

УДК 631.354.024/028

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ ТУРБИННОГО ВЕНТИЛЯТОРА ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА И ОПТИМИЗАЦИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА**

**В. В. МИРЕНКОВ, В. Ф. ХИЖЕНОК**

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

### **Введение**

В настоящее время предъявляются высокие требования к очистке комбайнами зерна, поступающего после обмолота: чистота бункерного зерна не менее 98 %, а дробленого не более 1 %.

Получение чистого зерна от комбайна, которое не нуждается в дополнительной очистке, – одно из требований к современным высокопроизводительным комбайнам. Поэтому оптимизации систем очистки новых комбайнов уделяется особое внимание.

В конструкции систем очистки зерна современных комбайнов классической роторной и комбинированной схем используют стрясную доску или блок шнеков для транспортировки мелкого вороха и ветрорешетчатую очистку с регулируемыми жалюзийными решетками. Воздушный поток, создаваемый вентиляторами в новых конструкциях очисток, разделяется на два отдельных потока: один обдувает зону предыдущей очистки, другой – верхнее и нижнее решета.

Вентилятор системы очистки зерноуборочного комбайна предназначен для обработки воздушным потоком вороха, поступившего на решета очистки. При этом воздушный поток выполняет две задачи: разрыхляет (вспушивает) обрабатываемый на решетках ворох (чем облегчает проход зерна сквозь пространственную решетку, образованную соломистыми частями) и уносит в копнитель легкие примеси, имеющие большую парусность [5].

Вентилятор очистки отечественных комбайнов представляет собой многолопастный крылач, частота вращения которого регулируется с помощью специального клиноременного вариатора в пределах 450–1200 об./мин.

Целью работы является моделирование основных параметров предлагаемого турбинного вентилятора очистки зерноуборочного комбайна и составления рекомендаций по усовершенствованию конструкции.

### **Основная часть**

Недостатком базового двухсекционного центробежного вентилятора с осевым забором воздуха являются: решета, имеющие суммарную длину более трех метров и расположенные под углом к плоскости выходного отверстия вентилятора. Они должны обдуваться воздушными потоками, имеющими одинаковую скорость по всей ширине решет. Очевидно, что данная конструкция вентилятора очистки комбайна не в полной мере соответствует требованиям скорости воздушного потока около решет. Кроме того, вызывает интерес распределение скоростных потоков не только по ширине решет, но и по длине, так как несоблюдение скоростных режимов воздушного потока будет приводить к некачественной работе системы очистки [4].

Указанные недостатки базового варианта вентилятора предлагается решить использованием более производительного турбинного вентилятора с комплектом дефлекторов.

Анализ параметров турбинного вентилятора производили с использованием современных расчетных компьютерных программ. Одним из таких представителей расчетных программ является SolidWorks/FlowSimulation. Данный пакет предлагает широкий спектр возможностей конечно-элементного анализа, начиная от простого линейного стационарного анализа и заканчивая комплексным нелинейным анализом переходных процессов.

При расчете для облегчения задания граничных условий и учета различных динамических факторов используются исследования движения моделей сборки Motion. Исследования движения не изменяют модель сборки или ее свойства. Они моделируют и анимируют движение модели.

Целесообразность выбора типа конечного элемента определяется степенью сложности геометрии узла и требуемой точности решения. Наличие в программе FlowSimulation конечных элементов для моделирования гидро- и аэродинамики дает возможность применения численных методов для определения параметров потока, давления и температуры жидкости или газа в изучаемой области, например, в зоне-выхода воздушных потоков из вентилятора очистки. Решение указанных задач выполняется при помощи модуля FlowSimulation, что позволяет анализировать движение непрерывной среды, а именно определять градиент давления, распределения скоростей и температур, направление движения потока воздуха и т. д. Для моделирования турбулентного движения используются уравнения неразрывности. При этом вычисляются следующие параметры: число Маха, коэффициент давления, общее давление и функции потока для движущейся среды.

Используется решатель, реализующий раздельный последовательный алгоритм, который заключается в раздельном решении для каждой степени свободы (температуры, давления, скорости и т. д.) системы матриц, полученных при конечно-элементной дискретизации основного уравнения. Задача течения воздуха нелинейная и основные уравнения связаны между собой. Последовательное решение уравнений с обновлением зависящих от давления параметров составляет глобальную итерацию. Количество глобальных итераций для достижения сходящегося решения может значительно варьироваться в зависимости от решаемой задачи [1].

При расчете были использованы следующие материалы:

- 1) вал – сталь 40х: модуль упругости – 214 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,26;
- 2) лопасти вентилятора – сталь 45: модуль упругости – 204 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,3;
- 3) втулки – сталь 18 ХГТ: модуль упругости – 203 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,29;
- 4) корпус – листовая сталь: модуль упругости – 89 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,27.

Физические свойства воздуха: плотность –  $1,204 \text{ кг/м}^3$ , вязкость –  $1,51 (\text{м}^2/\text{с})10^{-5}$ .

В связи с тем, что вентилятор состоит из двух симметрично расположенных секций, возможен анализ только одной секции (рис. 1), дискретизация которой представлена на рис. 2.

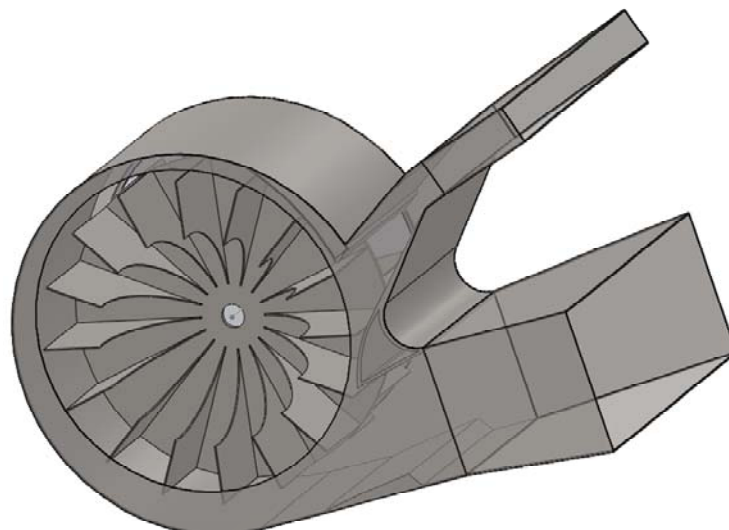


Рис. 1. 3D-модель турбинного вентилятора очистки комбайна

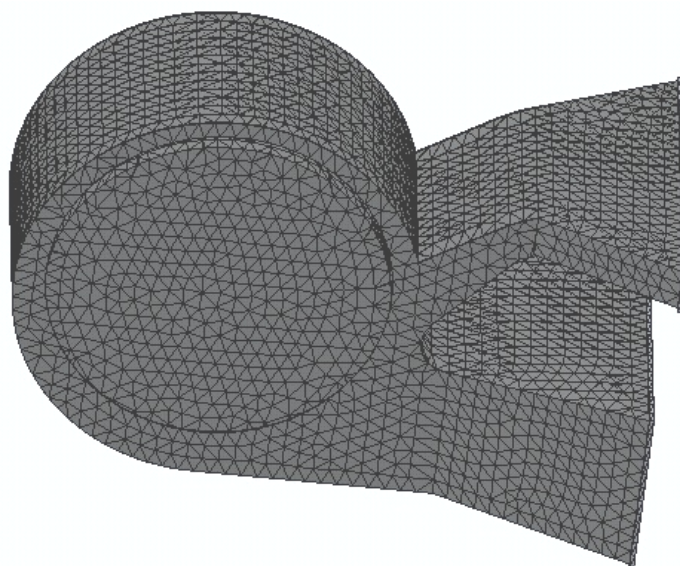


Рис. 2. Конечно-элементная дискретизация твердотельной модели секции вентилятора очистки зерноуборочного комбайна

Количество конечных элементов составило 142911 шт., из которых твердых элементов – 62067 шт.

В результате проведенного конечно-элементного анализа в FlowSimulation были получены результаты распределения потоков скоростей и давлений в вентиляторе очистки зерноуборочного комбайна. На рис. 3 представлена качественная характеристика потоков скоростей вентилятора очистки зерноуборочного комбайна на разных режимах работы при частоте вращения 70 и 120 рад/с. Характеристика определялась на выходе из кожухов вентилятора. Как видно из представленных результатов моделирования, скорость потока на выходе вентилятора распределена не равномерно по поперечному сечению выходного отверстия и изменяется от 1,8 до 12 м/с (рис. 3, а) и от 8 до 20 м/с (рис. 3, б).

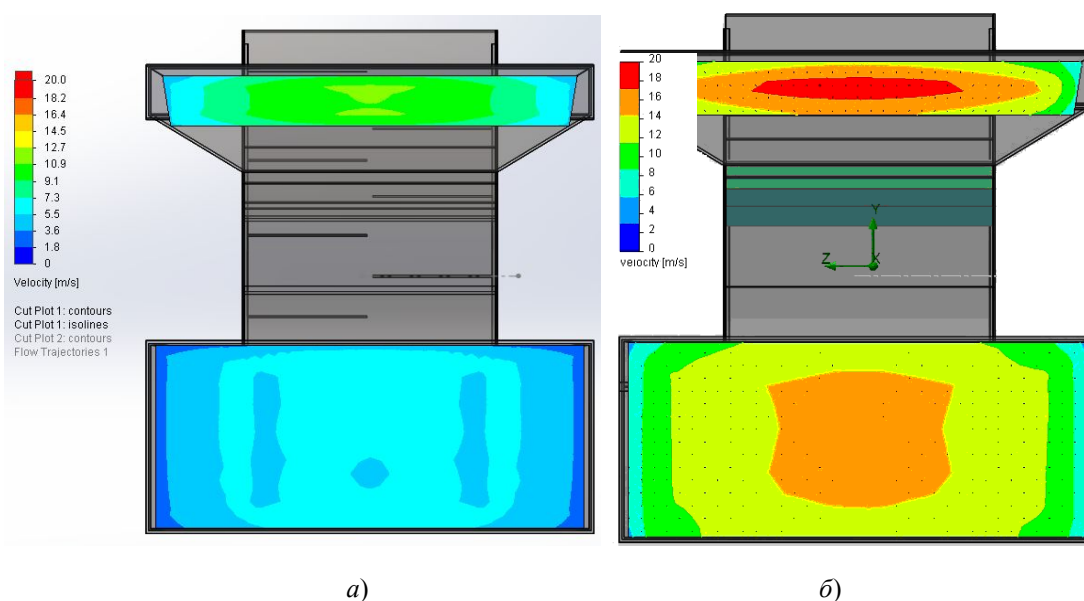


Рис. 3. Качественная характеристика вентилятора очистки комбайна, полученная в FlowSimulation по ширине и высоте потока при частоте вращения вала вентилятора 70 рад/с (а) и при частоте вращения вала вентилятора 120 рад/с (б)

Данный расчет показал адекватность расчетной 3D-модели, в связи с чем можно провести дальнейшую оптимизацию параметров вентилятора очистки зерноуборочного комбайна с целью более равномерного распределения потоков скоростей и давлений воздуха. Причем оптимальные скорости (7–12 м/с) воздушного потока наблюдаются по центру выходного отверстия (рис. 3, а) при частоте вращения вала вентилятора 70 рад/с, но имеют неравномерное распределение по высоте и ширине выходных каналов вентилятора. При частоте вращения 120 рад/с расчетные показатели скорости имеют значения 6–18 м/с и более равномерное распределение по ширине и высоте выходных каналов. Однако данные скорости недопустимы при работе системы очистки, так как будет происходить выдувание неочищенного зерна.

Для снижения скорости и более равномерного распределения воздушных потоков предлагается использовать дефлектор (рис. 4), установленный в кожухе вентилятора.

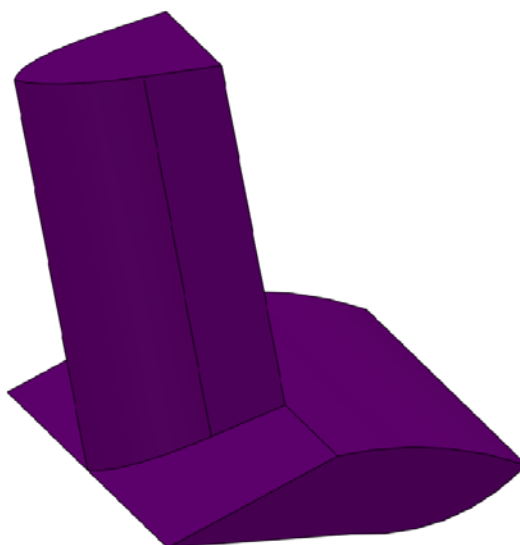


Рис. 4. Дефлектор воздушного потока

Положение дефлектора в кожухе вентилятора определялось путем изменения расстояний  $h_1$  и  $h_2$  (рис. 5).

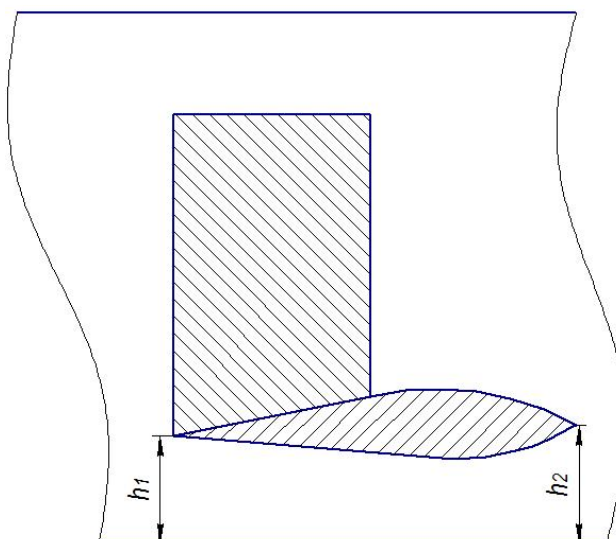


Рис. 5. Положение дефлектора в зависимости от параметров  $h_1$  и  $h_2$

В результате изменений расстояний были получены расчетные величины максимальных скоростей на выходе из верхнего и нижнего канала турбинного вентилятора и сведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние параметров  $h_1$  и  $h_2$  на величину скоростного потока

Номер положения	Одновременно изменяемые параметры $h_1$ и $h_2$ , мм		Максимальная расчетная скорость воздушного потока $V$ , м/с	
	$h_1$	$h_2$	Верхний канал	Нижний канал
1	22	22	10,0	6,5
2	26	26	11,5	6,7
3	28	28	12,7	7,3
4	30	30	12,1	7,1
5	31	31	12,0	7,0
6	32	32	12,2	7,0
7	34	34	11,9	7,1
8	36	36	12,4	6,0
9	38	38	12,6	6,7
10	40	40	12,6	6,5
11	42,5	42,5	12,0	13,5

Как видно из табл. 1, наиболее рациональным является положение № 3.

Расчет турбинного вентилятора с установленным дефлектором (рис. 6), использующим найденное оптимальное положение, показал, что было достигнуто рациональное распределение потоков скоростей по ширине и высоте выходных каналов (7,3–12,7 м/с).

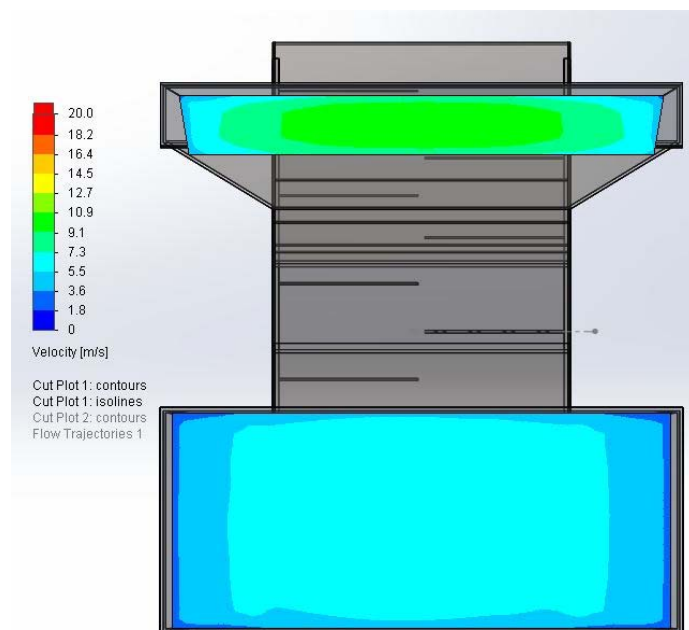


Рис. 6. Качественная характеристика вентилятора очистки комбайна, полученная в FlowSimulation по ширине и высоте потока с установленным дефлектором

Также представляет интерес расчет всей конструкции системы очистки с установленными верхним, нижним и удлинительным решетками (рис. 7). Адекватность расчетной модели во многом определяется точностью задания механических характеристик материала и граничных условий. Для проведения данного анализа использовались тетраэдральные и жидкостные элементы. В качестве граничных условий использовались частота вращения вала вентиляторов (120 рад/с для зерновых культур), атмосферное противодавление на выходе (101325 Па) и скорость воздушного потока на входе в вентиляторы (7 м/с).

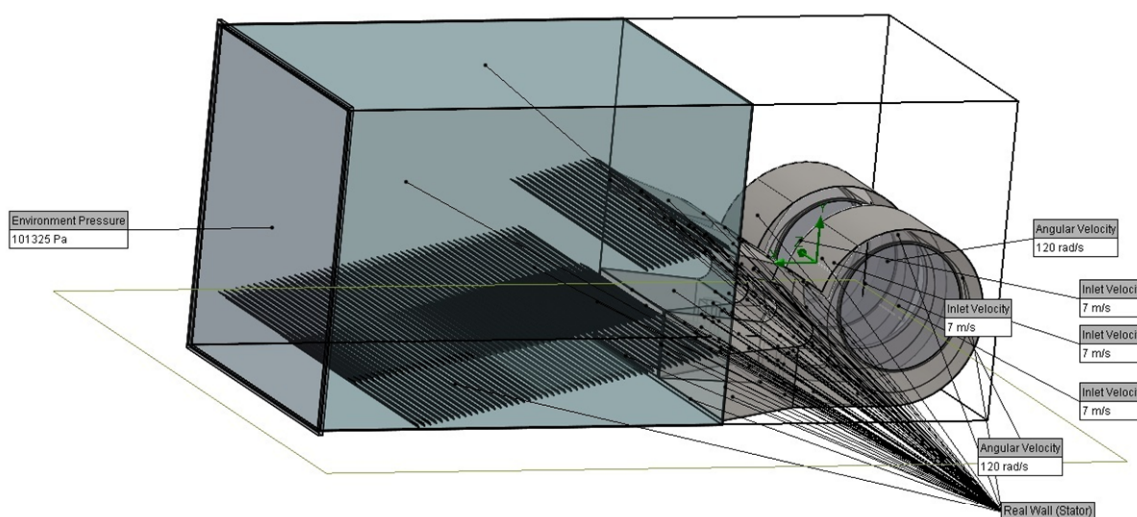


Рис. 7. Граничные условия, задаваемые при анализе системы очистки зерноуборочного комбайна во FlowSimulation

Анализ линий тока скоростей в поперечном и продольном сечениях системы очистки при оптимальной частоте вращения (120 рад/с) и примененных дефлекторах воздушного потока показал следующее:

1) скорость воздушного потока распределена равномерно по поперечному сечению решет (рис. 8);

2) скорость воздушного потока в конце решетных станов находится в интервале 3–6 м/с и его величины достаточно для выполнения технологического процесса (рис. 8, 9);

3) скорость воздушного потока на нижнем, верхнем и дополнительном решетках находится в интервале 6–12 м/с и его значения достаточно для выполнения бесперебойного технологического процесса (рис. 9).

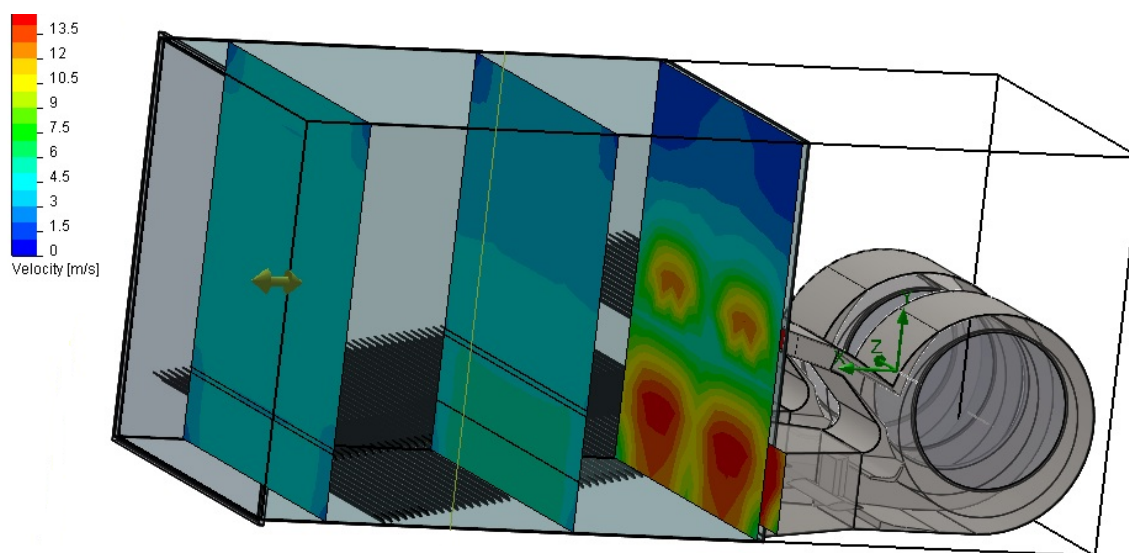


Рис. 8. Визуализация линий тока скоростей, полученных во FlowSimulation в поперечном сечении системы очистки на выходе из кожухов вентиляторов

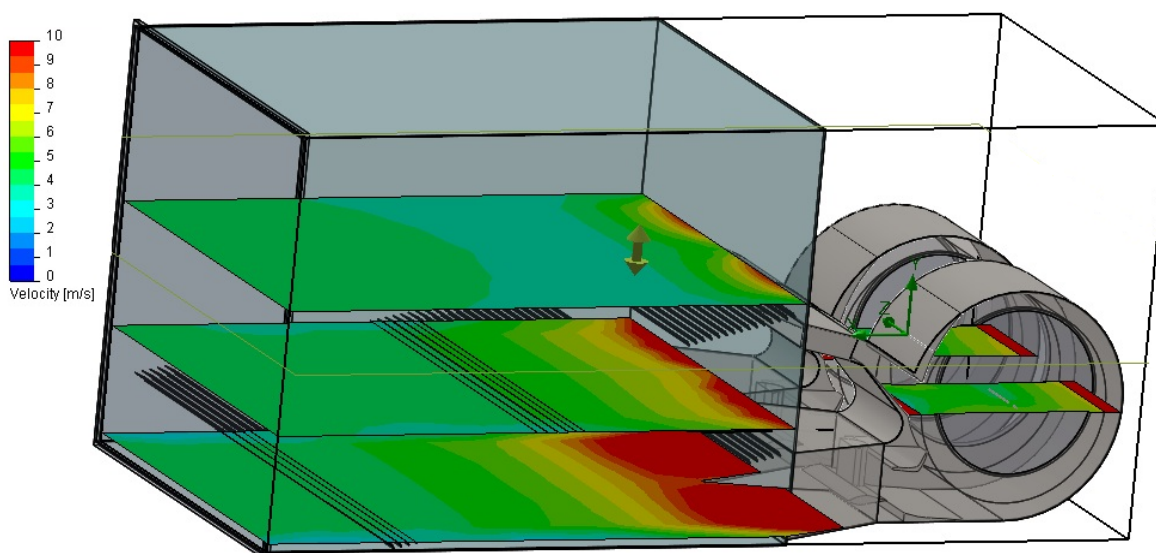


Рис. 9. Визуализация линий тока скоростей, полученных во FlowSimulation в продольном сечении системы очистки

Также была смоделирована визуализация линий тока скоростей и давлений, в результате которой можно утверждать об отсутствии турбулентных потоков, завихрений и практически отсутствии перепадов давления в зоне расположения решетных станов.

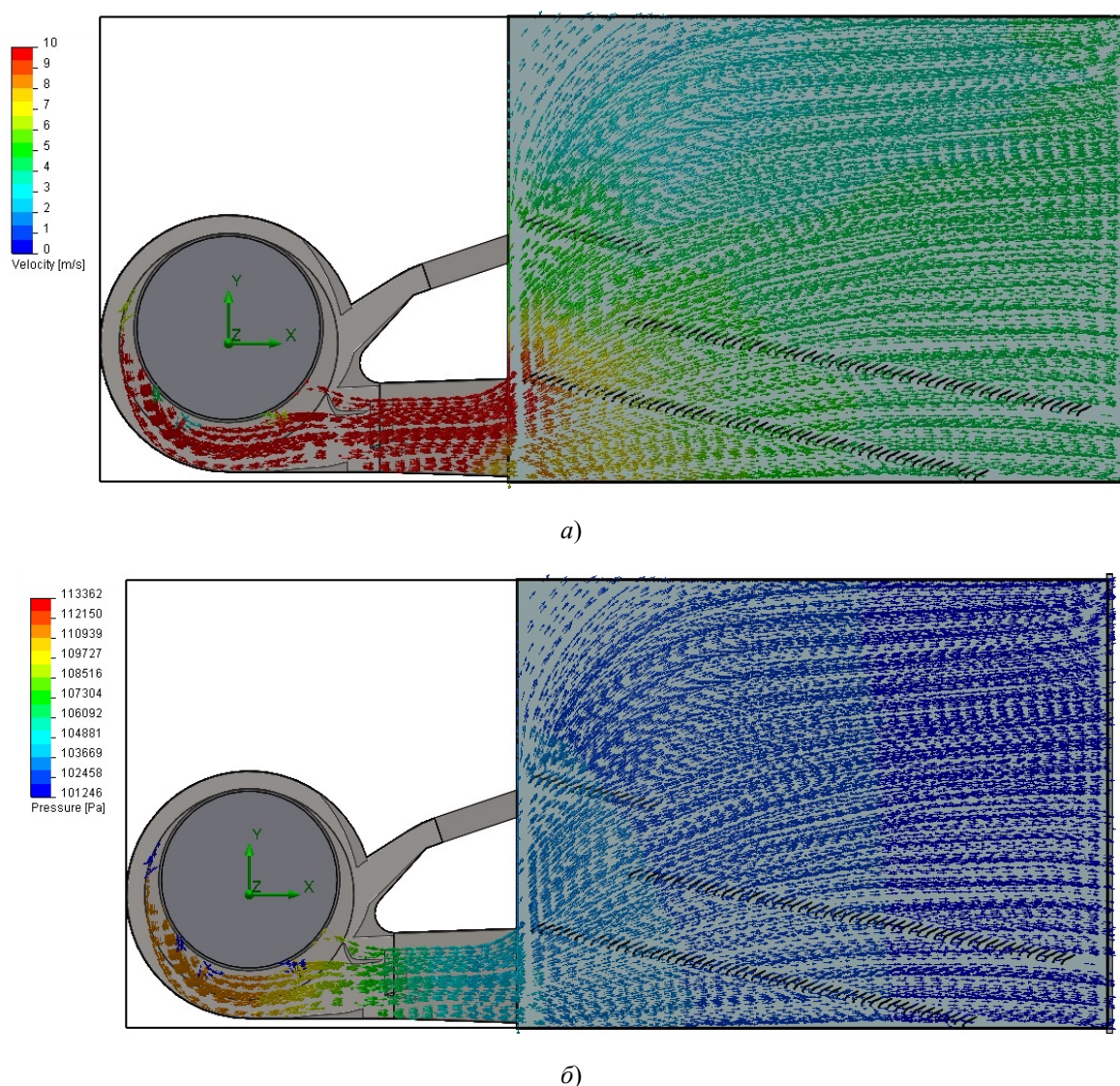


Рис. 10. Визуализация линий тока давлений (а) и скоростей (б), полученных во FlowSimulation

Как видно из представленных результатов (рис. 10, а), скорость потока на выходе вентилятора согласуется с данными, полученными теоретическим путем [4].

### Заключение

В результате проведенных расчетов установлено:

1. Воздушный поток турбинного вентилятора по ширине и высоте выходного канала более равномерный по сравнению с классическим центробежным вентилятором.
2. Относительная скорость турбинного вентиляторов в 3–4 раза выше, чем центробежных. Данная характеристика приводит к увеличению коэффициента производительности.
3. Турбинный вентилятор позволяет создавать воздушный поток, проходящий дважды через решетку (в центростремительном и центробежном направлениях), что приводит к увеличению коэффициента давления и совместно с повышенным коэффициентом производительности обеспечивает более пологое снижение КПД.
4. Асимметричное расположение лопастей рабочего колеса позволяет равномерными порциями подавать воздух к выходному каналу.



5. Применение дефлектора позволяет получить скорость воздушного потока на нижнем, верхнем и дополнительном решетках в интервале 6–12 м/с и его значения достаточно для выполнения бесперебойного технологического процесса.

6. Установлена адекватность расчетной 3D-модели, позволяющей провести дальнейшую оптимизацию вентилятора очистки зерноуборочного комбайна.

### Литература

1. Алямовский, А. А. SolidWorks 2007/2008 компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский. – СПб. : БХВ–Петербург, 2008.
2. Босой, Е. С. Теория, конструкция и расчет / Е. С. Босой. – М. : Машиностроение, 1978.
3. Брусиловский, И. В. Аэродинамика осевых вентиляторов / И. В. Брусиловский. – М. : Машиностроение, 1984.
4. Миренков, В. В. Анализ работы вентилятора системы очистки зерноуборочного комбайна / В. В. Миренков, В. Ф. Хиженок, П. Е. Родзевич // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2012. – № 2. – С. 18–25.
5. Долгов, И. А. Уборочные сельскохозяйственные машины / И. А. Долгов. – Ростов н/Д : ДГТУ, 2003.
6. Карпенко, А. Н. Сельскохозяйственные машины / А. Н. Карпенко, В. М. Халанский. – М. : Колос, 1983.
7. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-10К «Палессе GS10». Инструкция по эксплуатации. – Гомель : Гомсельмаш, 2008.
8. Ключков, А. В. Комбайны зерноуборочные зарубежные / А. В. Ключков, В. А. Попов, А. В. Адашь. – Минск : Новик, 2000.
9. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / Б. Г. Турбин [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1967.
10. Черкасский, В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В. М. Черкасский. – М. : Энергоатомиздат, 1984.

*Получено 11.09.2012 г.*