

УДК 621.396.41

DOI 10.22213/2413-1172-2018-2-204-210

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ В ЦИКЛОНЕ-СЕПАРАТОРЕ

В. К. Николаева, магистрант, Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова, Барнаул, Россия

А. П. Борисов, кандидат технических наук, доцент, Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова, Барнаул, Россия

Рассмотрен актуальный вопрос автоматизации и исследования векторного поля скоростей в циклоне-сепараторе с винтовой вставкой. В отличие от циклонов, используемых сейчас на зерноперерабатывающих предприятиях, имеющих эффективность 80 %, циклон-сепаратор с винтовой вставкой позволяет увеличить эффективность очистки до 99,5-99,9 %, что позволяет более эффективно использовать его во взрывоопасном мукомольном производстве. Для выявления эффективных режимов работы и параметров циклона-сепаратора было проведено моделирование векторного поля скоростей в SolidWorks, исследованы тангенциальная, осевая и радиальная скорости. Также был разработан программно-аппаратный комплекс, позволяющий получать данные о скорости внутри циклона-сепаратора. Основой разработанного программно-аппаратного комплекса является Raspberry Pi, позволяющий с высокой скоростью обрабатывать полученные данные. Также в статье описаны принципы работы разработанного комплекса.

Результаты эксперимента показали, что на мучной пыли эффективность рассматриваемого циклона-сепаратора превысила 99,5 %, при этом расход воздуха составил 376 м³/ч, 472 м³/ч и 516 м³/ч, а ΔP – менее 600 Па. Скорость во входном патрубке винтовой вставки составила 18-20 м/с, а на выходе из винтовой вставки скорость воздушного потока составляет 50-70 м/с.

Ключевые слова: циклон-сепаратор, Raspberry Pi, датчики скорости, векторное поле скоростей, движение частиц.

Введение

Современное мукомольное производство не может обойтись без автоматизации технологических процессов. Системы автоматического управления повышают производительность труда, безопасность производства, увеличивают выход продукции, снижают брак, экономят ресурсы. Используя современные средства автоматизации, можно на 10-15 лет продлить срок службы технологического оборудования. Но главное – без современных автоматических систем управления невозможно гарантировать качество выпускаемой продукции, а качество – это приоритетный критерий конкурентоспособности товара на рынке [1].

Инерционно-гравитационные пылеотделители (циклоны) применяются для сухой очистки больших объемов воздуха, конструктивные элементы которых обеспечивают вращательное или поступательное движение воздушного потока. По сравнению с другими пылеотделителями циклоны обладают следующими преимуществами: простота конструкции, надежность и экономичность; удовлетворительная работоспособность, долговечность и ремонтпригод-

ность; большая пропускная способность при сравнительно невысоких аэродинамических сопротивлениях [2].

Следует отметить, что реальная эффективность очистки воздуха в циклонах в производственных условиях гораздо ниже (порядка 80 %), что обусловлено различными причинами. Одной из таких причин, например, может являться невыполнение условия по соответствию входной скорости оптимальному значению [3, 4].

Разработка циклона-сепаратора на основе аэровинтовой вставки, расположенной на выхлопной трубе циклона в конфузоре с перфорированной поверхностью, позволило создать принципиально новый способ [5], не имеющий аналогов. В лабораторных условиях в настоящее время установка имеет эффективность 95-99,9 %, что выше зарубежных аналогов.

Целью исследования является разработка программно-аппаратного комплекса для проведения исследования векторного поля скоростей в циклоне-сепараторе.

Задачи исследования:

– создать и провести исследование на математической модели в Solid Works;

– разработать программно-аппаратный комплекс для исследования векторного поля скоростей;

– провести исследование на экспериментальной установке циклона-сепаратора с помощью разработанного комплекса;

– сравнить результаты, полученные в ходе исследования.

Принцип работы разрабатываемой системы

Для увеличения эффективности циклона необходим контроль над его техническими параметрами, такими как степень очистки, объем очищаемого воздуха, потери давления.

В большинстве случаев для этих целей применяются аналоговые, а также портативные цифровые приборы.

К недостаткам аналоговых приборов следует отнести точность, на которую влияют износ подвижных частей и человеческий фактор. Портативные цифровые приборы данных недостатков лишены, но высокая цена, отсутствие возможности одновременного контроля совокупности технических параметров, в некоторых случаях – длительность измерений делают данные приборы неприемлемыми для непрерывного мониторинга параметров [6].

Функциональная схема экспериментального пылеотделителя представлена на рис. 1 [7].

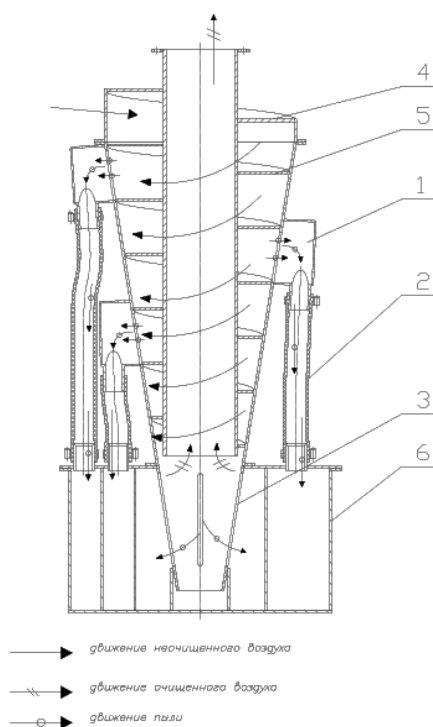


Рис. 1. Функциональная схема экспериментального циклона-сепаратора: 1 – короб; 2 – гибкий шланг; 3 – приставка; 4 – «улитка»; 5 – винтовая вставка; 6 – контейнер

Аэросмесь по материалопроводу попадает во входную «улитку» 4 экспериментального пылеотделителя. Входная «улитка» служит для сообщения продукту вращательного осесимметричного движения и создания тем самым условий для сепарации продукта из потока. Выходя из завихрителя, поток поступает в коническую часть экспериментального пылеотделителя и приобретает дополнительное вращательное движение за счет винтовой вставки 5.

Крупные частицы продукта устремляются к стенкам экспериментального пылеотделителя за счет воздействия центробежной силы, возникающей во вращающемся потоке, в результате чего их основная масса попадает в щель для улавливания крупной пыли и осажается в коробах, расположенных на разной высоте. Оставшаяся часть пыли вместе с воздухом перемещается в осевом направлении в нижнюю часть пылеотделителя, где под действием сил инерции пыль попадает в приставку-конус 3 для доочистки воздуха, а очищенный воздух по наименьшему сопротивлению выходит через выхлопную трубу.

Меняя величину зазора между улиткой, к которой закреплена винтовая вставка, и наружным конусом, можно изменить сопротивление пылеотделителя. В допустимых пределах при поднимании «улитки» эффективность пылеочистки значительно не изменяется.

Для улучшения герметизации применяются уплотнительные резинки, герметик на всех сопрягаемых частях пылеотделителя [8].

Результаты моделирования векторного поля скоростей

Для исследования векторного поля скоростей в циклоне-сепараторе была разработана модель в SolidWorks [9] (рис. 2). Видно, что частицы из-за большой радиальной скорости отжимает к стенке конуса.

Далее была разработана модель для исследования тангенциальной и осевой скоростей. На рис. 3 представлена модель изменения тангенциальной скорости, а на рис. 4 – модель изменения осевой скорости в циклоне сепараторе.

На рис. 3 видно, что тангенциальная скорость изменяется только в горизонтальной плоскости; в вертикальной плоскости тангенциальная скорость изменяется в низком диапазоне.

На рис. 4 видно, что принудительный вихрь искривлен и несимметричен. Это происходит вследствие того, что движение вихря задано винтовой вставкой, и воздух движется направленно от выхода с винтовой вставки, сохраняя заданную траекторию движения.

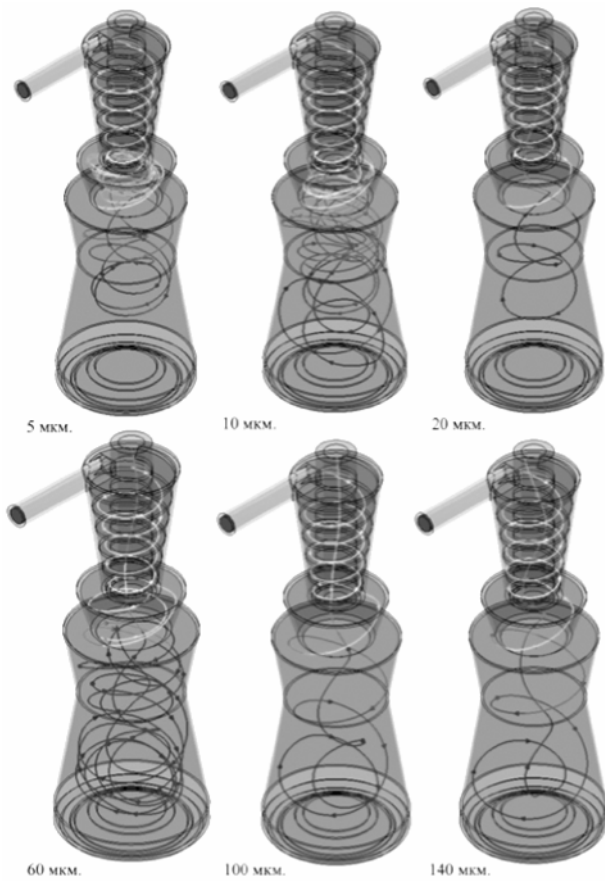


Рис. 2. Зависимость движения частиц тонкодисперсного материала в установке

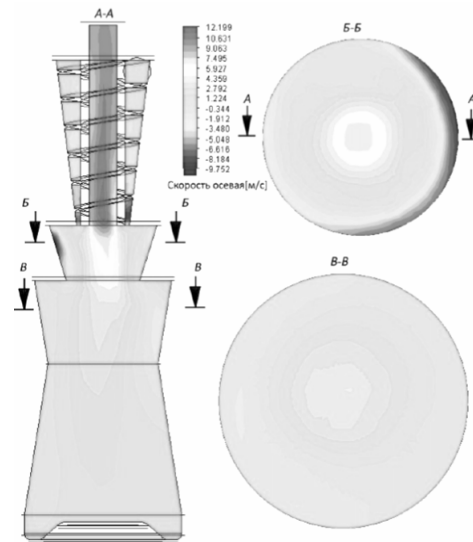


Рис. 4. Изменение осевой скорости

На рис. 5 представлено изменение радиальной скорости. Видно, что распределение скорости также несимметрично и искривлено. Это характеризует то, что при движении воздуха по винтовой вставке скорость увеличивается, и поток концентрируется на наружной стенке конуса. Наблюдается совпадения с полем динамического давления, что соответствует тому, что данный тип скорости является преобладающим в данной установке.

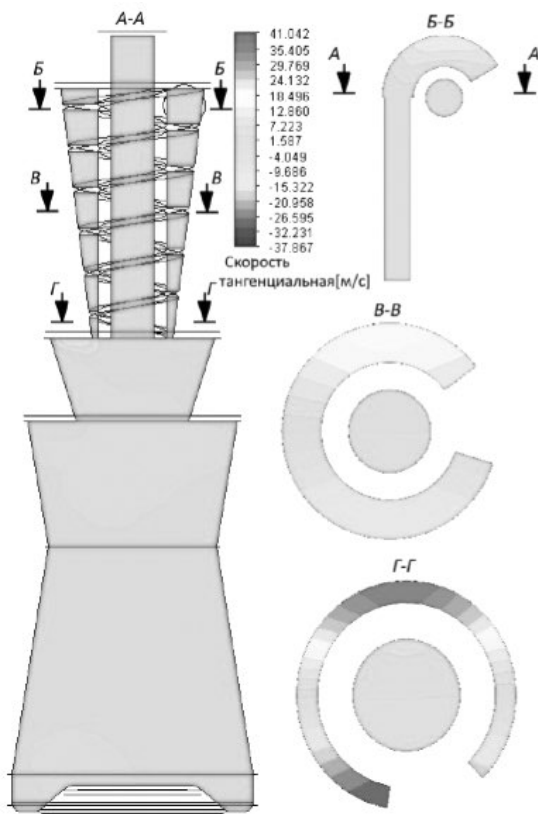


Рис. 3. Изменение тангенциальной скорости

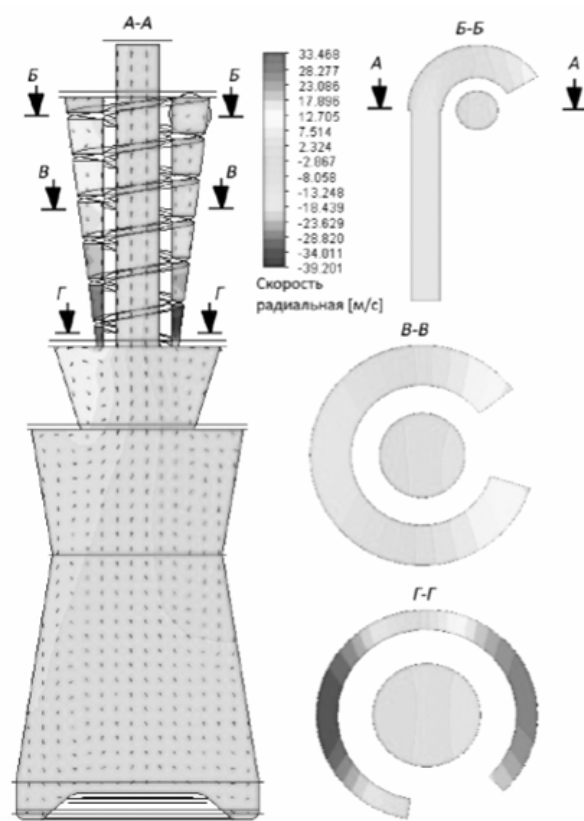


Рис. 5. Изменение радиальной скорости

Принципы работы программно-аппаратного комплекса

Программно-аппаратный комплекс (ПАК) состоит из циклона-сепаратора, микрокомпьютера Raspberry Pi и клиентского приложения (рис. 6).

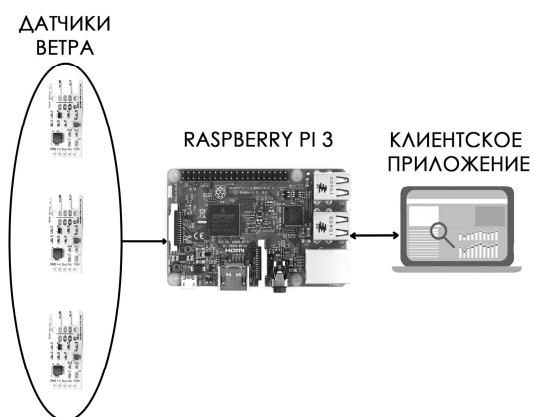


Рис. 6. Схема ПАК

Полная модель информационных потоков системы измерения векторного поля скоростей представлена на рис. 7.

ПАК работает следующим образом [10]:

– после запуска приложения пользователем при условии, что вся система исправно работает, произойдет запуск серверного приложения и клиентской части, которая будет доступна в браузере по адресу localhost:3000;

– далее пользователь выбирает действие, которое хочет совершить, – запустить систему, остановить, сохранить данные в текстовый файл для дальнейшей обработки или очистить все данные. В первый момент запуска имеет смысл выбрать запуск, что пользователь, допустим, и выбрал в данный момент;

– команда приходит на сервер, сервер начинает собирать данные с пяти датчиков ветра и хранить их у себя для дальнейшего сохранения и отсылать на клиентское приложение, для графического представления;

– клиентское приложение при получении данных, сначала их обрабатывает, а затем добавляет новую строку в таблицу и новую данные на графики;

– в данном режиме приложение будет работать, пока пользователь не остановит систему нажатием кнопки стоп. Когда он это сделает, на сервер будет отослан запрос об остановке. Все данные при этом сохраняются, останавливается лишь получение новых данных;

– затем у пользователя есть выбор – либо затереть данные, либо сохранить их. Если данные не затереть, а запустить еще один эксперимент, то новые данные добавятся к старым.

Интерфейс программы представлен на рис. 8.

На рис. 9 представлены графики зависимости скорости, получаемой с датчиков ветра от времени.

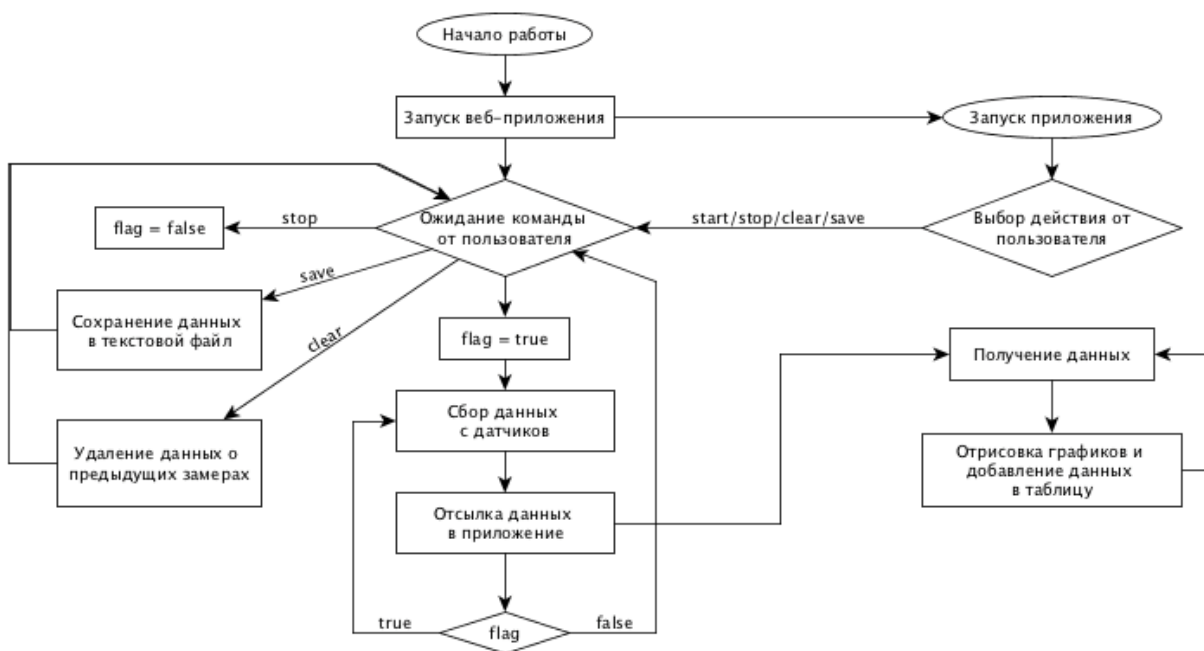


Рис. 7. Информационные потоки

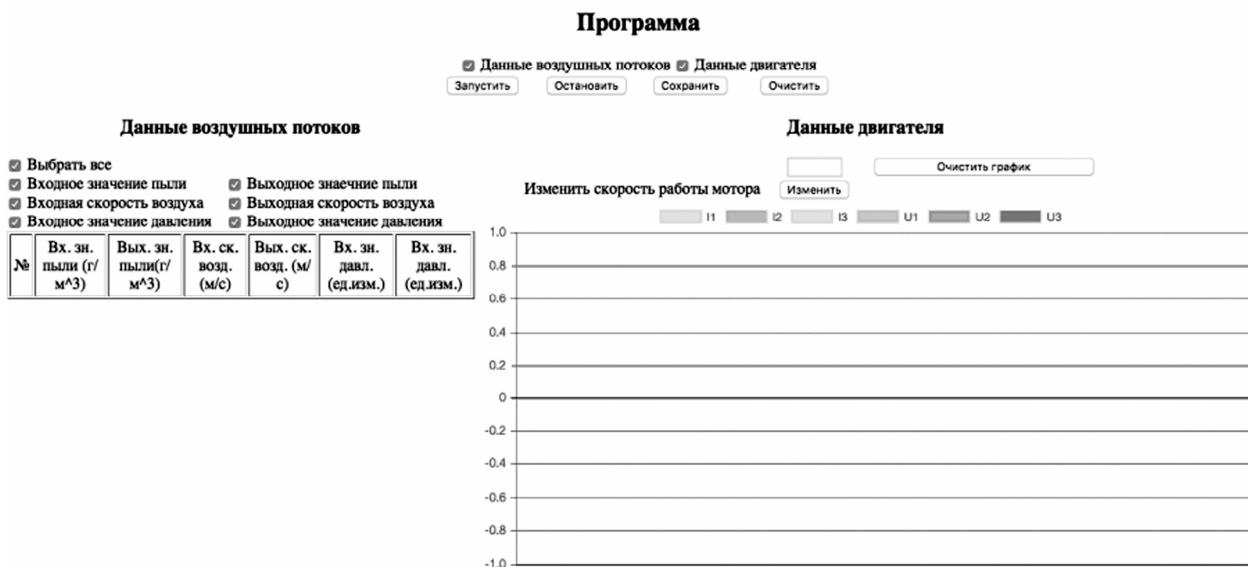


Рис. 8. Интерфейс программы

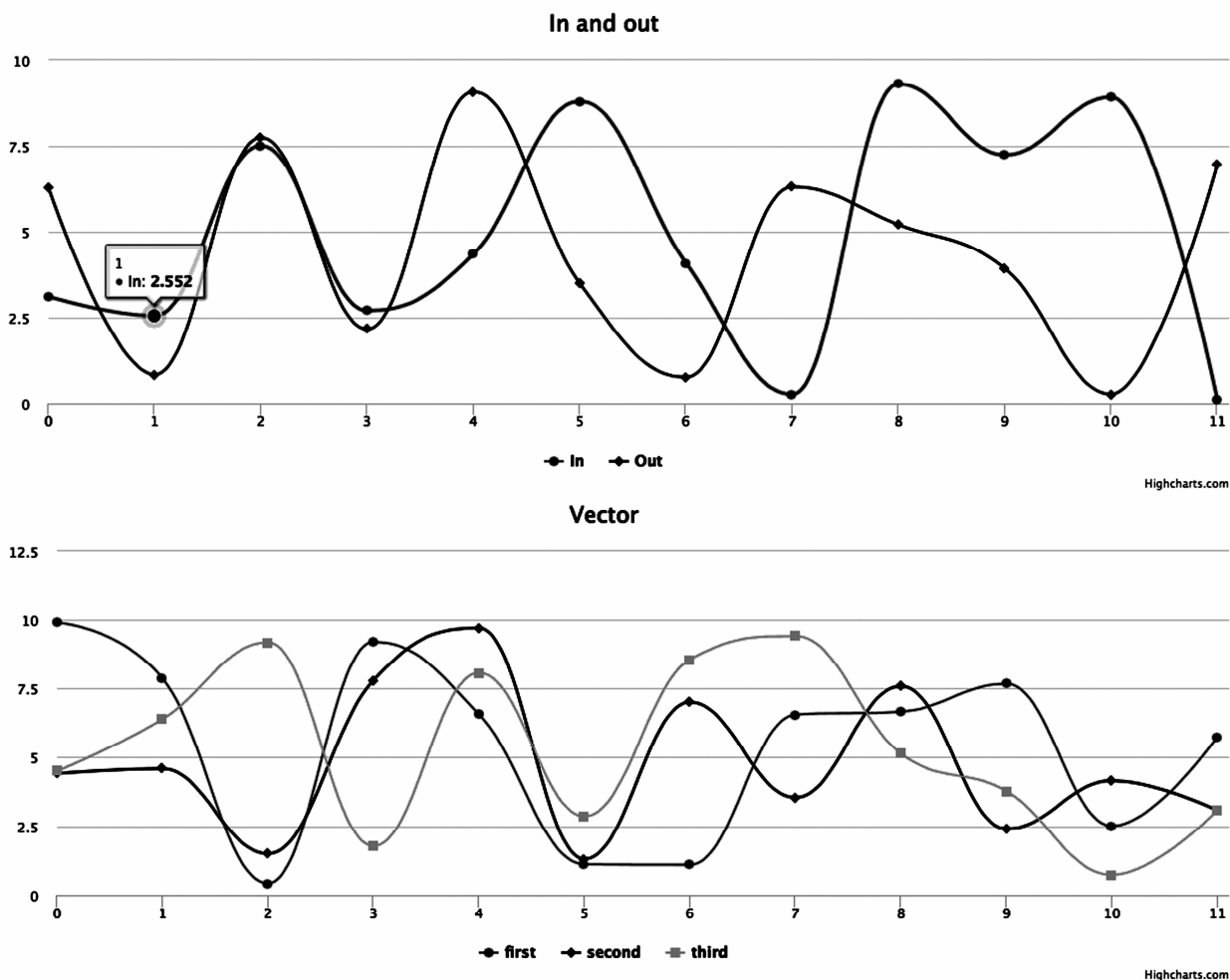


Рис. 9. Графики векторного поля скоростей

Результаты проведенных исследований

Проведенные лабораторные испытания с использованием ПАК для циклона-сепаратора по-

казали весьма удовлетворительные результаты как в плане эффективности, так и по аэродинамическому сопротивлению циклона. На мучной

пыли эффективность рассматриваемого циклона-сепаратора превысила 99,5 %, при этом расход воздуха составил 376 м³/ч, 472 м³/ч и 516 м³/ч, а ΔP – менее 600 Па. Скорость во входном патрубке винтовой вставки составила 18-20 м/с, а на выходе из винтовой вставки скорость воздушно-го потока составляет 50-70 м/с.

Вывод

При сравнении модели в SolidWorks и данных, полученных с ПАК, можно сделать вывод, что расхождение в полученных результатах составляет не более 1 %. Используя современные средства автоматизации, можно на 10-15 лет продлить срок службы технологического оборудования. Но главное – без современных автоматических систем управления невозможно гарантировать качество выпускаемой продукции.

Библиографические ссылки

1. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки. М.: Мир, 1987. 588 с.
2. Страус В. Промышленная очистка газов: пер с англ. М.: Химия, 1981. 616 с.
3. Saputro H., Firdani T., Muslim R., Estriyanto Y., Wijayanto D. S., Lasmini S. and Khaniffudin. The CFD Simulation of Cyclone Separator without and with the Counter-cone in the Gasification Process // 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 288 012142. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012142>
4. Sastry S. Performance Studies of Cyclone Separator: Experiment and Design Considerations Paperback use pre formatted date that complies with legal requirement from media matrix by SusarlaVenkata Ananta Rama Sastry. LAMBERT, 2013. 472 с.: ил.
5. Пат. 2442662 С1 Российская Федерация, МПК В04С 5/103. Аэровинтовой циклон-сепаратор / В. Л. Злочевский; заявитель и патентообладатель В. Л. Злочевский, ГОУ ВПО «Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова» (АлтГТУ), 2010122775/05. Заявл. 03.06.10; опубл. 20.02.12, Бюл. № 5. 7 с.: ил.
6. Xu W. W., Li Q., Zhao Y. L., Wang J. J. and Jin Y. H. (2016). Numerical study of particle deposition and scaling in dust exhaust of cyclone separator. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 129(1), 012022.
7. Nicolaeva B. K., Zlochevskiy V. L., Borisov A. P. Development of a software and hardware system for monitoring the air cleaning process using a cyclone-separator. Journal of Physics: Conference Series, vol. 881, conference 1 <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/881/1/012023/pdf>
8. Злочевский В. Л., Мухопад К. А. Анализ формирования аэропотока в циклоне // Южно-Сибирский научный вестник. 2015. № 4(12). С. 5–13.
9. Численные исследования закрученного турбулентного течения в сепарационной зоне воздушно-центробежного классификатора / А. В. Шваб, П. Н. Зятиков, Ш. Р. Садретдинов, А. Г. Чепель // Прикладная механика и техническая физика. 2010. Т. 51, № 2(300). С. 174–181.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017662653. Программа для контроля и управления воздушным потоком в циклоне-сепараторе / В. К. Николаева, А. П. Борисов. Заявл. 26.09.17, опубл. 13.11.17.

References

1. Gupta A. K., Lilley D. G. and Syred N. (1984). Swirling Threads. Moscow: Peace (in Russ.).
2. Strauss W. (1975). Industrial cleaning of gases. Moscow: Chemistry (in Russ.).
3. Saputro H., Firdani T., Muslim R., Estriyanto Y., Wijayanto D. S., Lasmini S. and Khaniffudin (2018). The CFD Simulation of Cyclone Separator without and with the Counter-cone in the Gasification Process. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 288 012142. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012142>.
4. Sastry S. (2013). Performance Studies of Cyclone Separator: Experiment and Design Considerations Paperback use pre formatted date that complies with legal requirement from media matrix by SusarlaVenkata Ananta Rama Sastry. LAMBERT, 472 p.
5. Zlochevskiy V. L. (2012). The method of pneumatic fractionation of particulate materials and purification of process air. Patent RF № 2511120, 2012 (in Russ.).
6. Xu W. W., Li Q., Zhao Y. L., Wang J. J. and Jin Y. H. (2016). Numerical study of particle deposition and scaling in dust exhaust of cyclone separator. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 129(1), 012022.
7. Nicolaeva B. K., Zlochevskiy V. L., Borisov A. P. Development of a software and hardware system for monitoring the air cleaning process using a cyclone-separator. Journal of Physics: Conference Series, vol. 881, conference 1 <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/881/1/012023/pdf>
8. Zlochevskiy V. L., Muhopad K. A. (2015). Analysis of forming aerial flow in the cyclone. Juzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik [South-Siberian Scientific Bulletin], no. 4(12), pp. 5-13 (in Russ.).
9. Schwab A. V., Zyatikov P. N., Sadretdinov Sh. R., Chepel A. G. (2010). Numerical studies of swirling turbulent flow in the separation zone of an air-centrifugal classifier. Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika [Applied Mechanics and Technical Physics], no. 2, pp. 174-181 (in Russ.).
10. Nikolaeva B. K., Borisov A. P. Software for monitoring and controlling airflow in a cyclone separator. Certificate of state registration of the computer program № 2017662653.

Development of a Software and Hardware Complex for Investigation of the Velocity Vector Field in a Cyclone Separator

B. K. Nicolaeva, Master's Degree Student, Altay State Technical University n. a. I. I. Polzunov, Barnaul, Russia

A. P. Borisov, PhD in Engineering, Associate Professor, Altay State Technical University n. a. I. I. Polzunov, Barnaul, Russia

The current issue of automation and investigation of the vector velocity field in a cyclone-separator with a screw insert is considered in the paper. Unlike cyclones currently used in grain processing plants with an efficiency of 80 %, a cyclone separator with a screw insert allows to increase the cleaning efficiency up to 99.5 - 99.9 %, which makes it more efficient to use it in explosive flour-grinding production. To identify effective operating conditions and cyclone-separator parameters, a vector velocity field simulation was performed in SolidWorks, tangential, axial and radial velocities were investigated. Also, a software and hardware complex was developed that makes it possible to obtain data on the speed inside a cyclone separator. The basis of the developed software and hardware complex is Raspberry Pi, which allows to process the received data with high speed. Also, the paper describes the principles of the developed complex.

The results of the experiment showed that on flour dusts the efficiency of the cyclone separator in question was more than 99.5 %, with an air flow rate of 376 m³/h, 472 m³/h and 516 m³/h, and ΔP less than 600 Pa. The velocity in the inlet branch of the screw insert was 18-20 m/s, and at the exit of the screw insert the airflow velocity is 50-70 m/s.

Keywords: cyclone-separator, Raspberry Pi, velocity sensors, vector velocity field, particle motion.

Получено 27.04.2018