

ОТЧЁТ

о разработке научно-технической продукции

«Математическое моделирование
течения воздуха в пневмосепарирующей
системе модифицированной конструкции
сепаратора предварительной очистки
зерна СПО-50»

Исполнители:

В.Е. Костюк

Е.И. Кирилаш

Хорол 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОД ЕЁ РЕШЕНИЯ	4
2 РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЁТА И ИХ АНАЛИЗ	11
ВЫВОДЫ	15
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК	16

ВВЕДЕНИЕ

Сепарирование зерновых масс относится к важнейшим технологическим процессам, применяемым на разных стадиях обработки зерна. На первичной (послеуборочной) стадии обработки семенного и продовольственного зерна проводят его очистку от сорной примеси с помощью воздушно-ситового сепарирования.

Процесс воздушного (аэродинамического) сепарирования осуществляется в пневмосепарирующем канале и завершается в осадочной камере. Просеивание ведётся под воздействием аэродинамических и гравитационных сил, определяющих скорость витания частиц основного зерна и сорной примеси. Различие скоростей витания компонентов зерновой смеси даёт возможность проводить их разделение воздушным потоком. Динамика процесса аэродинамического сепарирования зависит от многих факторов: формы, размера и удельной массы зерновки, рабочей скорости пневмосепарирования, концентрации зернового потока в канале, формы осадочной камеры и т.п.

Опыт проектирования сепараторов предварительной очистки зерна показал необходимость углублённого исследования происходящих в них аэродинамических процессов с целью организации структуры течения воздуха, обеспечивающей необходимые характеристики сепаратора, в частности производительность и полноту выделения примеси, и выработки на этой основе эффективных конструктивных решений.

В настоящее время математическое (численное) моделирование является одним из наиболее экономичных и удобных способов детального анализа структуры течения воздуха и движения твёрдых частиц, что обусловило его выбор в качестве метода исследования.

Данный отчёт подготовлен по результатам разработки научно-технической продукции «Математическое моделирование течения воздуха в пневмосепарирующей системе модифицированной конструкции сепаратора предварительной очистки зерна СПО-50».

Работа состоит из введения, двух разделов и выводов.

В первом разделе описаны математическая постановка задачи и метод её решения.

Во втором разделе приведены результаты выполненных численных расчётов и их анализ.

Работа содержит 15 страниц печатного текста, одну таблицу и 10 иллюстраций.

1 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОД ЕЁ РЕШЕНИЯ

Объект исследования – пневмосепарирующая система модифицированной конструкции (рис. 1.1) сепаратора предварительной очистки зерна СПО-50 (рис. 1.2).

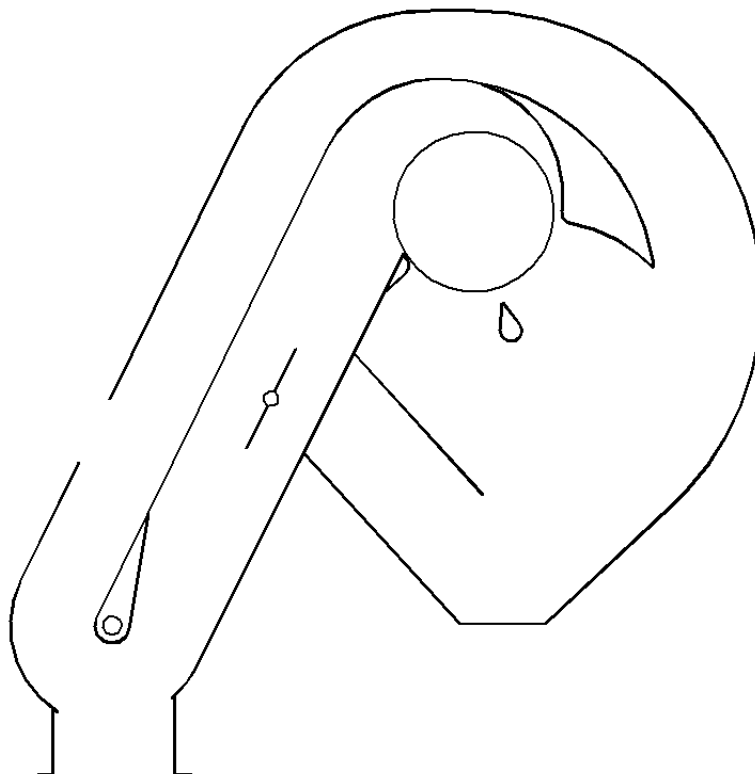


Рис. 1.1 – Пневмосепарирующая система модифицированной конструкции сепаратора предварительной очистки зерна СПО-50

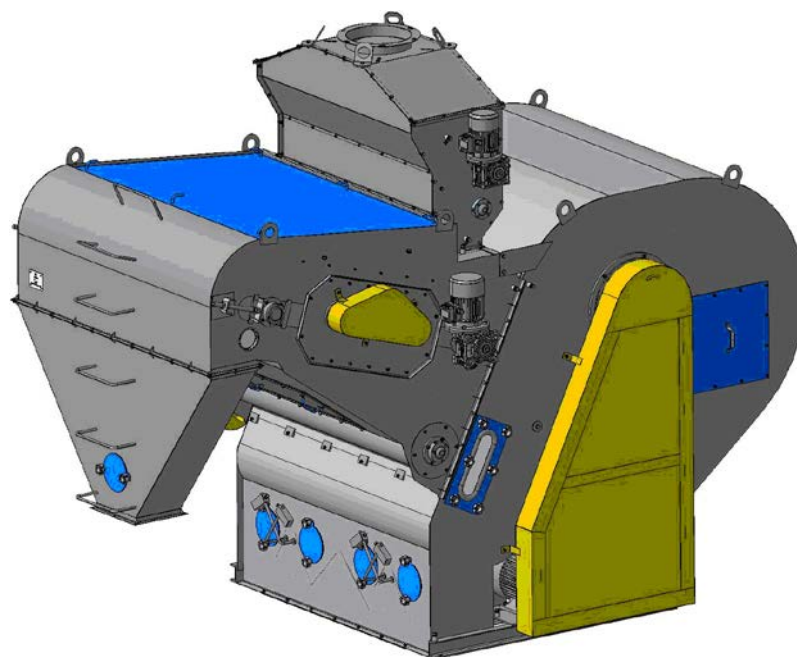


Рис. 1.2 – Сепаратор предварительной очистки зерна СПО-50

Сепаратор предварительной очистки зерна марки СПО-50 предназначен для предварительной очистки от сорных примесей поступающего с поля зернового вороха исходной влажностью до 35% и содержанием примесей до 20% (при полноте выделения не ниже 0,5).

Конструкция сепаратора предварительной очистки зерна СПО-50 и его функциональная схема приведены в [1].

Воздух с температурой $T_b^* = 288$ К и абсолютным давлением $p_b^* = 101325$ Па подаётся диаметральной вентилятором из осадочной камеры в рециркуляционный канал и далее по пневмосепарирующему каналу поступает обратно в осадочную камеру с массовыми расходами $G_b = 5$ кг/с на режиме 1 и $G_b = 2,5$ кг/с на режиме 2. (Среднемассовая скорость воздуха и её вертикальная компонента в пневмосепарирующем канале равны 12 м/с и 10 м/с соответственно на режиме 1 и 6 м/с и 5 м/с соответственно на режиме 2).

Предмет исследования – структура течения, в частности линии тока и распределения скорости и избыточного статического давления воздуха, в проточной части пневмосепарирующей системы модифицированной конструкции сепаратора предварительной очистки зерна СПО-50, а также траектории движения сепарируемых частиц.

Физико-математическая постановка задачи и метод её решения изложены в [1].

Численное решение отыскивалось в пределах расчётной области, представляющей собой сечение объекта исследования плоскостью зеркальной симметрии (рис. 1.3).

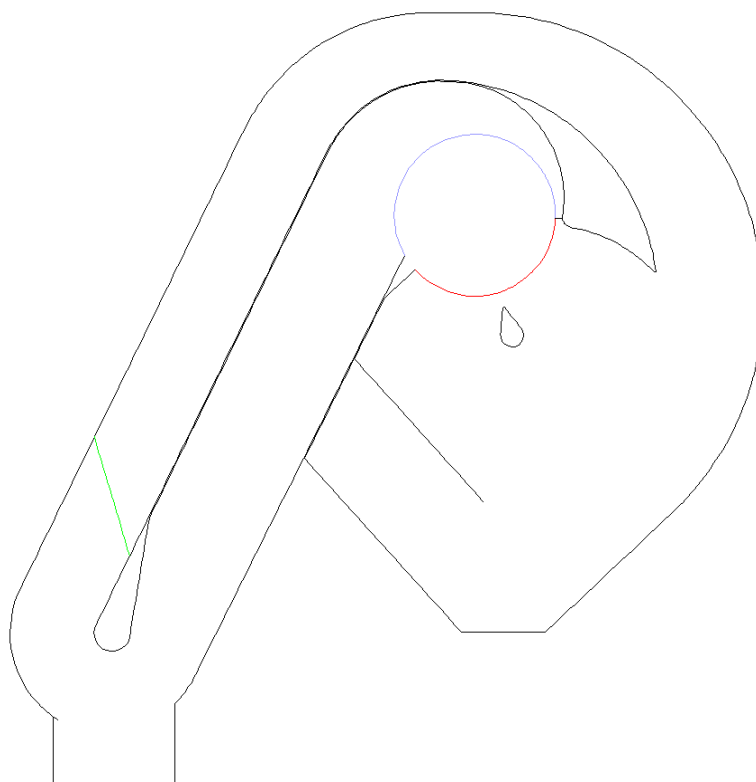


Рис. 1.3 – Расчётная область и её границы:
синий – вход; красный – выход; черный – стенка; зелёный – место ввода частиц

Расчётная область покрывалась неравномерной расчётной сеткой, включавшей 7784 четырёхугольных ячейки (рис. 1.4).

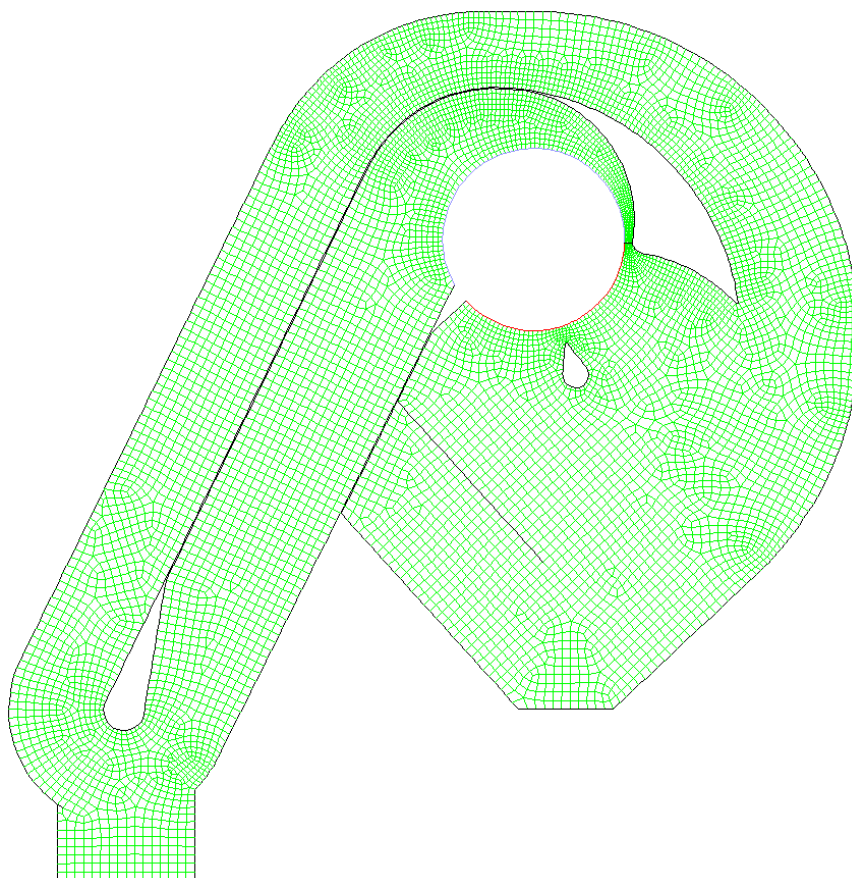


Рис. 1.4 – Расчётная сетка

Типы граничных условий на границах расчётной области и численные значения физических параметров идентичны приведенным в [1].

Траектории сепарируемых частиц, представлявших в качестве примера зерновки гречихи (полезный продукт) и лёгких сорняков (сорная примесь), моделировались в постановке, изложенной в [1]. Полагалось, что представительные сепарируемые частицы стартовали с нулевой абсолютной скоростью из четырнадцати равноотстоящих точек, расположенных на «стартовом» отрезке (показан зелёным цветом на рис. 1.3, 2.1 – 2.5), соединяющем центр расположенного напротив битера окна в стенке пневмосепарирующего канала с противоположной стенкой данного канала в вероятном направлении осыпания зерновой массы (см. рис. 1.3). Параметры представительных сепарируемых частиц приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Параметры представительных частиц

Зерновка	Плотность, кг/м ³	Эквивалентный диаметр, мм
Гречиха	1250	3,5
Лёгкие сорняки	1150	1,0

2 РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЁТА И ИХ АНАЛИЗ

Результаты численного расчёта показаны на рис. 2.1 – 2.6.

Из рис. 2.1 – 2.3 видно, что структура течения воздуха в пневмосепарирующей системе модифицированной конструкции близка к структуре течения воздуха в исходной конструкции, однако имеет некоторые особенности, в частности:

1) раскрытие колена и изменение формы обтекателя в нижней части перегородки между рециркуляционным и пневмосепарирующим каналами привело к тому, что зона обратных токов, образующаяся при повороте воздушного потока в колене на 180° и вхождении в пневмосепарирующий канал вследствие отрыва потока от правой стенки, сократилась в размерах (см. рис. 2.1, 2.2). В результате неравномерность распределения вертикальной компоненты скорости потока воздуха поперёк пневмосепарирующего канала, в том числе вдоль «стартового» отрезка, ориентированного в вероятном направлении осыпания зерновой массы из битера (зелёный отрезок на рис. 2.1 – 2.3), уменьшилась (см. рис. 2.6);

2) изменение формы верхней изогнутой перегородки в осадочной камере привело к тому, что зона рециркуляции в центральной части осадочной камеры сократилась в размерах (см. рис. 2.1, 2.2). Изменение формы самой осадочной камеры наряду с изменением формы верхней изогнутой перегородки привело к выравниванию векторов скорости в пространстве между ними (см. рис. 2.1, 2.2);

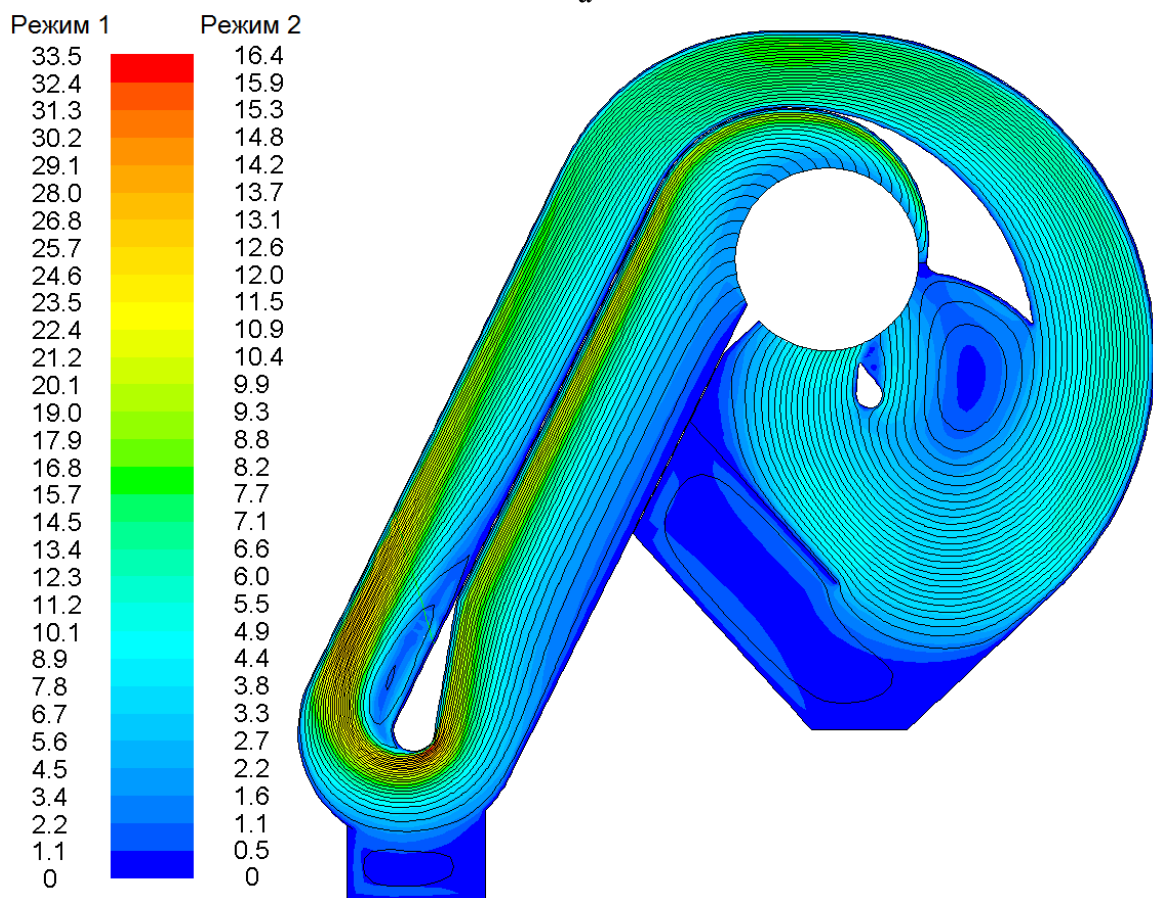
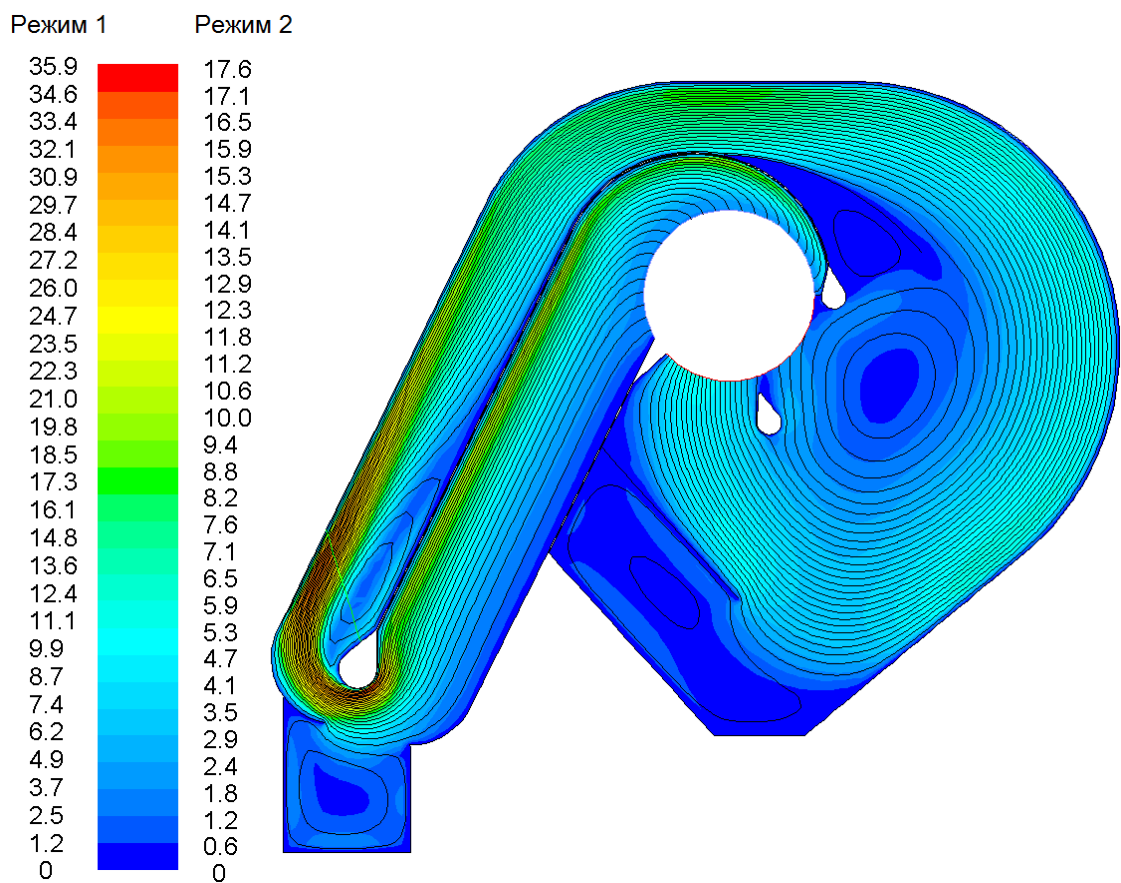
3) сокращение указанной выше зоны рециркуляции привело к появлению отрыва потока от обтекателя силового элемента, расположенного на всасе вентилятора.

Из рис. 2.4 – 2.5 видно, что исследуемая пневмосепарирующая система модифицированной конструкции работает лучше, чем исходная (во всяком случае, в отношении зерновок гречихи и лёгких сорняков с параметрами, приведенными в табл. 1.1), в частности:

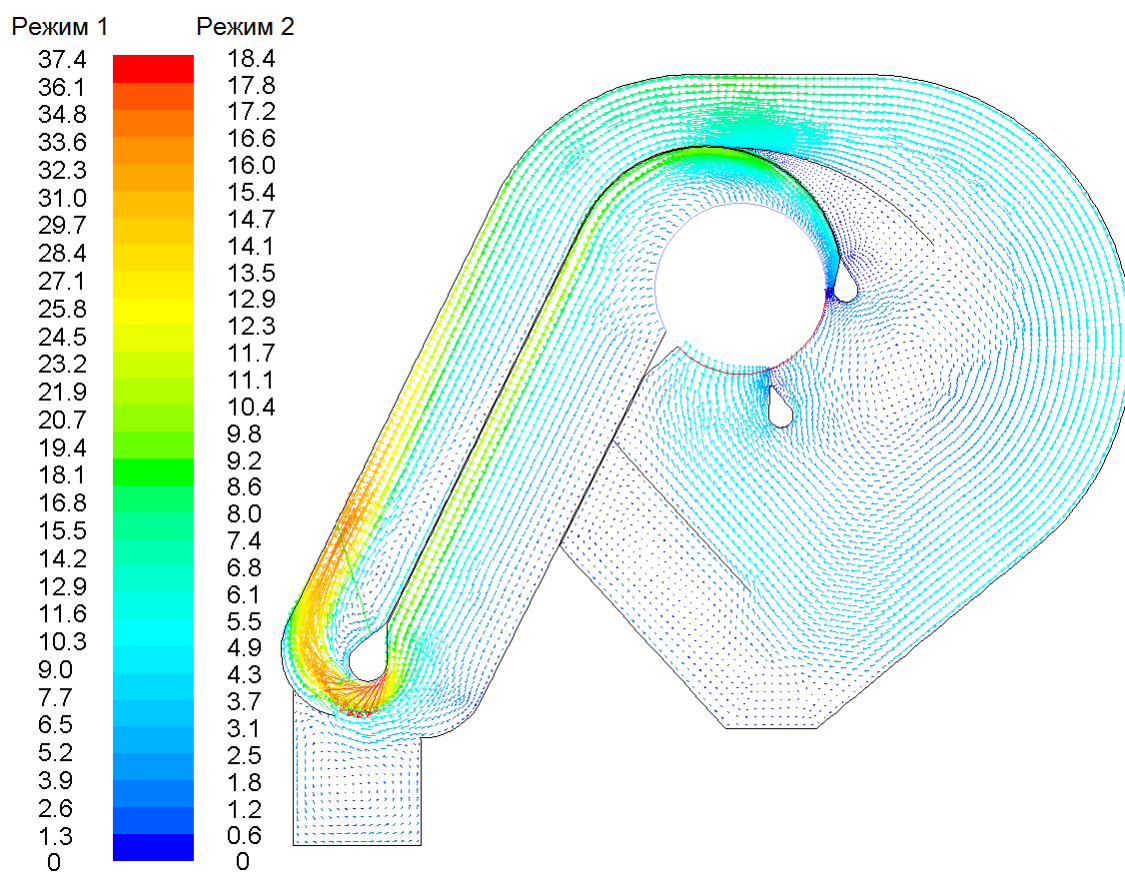
1) отсутствует «заброс» частиц, представляющих зерновки гречихи, вверх по потоку по пневмосепарирующему каналу (см. рис. 2.4);

2) частицы, представляющие зерновки лёгких сорняков, движутся ближе к стенкам осадочной камеры, не попадая в пространство под нижней прямой перегородкой (см. рис. 2.5).

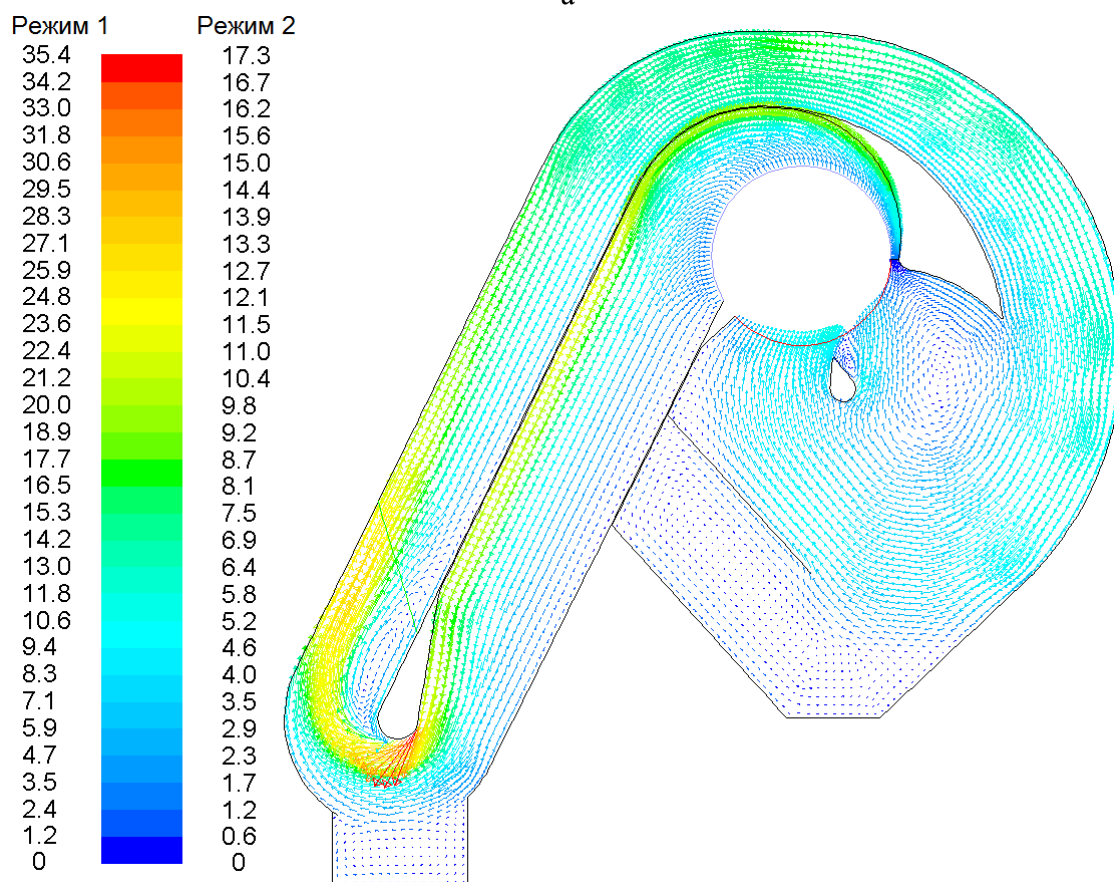
Из рис. 2.6 видно, что локальные значения вертикальной компоненты скорости воздуха поперёк пневмосепарирующего канала пневмосепарирующей системы модифицированной конструкции в месте осыпания зерновой массы из битера (зелёный отрезок на рис. 2.1 – 2.3), изменяются меньше, чем в исходной конструкции. Максимальные значения вертикальной компоненты скорости воздуха на режиме 2 незначительно превышают скорость витания гречихи.



а – исходная конструкция; б – модифицированная конструкция
 Рис. 2.1 – Линии тока воздуха на фоне изолиний его абсолютной скорости (м/с)

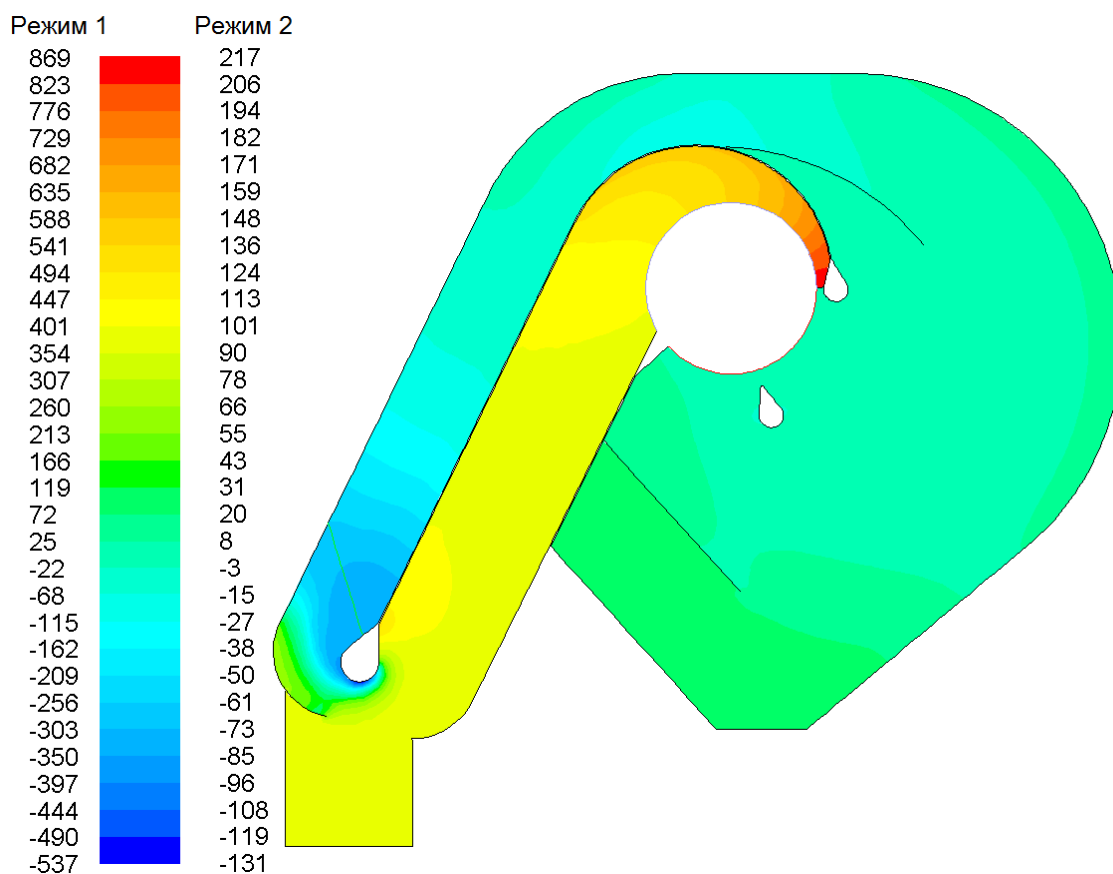


а

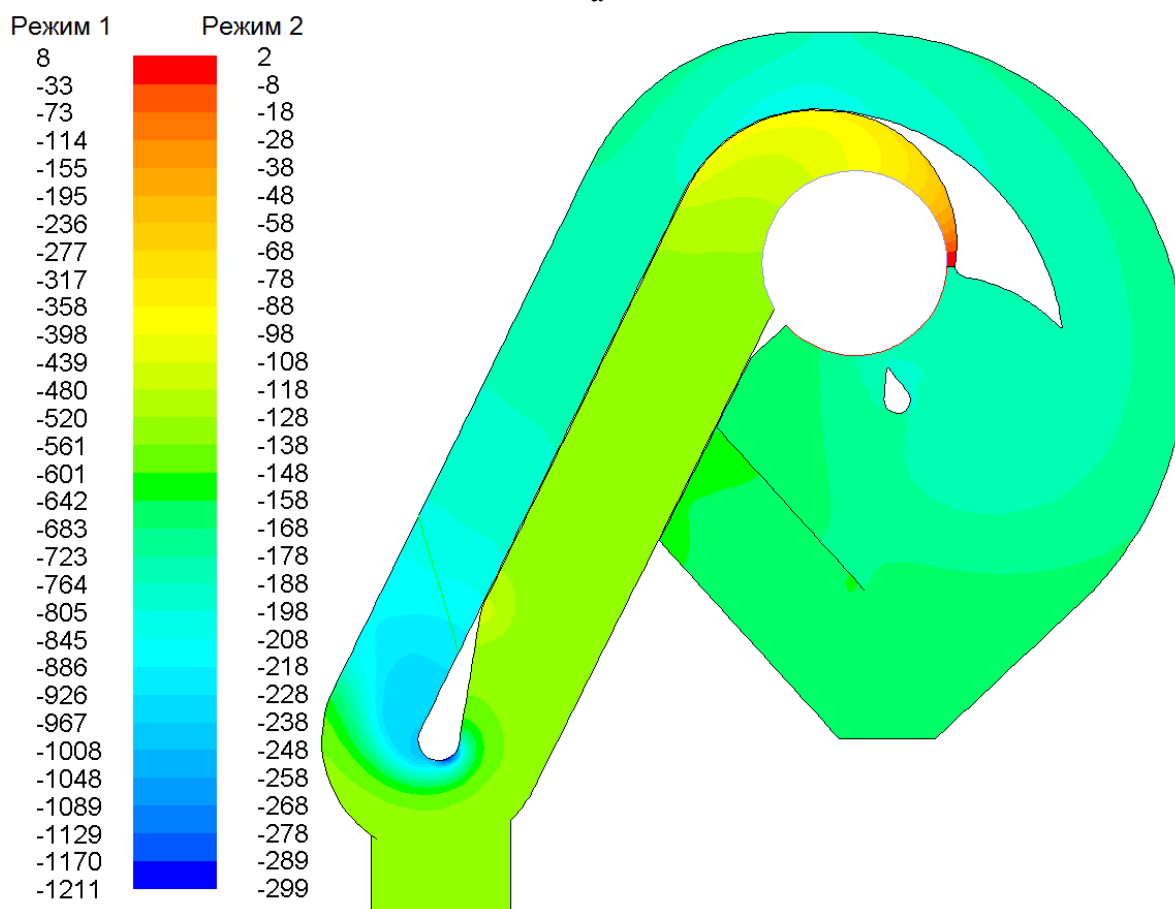


б

а – исходная конструкция; б – модифицированная конструкция
 Рис. 2.2 – Векторы скорости воздуха, окрашенные в соответствии с его абсолютной скоростью (м/с)



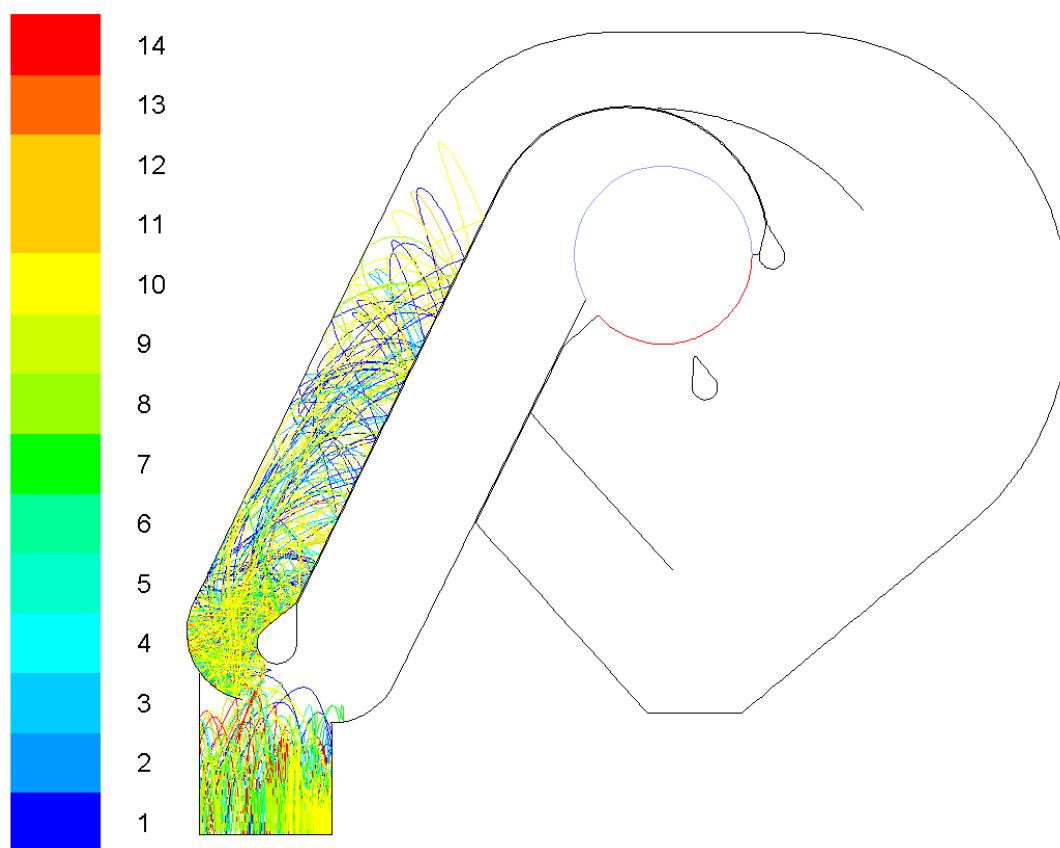
а



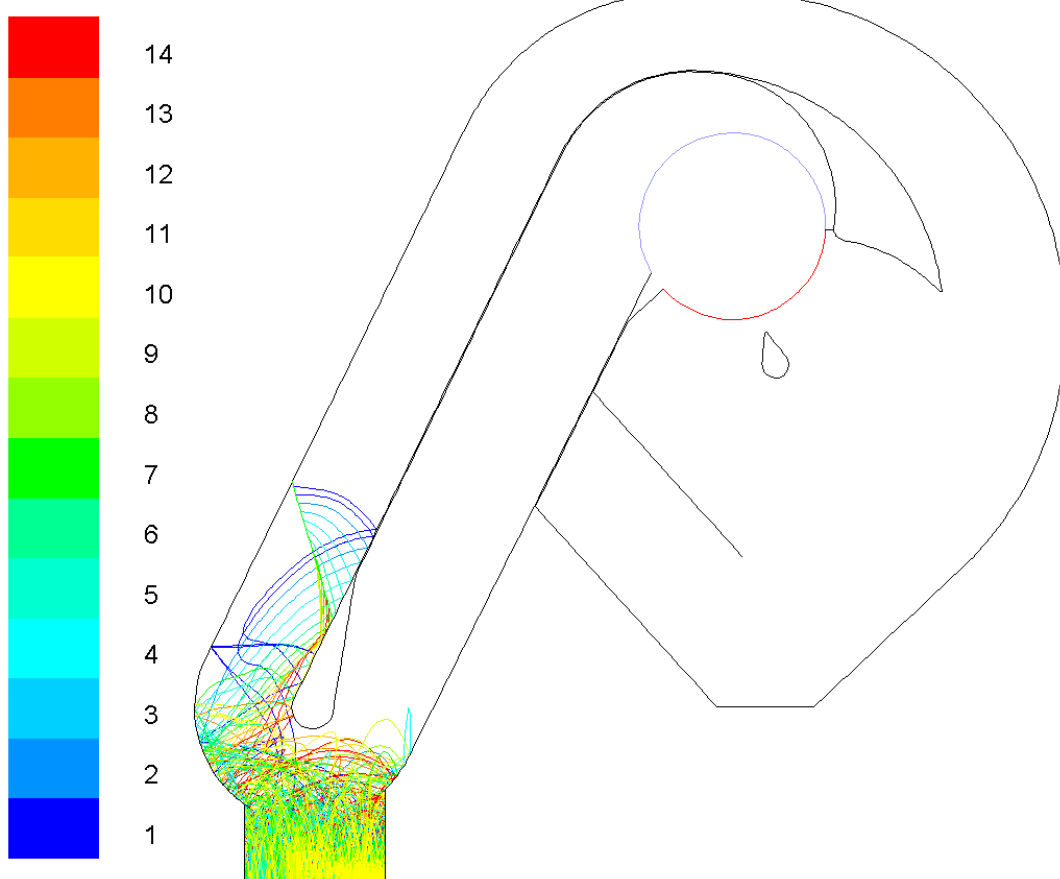
б

а – исходная конструкция; б – модифицированная конструкция

Рис. 2.3 – Распределение избыточного статического давления скорости воздуха (Па)

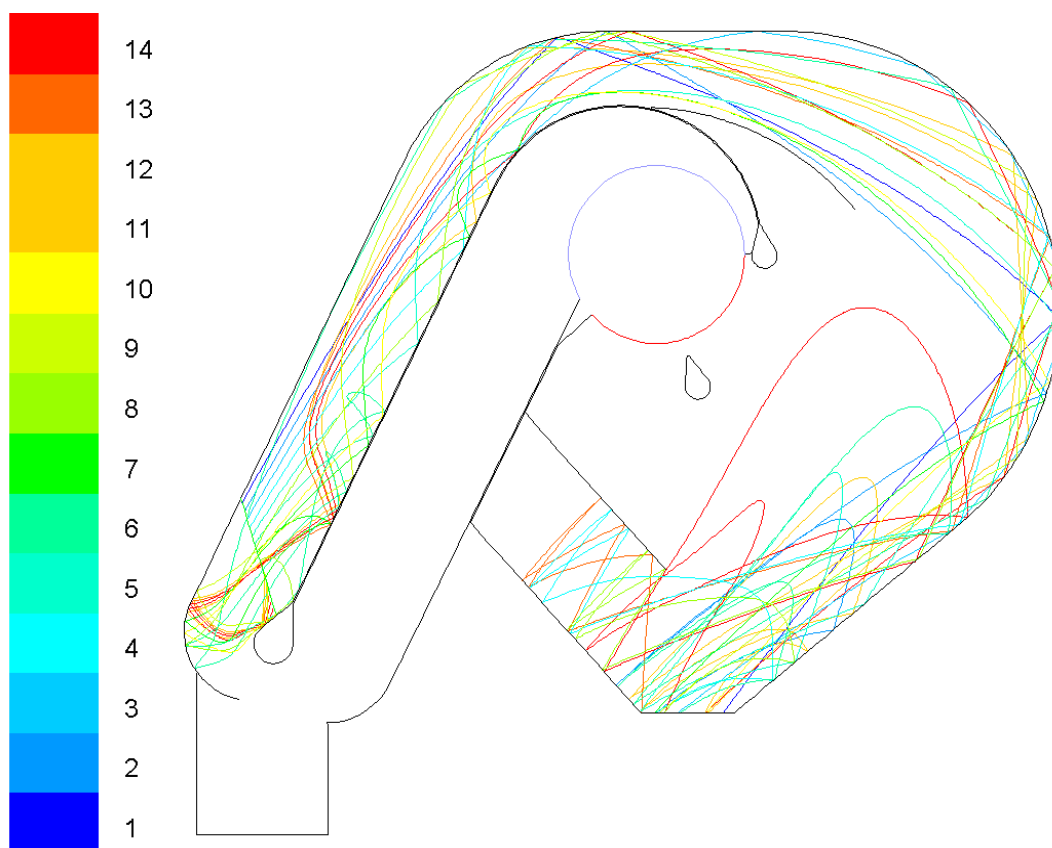


а

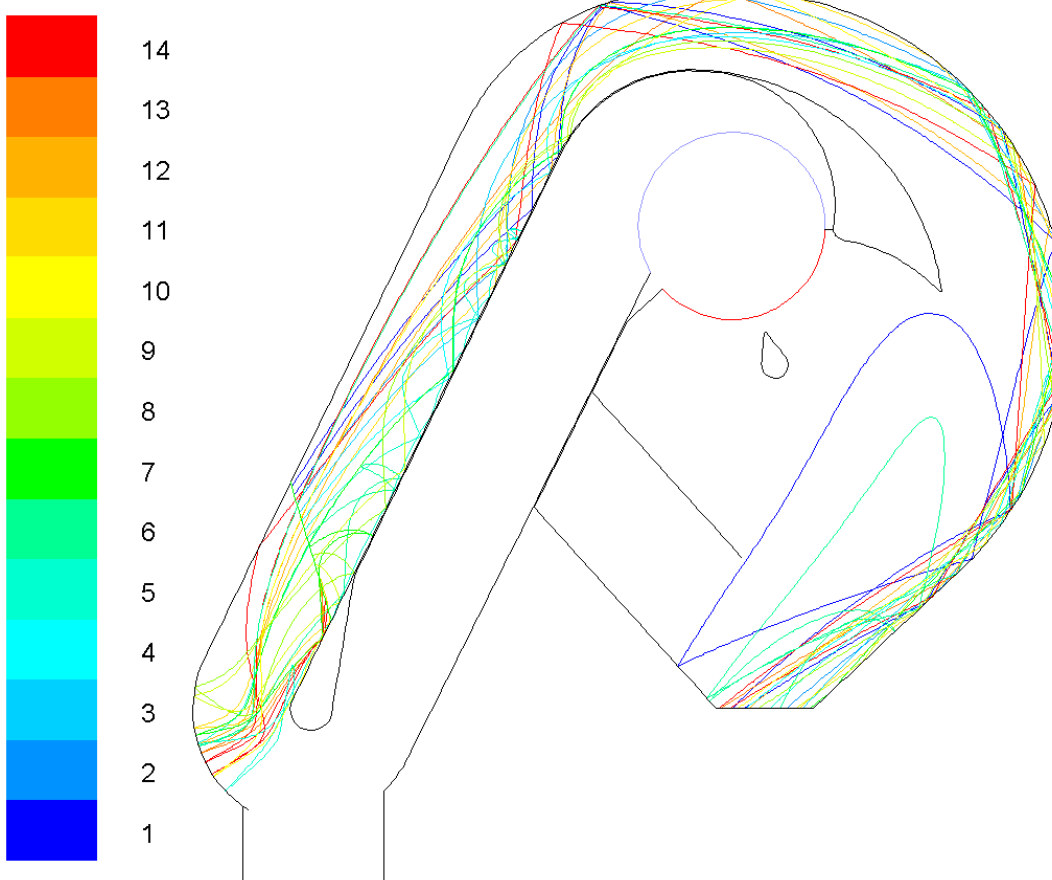


б

а – исходная конструкция; б – модифицированная конструкция
 Рис. 2.4 – Траектории движения частиц, представляющих зерновки гречихи, окрашенные в соответствии с их идентификационным номером (режим 2)



а



б

а – исходная конструкция; б – модифицированная конструкция
 Рис. 2.5 – Траектории движения частиц, представляющих зерновки лёгких сорняков, окрашенные в соответствии с их идентификационным номером (режим 2)

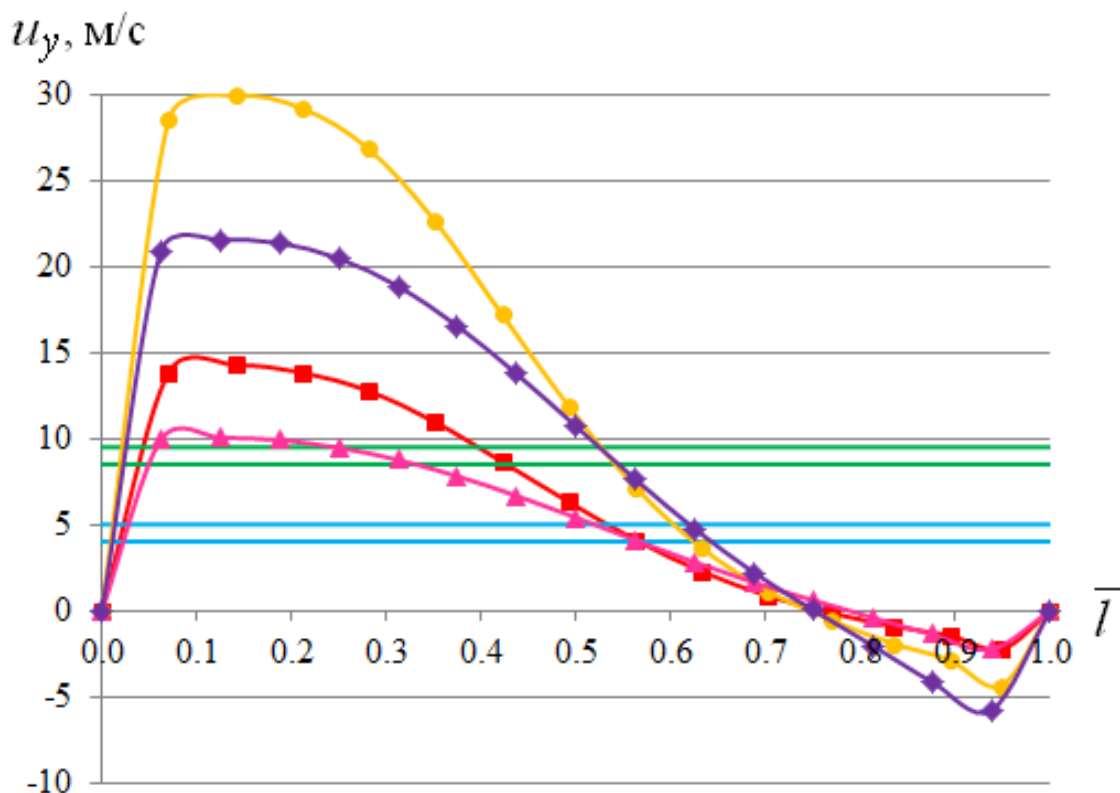


Рис. 2.6 – Распределения вертикальной компоненты скорости воздуха u_y по относительной длине «стартового» отрезка \bar{l} , показанного зелёным цветом на рис. 1. 3, 2.1 – 2.5 (жёлтый – режим 1, исходная конструкция; фиолетовый – режим 1, модифицированная конструкция; красный – режим 2, исходная конструкция; розовый – режим 2, модифицированная конструкция), в сравнении с диапазонами скоростей витания сепарируемых частиц (зелёный – гречиха; синий – лёгкие сорняки)

ВЫВОДЫ

В результате выполнения разработки:

а) сформулирована физико-математическая постановка и численно решена задача о двухмерном квазистационарном турбулентном течении воздуха и движении частиц, представляющих полезный продукт и сорную примесь, в пневмосепарирующей системе модифицированной конструкции сепаратора предварительной очистки зерна СПО-50;

б) достигнуто качественное соответствие результатов численных расчётов имеющимся физическим представлениям;

в) результаты расчёта показали, что пневмосепарирующая система модифицированной конструкции работает лучше, чем исходная.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Математическое моделирование течения воздуха в пневмосепарирующей системе сепаратора предварительной очистки зерна СПО-50 : отчёт / исполн.: Костюк В.Е., Кириладш Е.И. – Хорол, 2013. – 16 с.