

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 664.7:621.928.9

О.Н. Терехова, А.А. Глебов, Я.С. Дююнова
O.N. Terekhova, A.A. Glebov, Ya.S. Dyuunova

ТОНКАЯ ВОЗДУШНАЯ СЕПАРАЦИЯ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА

FINE AIR SEPARATION OF DISPERSED PARTICLES IN GRAIN PROCESSING

Ключевые слова: сепарация, пыль, мука, воздух, спираль, классификатор, пылеотделитель, фракция, высокобелковая, очистка, частица.

Технология мукомольного производства основана на многократном измельчении и сепарировании продуктов размола, представляющих собой полидисперсные смеси, которые имеют широкий диапазон размеров частиц. Разделение на фракции таких смесей производится в основном ситовой классификацией, однако значительная доля состава муки высоких сортов находится ниже границы гравитационного просеивания и получить высокую четкость сепарирования посредством традиционной ситовой классификации невозможно. Целью работы является повышение эффективности улавливания тонкодисперсной фракции пылевых частиц в процессах переработки зерна в муку и выделение из общего потока продуктов размола высокобелковой фракции. Объект исследования – процесс воздушной сепарации дисперсного материала в пищевом производстве. В результате экспериментальных исследований была получена высокая эффективность улавливания продуктов размола – до 99,8%. На основе данных компьютерного моделирования отмечено, что при увеличении диаметра витков трубки скорость и давление падают, также наблюдается падение давления с каждым витком, поэтому возможно дальнейшее изменение конструкции с уменьшением количества витков или применение конструкции с изменяющимся внутренним сечением каждого последующего витка. Решена за-

дача определения оптимального режима скорости воздуха и особенностей конструкции классификатора-пылеотделителя тонкой сепарации дисперсных частиц в перерабатывающем производстве, способного осуществить отбор глютеиновой (высокобелковой) муки, повысить экологичность и безопасность производства.

Keywords: separation, dust, flour, air, spiral, classifier, dust separator, fraction, high protein, purification, particle.

The technology of milling production is based on multiple grinding and separation of ground products which are poly-disperse mixtures having a wide range of particle sizes. The separation into fractions of such mixtures is mainly made by sieve classification, however, a significant proportion of the high-grade flour composition is below the boundary of gravity sieving and it is not possible to obtain high separation accuracy by means of traditional sieve classification. The research goal is to increase the efficiency of trapping the fine fraction of dust particles in the processing of grain into flour and the selection of high-protein fraction from the total flow of ground products. The research target is the process of air separation of dispersed material in food production. As a result of experimental studies, a high efficiency of milling products was obtained – up to 99.8%. Based on computer simulation data, it is noted that as the diameter of the turns of the tube increases, the speed and pressure drop, there is also a drop in pressure with each turn, so it is possible to further change the design with a decrease in the number of

turns or use a design with a changing internal cross section of each subsequent turn. The task of determining the optimal air velocity mode and the design features of the classifier-dust separator for fine separation of dispersed particles in the

processing industry, capable of selecting gluten (high-protein) flour, improving environmental friendliness and production safety has been solved.

Терехова Ольга Николаевна, к.т.н., доцент, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: onter@mail.ru.

Глебов Александр Александрович, к.т.н., доцент, зав. каф. МАПП, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: a.a.g05@mail.ru.

Дуюнова Яна Сергеевна, магистрант, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: duyunova1996@mail.ru.

Terekhova Olga Nikolayevna, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: onter@mail.ru.

Glebov Aleksandr Aleksandrovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Head of Chair, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: a.a.g05@mail.ru.

Duyunova Yana Sergeyevna, master's degree student, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: duyunova1996@mail.ru.

Введение

Технология зерноперерабатывающего производства, прежде всего мукомольного, основана на многократном измельчении и сепарировании продуктов размола, представляющих собой полидисперсные смеси, которые имеют широкий диапазон размеров частиц. Разделение на фракции таких смесей производится в основном ситовой классификацией, позволяющей дифференцировать продукты по их линейным размерам. Однако важно понимать, что измельченные частицы отличаются по своему химическому составу и требуют для своего разделения иных способов и устройств сепарации, основанных на различии целого комплекса физико-механических свойств исходного продукта.

Целью работы является повышение эффективности улавливания тонкодисперсной фракции пылевых частиц в процессах переработки зерна в муку и выделение из общего потока продуктов размола высокобелковой фракции.

Объектом исследования стал процесс воздушной сепарации дисперсного материала в пищевом производстве, поставлены и решены следующие **задачи**:

- обоснована необходимость и показана актуальность повышения эффективности очистки воздуха от пыли на перерабатывающем производстве;

- приведен анализ методов разделения дисперсных материалов;

- приведены результаты экспериментальных исследований процесса разделения аэродисперсного потока на лабораторном стенде спирального классификатора;

- проведен теоретический анализ движения дисперсных частиц в рабочей зоне классификатора, выявлен характер влияния на процесс дей-

ствующих сил при горизонтальном и вертикальном положении оси;

- проведено компьютерное моделирование работы классификатора при изменении его конструктивных параметров.

Основной объем высокобелковой (глютеновой) муки в России и за рубежом производят так называемым «мокрым» способом, когда глютен получают из пшеницы с высоким содержанием белка методом замеса теста и вымыванием крахмала, с последующим высушиванием полученного белка, далее его добавляют в муку с низким содержанием глютена для улучшения свойств теста, а также используют при производстве диетических продуктов. Содержание глютена в муке, полученной таким способом, может варьироваться в диапазоне от 25 до 75% [1]. Данный способ имеет высокую энергоемкость и себестоимость.

В России муку с повышенным содержанием белка на мукомольных предприятиях получают путем улавливания тонкой фракции муки в фильтрах после разгрузителей систем пневмотранспорта муки. По такой технологии получают муку с содержанием белка до 25%. Но и этот способ не позволяет решить проблему эффективного улавливания и использования тонкодисперсной мучной пыли, которая по своему составу богата белковой фракцией, так как пылеотделители, работающие в системах пневмотранспорта и аспирации мельниц, не обладают достаточно высоким коэффициентом пылеотделения, степень очистки воздуха от пыли в них не соответствует нормативным требованиям, воздух, содержащий ценный пылевидный продукт с белковой фракцией, просто улетает в атмосферу, загрязняя воздушный бассейн, повышая взрывопожароопасность предприятия [2]. Согласно приведенным расчетам [3] пылевых выбросов мукомольного завода производительностью 500 т/сут., в аспирационных и

пневмотранспортных сетях которого для очистки воздуха установлены фильтры-циклоны типа РЦИ и циклоны типа УЦ, ежегодно в атмосферу выбрасывается около 34 т пыли, это если учесть, что это расчетные значения, опирающиеся на паспортную эффективность пылеотделителей, реальные же показатели пылевых выбросов для всех типов пылеотделителей, работающих в производственных условиях, значительно их превосходят. Если выделить из этого объема количество мучной пыли, выбрасываемой в атмосферу, оно составит около 11 т/год.

Таким образом, улавливая тонкий пылевидный продукт от воздуха в мукомольном производстве, можно не только добиться повышения экологичности и взрывобезопасности производства, но и получить высокобелковую фракцию муки. Для получения муки с высоким и низким содержанием белка применяют пневмосепарирующее оборудование и классификаторы, в основном импортного производства.

Проведенные нами ранее теоретические и экспериментальные исследования процесса разделения аэродисперсного потока во вращающемся рабочем пространстве, заключенном между двумя цилиндрами, конусами и дисками, показали высокие результаты и подтвердили работоспособность конструкций пневмокласификаторов с роторной частью [4]. Однако появление вращающихся элементов резко повышает энергозатраты и усложняет конструкцию, поэтому обратимся к центробежным инерционным способам разделения, проведем анализ достоинств и недостатков их работы (табл. 1).

Анализируя приведенную классификацию, можно заключить, что диапазон размеров интересующих нас частиц лежит в области работы воздушной сепарации, однако не имеет высокого распространения для разделения тонкодисперсных пищевых сред. Ранее проведенные нами исследования и полученные результаты при разделении продуктов размола зерна и других мелкодисперсных материалов в лабораторной установке спирального классификатора позволяют рекомендовать этот способ для тонкой сепарации и классификации продуктов [5-7].

Экспериментальные исследования работы спирального классификатора-пылеотделителя. Для проведения испытаний спирального классификатора-пылеотделителя на базе патента РФ 2461410 [8] на кафедре МАПП АлтГТУ им. Ползунова была изготовлена и собрана установка, отличающаяся в предыдущей конструкции вертикальным расположением оси классификатора (рис. 1).

На классификаторе исследовали процесс разделения продуктов размола зерна со второй и третьей драной систем и манную крупу, были определены общая эффективность и пофракционное осаждение продуктов на витках, результаты представлены в таблице 2.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что основная часть продукта осаждается в бункерах на первом и втором витках, достигнув при этом эффективности улавливания 95,0-99,8%.

Таблица 1

Свойства методов разделения

Наименование способа	Область размеров	Достоинства	Недостатки	Применяем по материалам
Центробежные сепараторы	4-30 мк при $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$	Непродолжительность процесса, крупная фракция легко извлекается	Точность разделения в области меньше 8 мк недостаточная	Без ограничений, оказывает только при сильной агломерации
Горизонтальные и наклонные сита	От 200 мк и выше	Простота, получение сразу несколько фракций	При тонких ситах длительное просеивание	Без ограничений
Седиментация в воздухе	2-150 мк	Широкая область дисперсности, непродолжительность процесса	Высокая стоимость оборудования	Материалы с высокой твердостью зерна, низкой агломерацией
Воздушные сепараторы	10-50 мк при $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$	Устойчивость, неприхотливость	Длительный процесс при размерах мельче 15 мк	В основном минеральные, абразивные материалы

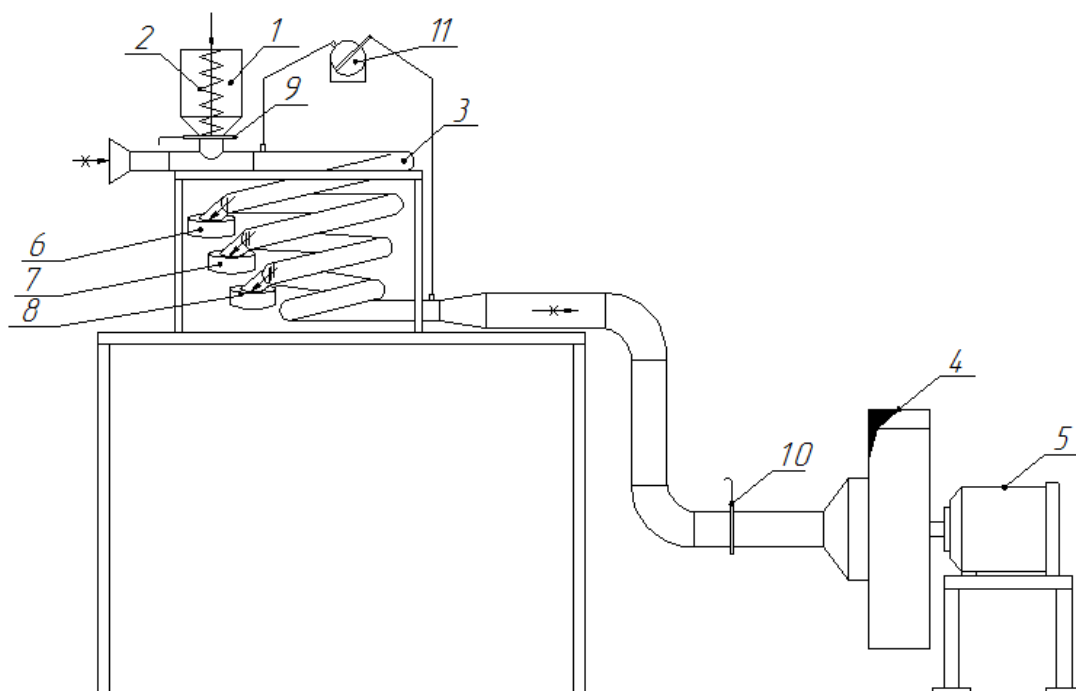


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

* — исходная смесь, * — воздух, — — — — крупная фракция,
 // — — — — средняя фракция, // — — — — мелкая фракция;
 1 – приемный бункер, 2 – винтовой питатель, 3 – трубопровод, 4 – вентилятор,
 5 – электродвигатель, 6-8 – бункера, соответственно, для крупной, средней и мелкой фракции,
 9, 10 – задвижки, 11 – микроанометр

Таблица 2

Эффективность улавливания частиц

Манка				
v, м/с	Осаждение на витке, %			Общая эффективность, %
	1	2	3	
8	86,0	8,0	3,0	97,0
10	90,0	8,0	1,2	99,2
12	90,0	8,0	0,8	98,8
1-я драная система				
v, м/с	Осаждение на витке, %			Общая эффективность, %
	1	2	3	
8	78,8	8,2	1,0	98,0
10	73,6	20,0	1,4	96,4
12	79,2	16,4	0,2	96,0
2-я драная система				
v, м/с	Осаждение на витке, %			Общая эффективность, %
	1	2	3	
8	90,4	8,4	0,4	99,2
10	85,6	12,0	2,0	99,6
12	85,0	12,4	2,4	99,8
3-я драная система				
v, м/с	Осаждение на витке, %			Общая эффективность, %
	1	2	3	
8	59,2	35,0	3,2	97,4
10	57,0	36,4	1,6	95,0
12	57,0	40,0	1,2	98,2

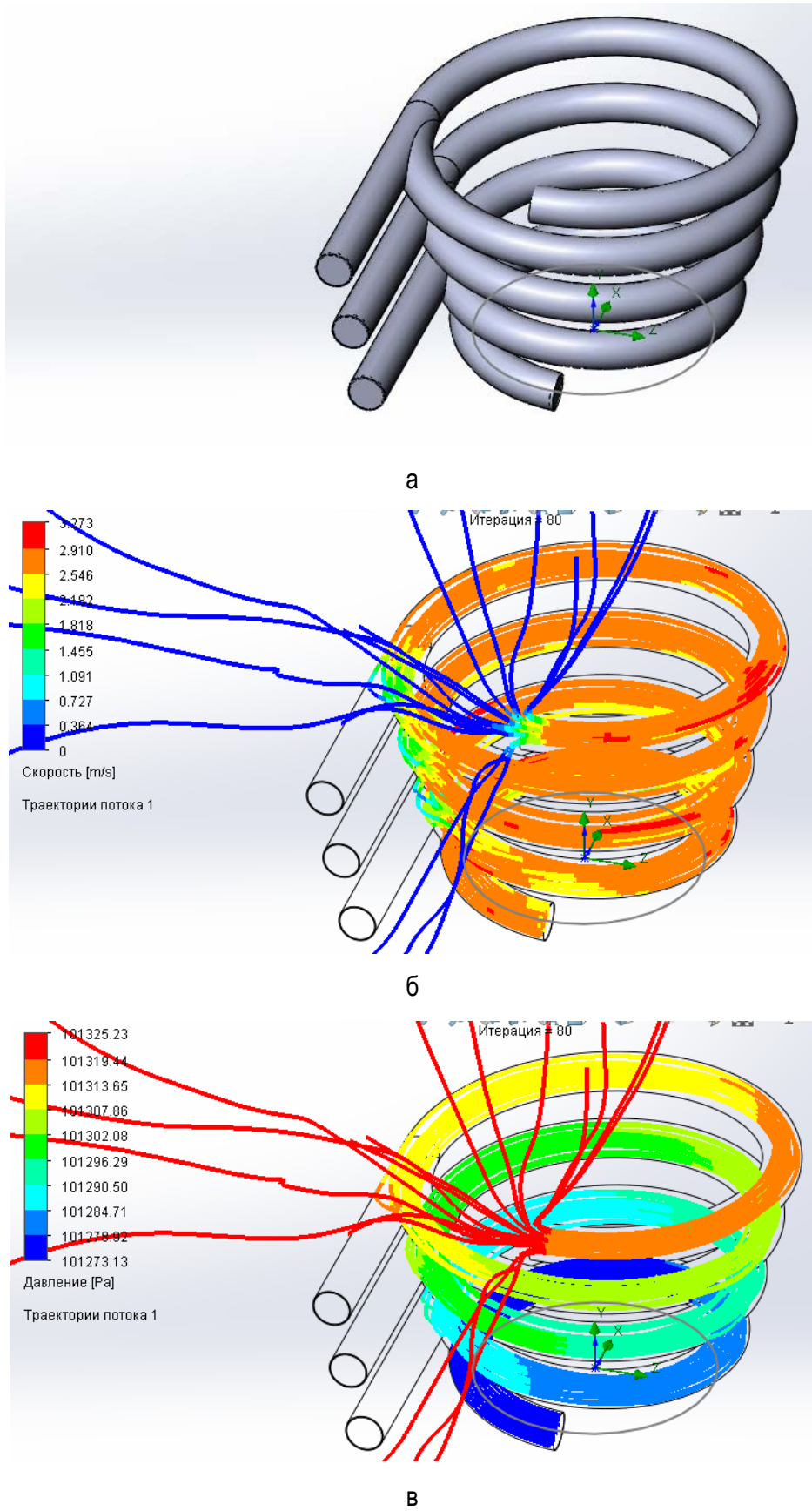


Рис. 2. Спиральный классификатор:
а – конструкция спирального классификатора; б – скорость воздуха в рабочей области;
в – давление в рабочей области

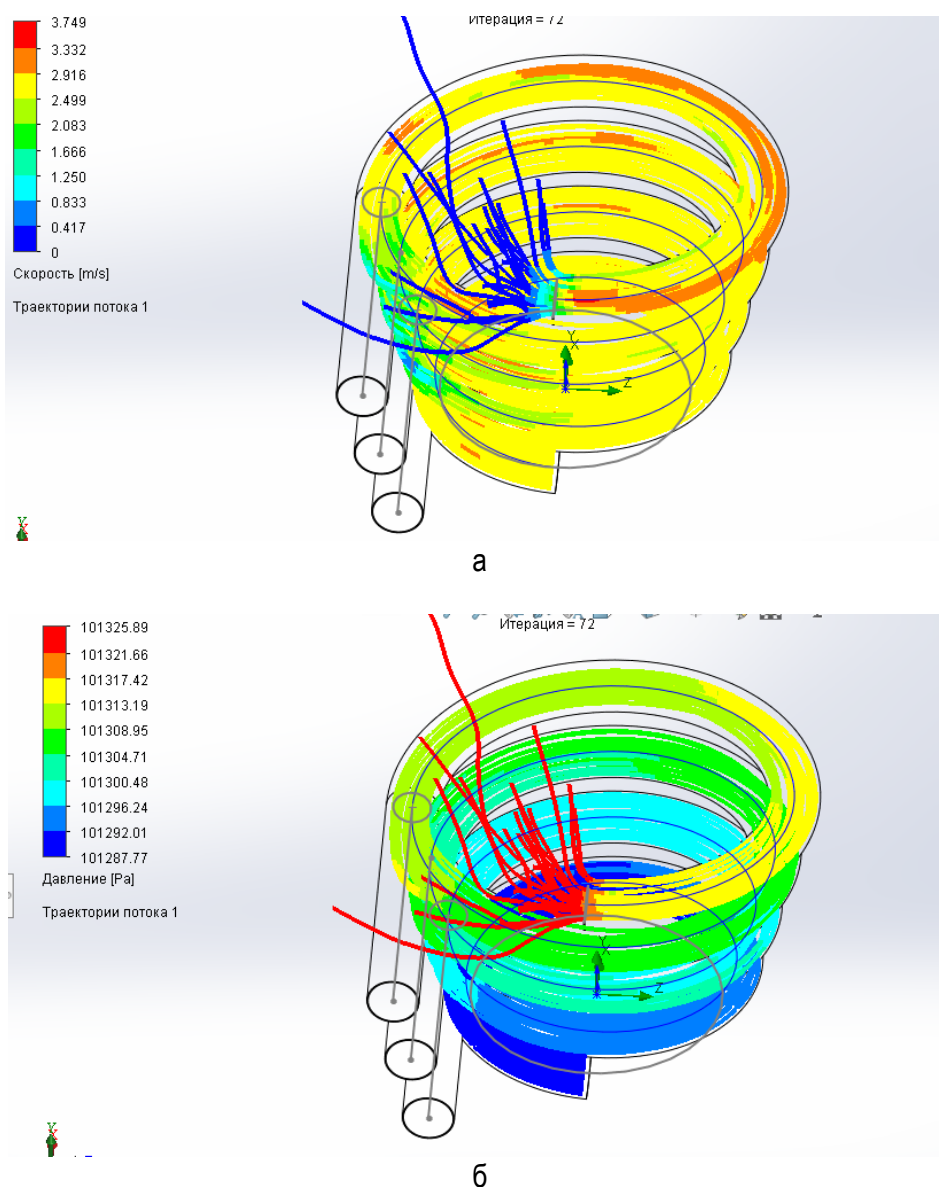


Рис. 3. Спиральный классификатор с увеличенным диаметром спирали: а – скорость воздуха в рабочей области; б – давление в рабочей области

Конструкция экспериментальной установки спирального разделителя показала хорошую эффективность пылеулавливания в некотором диапазоне скоростей на различных продуктах размола. В свою очередь классификатор показал достаточно устойчивые результаты фракционирования. Основное разделение смеси происходило на 1-м и 2-м витках. Общая эффективность пылеочистки составила 98%. Можно сказать, что разделение продуктов на фракции воздушным потоком возможно, но не дает высокого результата. Для уточнения рабочих параметров процесса тонкой сепарации дисперсных частиц проведем ана-

лиз движения частицы в канале спирального классификатора при помощи специального пакета прикладных компьютерных программ Solid Works.

Для того чтобы достигнуть большей эффективности как улавливания частиц, так и в их разделении, не затрачивая материалы, при помощи компьютерного моделирования были исследованы классификаторы с различными конструктивными особенностями (рис. 2-4). При помощи создания симуляции воздушного потока можно увидеть, как будет изменяться скорость или давление на различных участках.

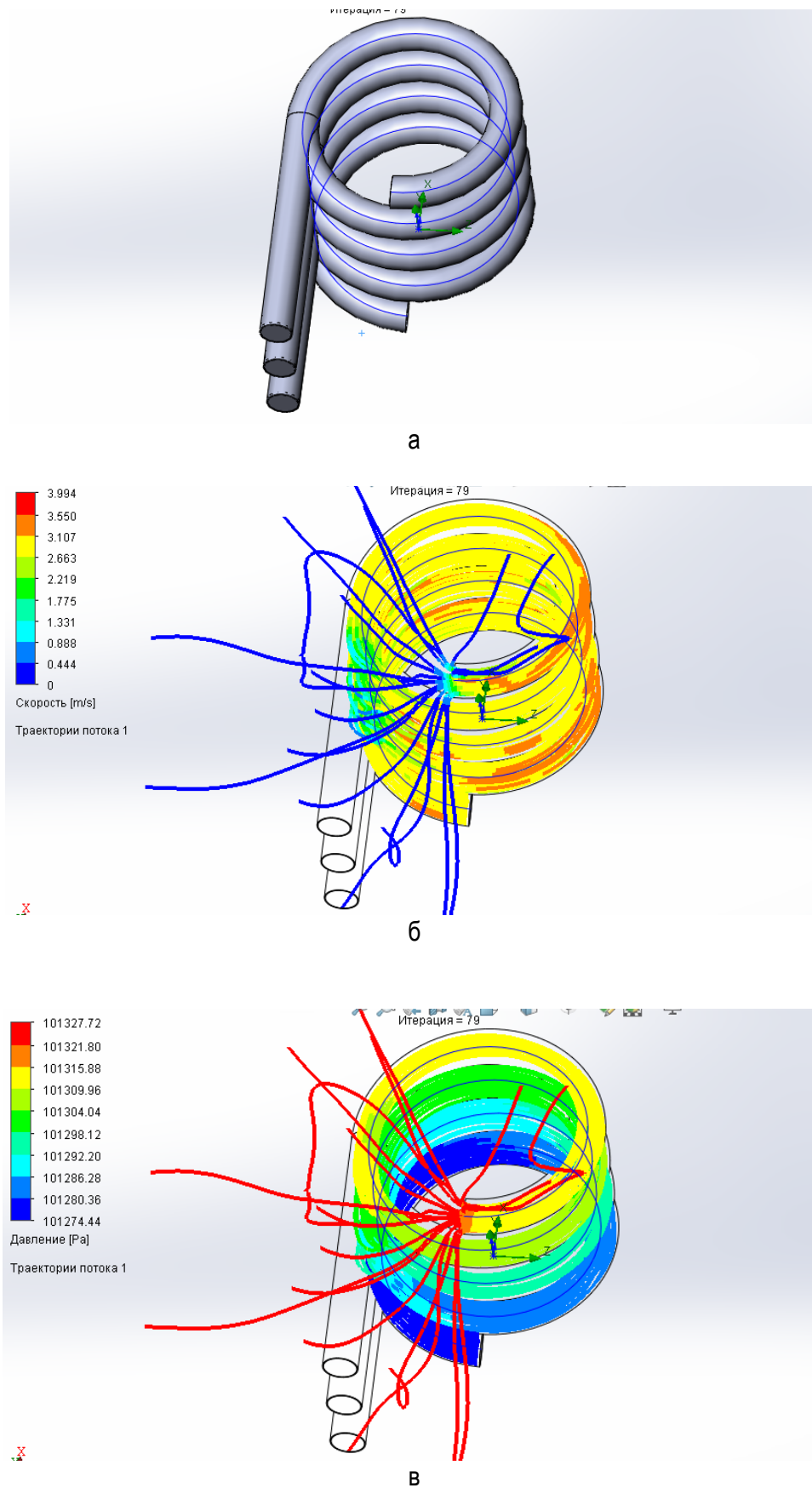


Рис. 4. Спиральный классификатор цилиндрической формы:
а – конструкция спирального классификатора; б – скорость воздуха в рабочей области;
в – давление в рабочей области

Выводы

В результате экспериментальных исследований была получена высокая эффективность улавливания продуктов размола – до 99,8%. На основе данных компьютерного моделирования отмечено, что при увеличении диаметра витков трубки скорость и давление падают, также наблюдается падение давления с каждым витком, поэтому возможно дальнейшее изменение конструкции с уменьшением количества витков или применение конструкции с изменяющимся внутренним сечением каждого последующего витка. Таким образом, применяя аналитические методы, значительно упрощается задача по определению оптимального режима скорости воздуха и особенностей конструкции классификатора-пылеотделителя тонкой сепарации дисперсных частиц в перерабатывающем производстве, благодаря чему можно осуществить отбор глютенной (высокобелковой) муки, повысить экологичность и безопасность производства.

Библиографический список

1. Ojakangas, B., Gaber, S. (1984). *Great Whole Grain Breads*. University of Minnesota Press. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/10.5749/j.cttttn79>.
2. Терехова О.Н., Глебов А.А. Пути повышения эффективности систем обеспыливания воздуха на зерноперерабатывающих предприятиях // Вестник Алтайской науки. – 2015. – № 1 (23). – С. 485-488.
3. Алешковская В.В., Краюшкин Б.А. Вентиляционные и аспирационные установки. – М.: Агропромиздат, 1986. – 150 с.
4. Терехова О.Н. Пневмоинерционное сепарирование дисперсных материалов в процессах переработки зерна: монография / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – 200 с.
5. Терехова О.Н. Спиральный классификатор-пылеотделитель мелкодисперсных частиц // Вестник Алтайской науки. – 2015. – № 1 (23). – С. 482-485.
6. Терехова О.Н. Интенсификация центробежной сепарации мелкодисперсных частиц // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – № 6. – С. 10-14.

ка в сельском хозяйстве. – 2007. – № 6. – С. 10-14.

7. Терехова О.Н. Пневмоцентробежное сепарирование дисперсных материалов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – № 11 (49). – С. 49-54.

8. Пат. 2461410 Российская Федерация, МКП В01D45/16, В07В7/08. Способ отделения мелкодисперсных частиц от газовой среды / В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова. – № 2011122175/05; заявл. 31.05.2011; опубл. 20.09.2012 г.

References

1. Ojakangas, B., Gaber, S. (1984). *Great Whole Grain Breads*. University of Minnesota Press. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/10.5749/j.cttttn79>.
2. Terekhova O.N., Glebov A.A. Puti povysheniya effektivnosti sistem obespylivaniya vozdukha na zernopererabatyvayushchikh predpriyatiyakh // Vestnik Altaiskoi nauki. – 2015. – No. 1 (23). – S. 485-488.
3. Aleshkovskaya, V.V. Ventilyatsionnye i aspiratsionnye ustanovki / V.V. Aleshkovskaya, B.A. Krayushkin. – M.: Agropromizdat, 1986. – 150 s.
4. Terekhova O.N. Pnevmo inertsiionnoe separirovaniye dispersnykh materialov v protsessakh pererabotki zerna: monografiya / O.N. Terekhova; Alt. gos. tekhn. un-t im. I.I. Polzunova. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2011. – 200 s.
5. Terekhova O.N. Spiralnyy klassifikator-pyleotdelitel melkodispersnykh chastits // Vestnik Altaiskoi nauki. – 2015. – No. 1 (23). – S. 482-485.
6. Terekhova, O.N. Intensifikatsiya tsentrobezhnoi separatsii melkodispersnykh chastits // Tekhnika v selskom khozyaistve. – 2007. – No. 6. – S. 10-14.
7. Terekhova, O.N. Pnevmo tsentrobezhnoye separirovaniye dispersnykh materialov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2008. – No. 11 (49). – S. 49-54.
8. Patent 2461410 Rossiiskaya Federatsiya, МКП В01D45/16, В07В7/08. Sposob otdeleniya melkodispersnykh chastits ot gazovoi sredy / V.L. Zlochevskii, O.N. Terekhova. – No. 2011122175/05; zayavl. 31.05.2011; opubl. 20.09.2012 g.

