, усредненных по времени.

Реализовать экспериментальные замеры воздушного потока по всему объему системы очистки с их единовременной записью является доста-

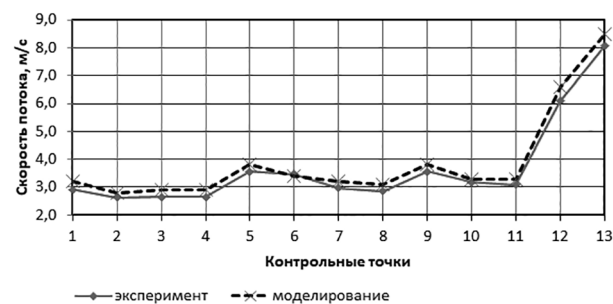


Рисунок 4 — Распределение скоростей потока в проточной области с бельтингом
Figure 4 — Flow velocity distribution in the flow area with belting

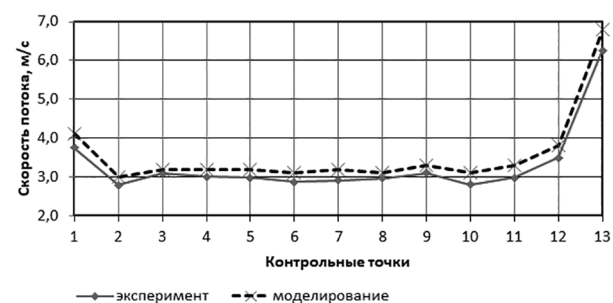


Рисунок 5 — Распределение скоростей потока в проточной области без бельтинга
Figure 5 — Flow velocity distribution in the flow area without belting

точно трудновыполнимой задачей. Для замеров потребуется не только большое количество измерительных зондов и записывающего оборудования, но и вспомогательных крепежных элементов. Наличие добавочных элементов в системе создает дополнительные сопротивления потоку и, как следствие, изменение его скорости и направления.

Математическое моделирование позволяет получить характеристики воздушного потока по всему сечению очистки для последующего анализа, а также отобразить полученные данные. В качестве результатов могут выступать скорость воздушного потока (см. рисунки 6 и 8), его направление, линии тока (см. рисунки 7 и 9), статическое или динамическое давление. Зафиксированные результаты можно вывести как в виде графиков, так и наглядной анимации.

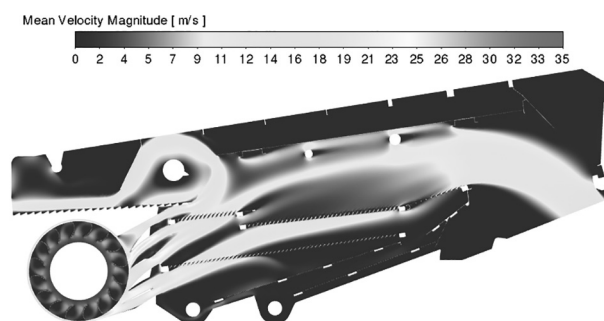


Рисунок 6 — Поля скоростей воздушного потока в проточной области с бельтингом
Figure 6 — Air flow velocity fields in the flow area with belting

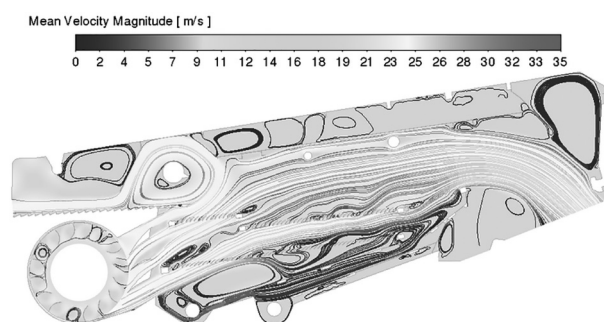


Рисунок 7 — Линии тока воздушного потока по скорости в проточной области с бельтингом
Figure 7 — Air flow current lines by velocity in the flow area with belting

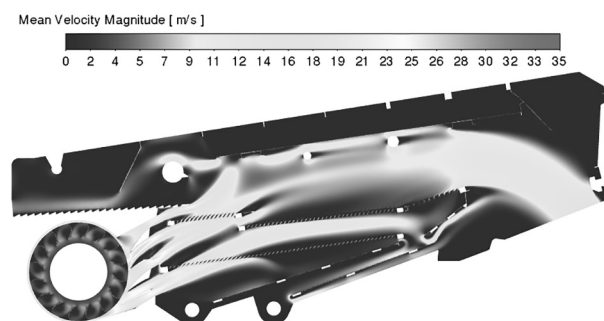


Рисунок 8 — Поля скоростей воздушного потока в проточной области без бельтинга
Figure 8 — Air flow velocity fields in the flow area without belting

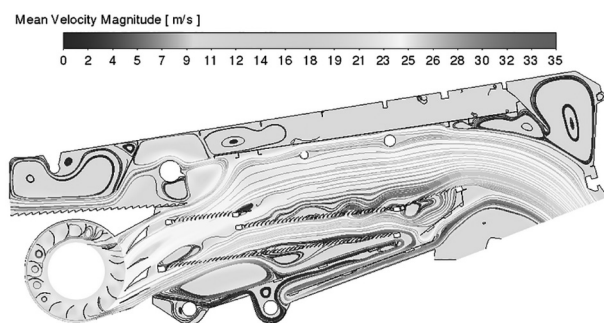


Рисунок 9 — Линии тока воздушного потока по скорости в проточной области без бельтинга
Figure 9 — Air flow current lines by velocity in the flow area without belting

Предлагаемый подход к моделированию аэродинамики проточной области с достаточной степенью точности отражает реальную картину течения. Из результатов математического моделирования видно, что отсутствие в проточной области очистки бельтинга приводит к перераспределению воздушных потоков, а именно уменьшению скоростей над удлинителем верхнего решета, что также подтверждается экспериментальными замерами.

Рекомендации по проектированию. В ходе проведенных аэродинамических расчетов различных конфигураций проточной области, анализа конструкций современных зерноуборочных комбайнов и исследований центробежных вентиляторов были выделены основные конструктивные решения системы очистки, обеспечивающие равномерный поток по всей ее ширине очистки.

Для обеспечения равномерности скорости потока по ширине системы очистки в конструкции необходимо по возможности исключить элементы, вызывающие локальное сопротивление потоку и изменяющие его направление. Иначе говоря, поперечное сечение проточной области должно быть постоянным на всей протяженности. По тем же соображениям вентилятор системы очистки должен быть центробежного или тангенциального типа и быть установлен поперек направления потока. К центробежному вентилятору предъявляется ряд требований.

Во-первых, площадь входного отверстия в вентилятор не должна быть меньше площади выходного, иначе это приведет к дополнительному дросселированию [13, 14].

Во-вторых, ширина крыльчатки для вентилятора с входом с одной стороны не должна превышать 50 % от ее диаметра, соответственно для вентиляторов с двухсторонним всасыванием ширину можно увеличить до диаметра крыльчатки. В случае превышения этих значений увеличивается неравномерность распределения газа по ширине лопаток и происходит отрыв потока [7]. Поэтому у многих высокопроизводительных зерноуборочных комбайнов в системе очистки устанавливают вентиляторы, состоящие из нескольких секций [16].

В-третьих, ширина корпуса выходного диффузора вентилятора должна быть постоянной до входа в камеру смешивания, его длина определяется конструктивными соображениями [16]. Данный прием уменьшает сопротивление диффузора, сохраняет скоростной напор и стабилизирует воздушный поток [5] до входа в камеру смешивания, где происходит его равномерное распределение по ширине перед впуском в систему очистки.

Заключение. Представленная методика моделирования аэродинамики проточной области в двумерной постановке, по сопоставлению величин скоростей воздушного потока с экспериментальными данными, позволила получить погрешность в результатах не более 10 %. Применение данного подхода предоставило возможность выполнить расчет модели на персональном компьютере без использования кластеров или высокопроизводительных серверов.

Составленная математическая модель позволяет осуществить параметрическую оптимизацию конфигурации проточной области очистки, а также на основании результатов моделирования составить регрессионные уравнения, прогнозирующие работу системы в зависимости от вариационных параметров.

В последующих исследованиях системы очистки зерноуборочного комбайна представленный подход двумерного моделирования аэродинамики проточной области очистки будет применен для анализа влияния движения решет и досок на распределения скоростей воздушных потоков по длине очистки.

Результаты экспериментальных исследований показали, что применение при проектировании системы очистки зерноуборочного комбайна конструктивных решений, приведенных в работе, способствует получению равномерного воздушного потока по всей ширине очистки. Разброс значений скоростей потока по ширине очистки не превышает 22 %, что не противоречит принятым условиям качественной очистки зерна.

Список литературы

1. Фролов, К.В. Машиностроение. Энциклопедия: в 40 т. / К.В. Фролов. — М.: Машиностроение, 2002. — Т. IV-16: Сельскохозяйственные машины и оборудование. — 720 с.
2. Experimental study on the influence of working parameters of centrifugal fan on airflow field in cleaning room / C. Zhang [et al.] // Agriculture. — 2023. — Vol. 13, iss. 7. — DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071368>.
3. Operation technological process research in the cleaning system of the grain combine / I. Badretdinov [et al.] // Journal of Agricultural Engineering. — 2021. — Vol. 52, no. 2. — DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2021.1129>.
4. Бадретдинов, И.Д. Научное обоснование и совершенствование пневматических систем сельскохозяйственных машин на основе моделирования технологического процесса / И.Д. Бадретдинов, С.Г. Мударисов // Вестн. НГИЭИ. — 2019. — № 9(100). — С. 5–16.
5. Ковалев, Н.Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства) / Н.Г. Ковалев, Г.А. Хайлис, М.М. Ковалев. — М.: ИК «Родник», журнал «Аграрная наука», 1998. — 208 с.

6. Основы работы в Ansys 17 / Н.Н. Федорова [и др.]. — М.: ДМК Пресс, 2017. — 210 с.
7. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учеб. пособ. / В.А. Бруяка [и др.]. — Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. — 271 с.
8. Argyropoulos, C.D. Recent advances on the numerical modelling of turbulent flows / C.D. Argyropoulos, N.C. Markatos // Applied Mathematical Modelling. — 2015. — Vol. 39, iss. 2. — Pp. 693–732. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.07.001>.
9. Дерягин, В.Ф. Основы аэрогидрогазодинамики: учеб. пособие / В.Ф. Дерягин. — Кировоград: ГЛАУ, 2006. — 192 с.
10. Ronald, P.L. Incompressible flow / P.L. Ronald. — Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013. — 869 p.
11. Зиганшин, А.М. Вычислительная гидродинамика. Постановка и решение задач в процессоре Fluent: методич. пособие для учеб. и науч. работы студентов направления 270800 — «Строительство» (квалификация «бакалавр» и «магистр») и аспирантов специальности 05.23.03 / А.М. Зиганшин. — Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2013. — 79 с.
12. Moukalled, F. The finite volume method in computational fluid dynamics: an advanced introduction with OpenFOAM and Matlab / F. Moukalled, L. Mangani, M. Darwish. — Cham: Springer International Publishing Switzerland, 2016. — 791 p. — DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16874-6>.
13. Дячек, П.И. Насосы, вентиляторы, компрессоры: учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 270100 «Строительство» / П.И. Дячек. — М.: Изд-во АСВ, 2013. — 432 с.
14. Carolus, T. Fans: aerodynamic design – noise reduction – optimization / T. Carolus. — Wiesbaden: Springer Vieweg Wiesbaden, 2022. — 253 p. — DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-37959-9>.
15. Соломахова, Т.С. Радиальные вентиляторы: аэродинамика и акустика / Т.С. Соломахова. — М.: Наука, 2015. — 460 с.
16. Miu, P. Combine harvesters: theory, modeling, and design / P.I. Miu. — Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC, 2016. — 436 p.

KALINOUSKI Aliaksandr A., M. Sc. in Eng.

Leading Design Engineer

E-mail: kiodpan@gomselmash.by

Scientific and Technical Centre of Combine Harvesters Manufacturing OJSC “Gomselmash”, Gomel, Republic of Belarus

Received 18 January 2024.

AERODYNAMIC CALCULATION OF THE COMBINE HARVESTER CLEANING SYSTEM IN 2D FORMULATION

The paper presents the methodology of modelling air flows in the flow area of the air-screen cleaning system of a combine harvester in two-dimensional formulation. Recommendations are given on parameters adjustment of the computational fluid dynamics software package Ansys Fluent. An example is provided on aerodynamic calculation of cleaning system two-dimensional model. According to the estimation of the results of experimental studies and modelling, the error was not more than 10 %. Recommendations are formulated on the cleaning system design to obtain uniform airflow across its width. The application of this methodology makes it possible to carry out the model calculation on a personal computer without using clusters or high-performance servers. The obtained results will be subsequently used in further research of the combine harvester cleaning system.

Keywords: cleaning system, flow area, 2D modelling, air flows, harvester

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-2-67-53-60>

References

1. Frolov K.V. *Mashinostroenie. Entsiklopediya. T. IV-16. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i oborudovanie* [Mechanical engineering. Encyclopedia. Vol. IV-16. Agricultural machinery and equipment]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2002. 720 p. (in Russ.).
2. Zhang C., Geng D., Xu H., Li X., Li D., Wang Q. Experimental study on the influence of working parameters of centrifugal fan on airflow field in cleaning room. *Agriculture*, 2023, vol. 13, iss. 7. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071368>.
3. Badretdinov I., Mudarisov S., Khasanov E., Nasurov R., Tuktarov M. Operation technological process research in the cleaning system of the grain combine. *Journal of agricultural engineering*, 2021, vol. 52, no. 2. DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2021.1129>.
4. Badretdinov I.D., Mudarisov S.G. Nauchnoe obosnovanie i sovershenstvovanie pnevmaticheskikh sistem sel'skokhozyaystvennykh mashin na osnove modelirovaniya tekhnologicheskogo protsessa [Scientific justification and improvement of pneumatic systems for agricultural machines based on the simulation of technological process]. *Vestnik NGIEI*, 2019, no. 9(100), pp. 5–16 (in Russ.).
5. Kovalev N.G., Khaylis G.A., Kovalev M.M. *Sel'skokhozyaystvennyye materialy (vidy, sostav, svoystva)* [Agricultural materials (types, composition, properties)]. Moscow, IK “Rodnik” Publ., zhurnal “Agrarnaya nauka” Publ., 1998. 208 p. (in Russ.).
6. Fedorova N.N., Valger S.A., Danilov M.N., Zakharova Yu.V. *Osnovy raboty v Ansys 17* [Basics of working in Ansys 17]. Moscow, DMK Press Publ., 2017. 210 p. (in Russ.).

7. Bruyaka V.A., et al. *Inzhenernyy analiz v ANSYS Workbench* [Engineering analysis in ANSYS Workbench]. Samara, SamarSKIY gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet Publ., 2010. 271 p. (in Russ.).
8. Argyropoulos C.D., Markatos N.C. Recent advances on the numerical modelling of turbulent flows. *Applied mathematical modelling*, 2015, vol. 39, iss. 2, pp. 693–732. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.07.001>.
9. Deryagin V.F. *Osnovy aerogidrogazodinamiki* [Fundamentals of aerohydrogasodynamics]. Kirovograd, GLAU Publ., 2006. 192 p. (in Russ.).
10. Ronald P.L. *Incompressible flow*. Hoboken, John Wiley & Sons, Inc., 2013. 869 p.
11. Ziganshin A.M. *Vychislitel'naya gidrodinamika. Postanovka i reshenie zadach v protsessore Fluent* [Computational hydrodynamics. Formulation and solution of problems in Fluent processor]. Kazan, Kazanskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet Publ., 2013. 79 p. (in Russ.).
12. Moukalled F., Mangani L., Darwish M. *The finite volume method in computational fluid dynamics: an advanced introduction with OpenFOAM and Matlab*. Cham, Springer International Publishing Switzerland, 2016. 791 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16874-6>.
13. Dyachek P.I. *Nasosy, ventilyatory, kompressory* [Pumps, fans, compressors]. Moscow, ASV Publ., 2013. 432 p. (in Russ.).
14. Carolus T. *Fans: aerodynamic design – noise reduction – optimization*. Wiesbaden: Springer Vieweg Wiesbaden, 2022. 253 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-37959-9>.
15. Solomakhova T.S. *Radialnye ventilyatory: aerodinamika i akustika* [Centrifugal fans: aerodynamics and acoustics]. Moscow, Nauka Publ., 2015. 460 p. (in Russ.).
16. Miu P. *Combine harvesters: theory, modeling, and design*. Boca Raton, Taylor & Francis Group, LLC, 2016. 436 p.