

УДК 631.031

**Токушев М.Х., Нукешев С.О., Славов В.**

*Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана,  
Химико-технологический и металлургический университет, г. София, Болгария*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ УДОБРИТЕЛЯ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ДОЗИРОВАНИЕМ

### **Аннотация**

В статье приведены результаты исследования движения воздушного потока в распределительном устройстве. Рассмотрен способ моделирования траектории движения воздушного потока внутри материалопровода, с помощью которой транспортируется посевной материал в пневматических сеялках. Получены результаты аэродинамического расчета модели распределительного устройства в программном комплексе SolidWorks.

**Ключевые слова:** распределитель, воздух, посевной комплекс, распределительное устройство, моделирование.

### **Введение**

Во время проведения посевных работ во многих хозяйствах применяются высокопроизводительные широкозахватные машины с пневматическими системами высева централизованного дозирования посевного материала зарубежных и российских фирм, такие, как "Morris" , "Flexi-Coil" (Канада), "Джон Дир" (США) и др. В этих агрегатах подвод посевного материала осуществляется по пневмотранспортирующей системе, а её деление по сошникам проходит через распределителей вертикального и горизонтального типов. Наибольшее распространение на практике получили вертикальные распределители посевного материала, используемые в системе высева типа Accord в различном конструктивном исполнении. Основным существенным недостатком таких распределительных устройств являются значительное увеличение неравномерности распределения в зависимости от наклона агрегата в вертикальной плоскости, что проявляется при работе на склонах. Так, наклон распределителя до  $15^\circ$  в любую сторону приводит к увеличению коэффициента вариации до 12...18 % [1] . Для устранения этого недостатка в распределителях помещают конструктивные элементы (направители, центраторы, турбулизаторы, отражатели), турбулизирующие и центрирующие типов [2], которые повышают турбулентность воздушного потока для равномерного распределения посевного материала по всему сечению материалопровода.

Проблему повышения равномерности распределения при поперечном наклоне агрегата, при работе на склонах, решают сейчас путем применения распределителей горизонтального типа. Такие распределители установлены на российских агрегатах С-6Т, АППА, почвообрабатывающих посевных агрегатах фирмы "Morris" (Канада), "Сириус" (Украина). Однако применение делительных устройств горизонтального типа сопряжено с рядом трудностей, так как разделить поток является более сложной технической задачей, чем вертикальный.

Проведенные исследования [3] показали, что качественное деление возможно только при наличии горизонтального участка, равного 8...10 диаметра материалопровода, что составляет 500 ...600 мм. На реальных сеялках это не всегда является возможным. Таким образом, распространение горизонтальных распределителей на практике является довольно ограниченным.

### Материалы и методы

Исходя из выше сказанного и принимая во внимание сложность процесса транспортирования материала по горизонтальной линии материалопровода, в качестве основного метода исследования целесообразно использовать компьютерное моделирование.

С помощью программного продукта "SolidWorks" и ее модуля "Flow Simulation", позволяющего имитирование течения жидкости и газов с использованием физических моделей и проведение аэродинамического расчета, осуществлено моделирование движение потока воздуха внутри материалопровода [4].

В начале моделирования нами построены твердотельные модели горизонтального распределителя, установленного в посевном комплексе "Mogris" (рис. 1).

Для аэродинамического расчета выбраны параметры физико-математической модели, наиболее подходящие для условий работы посевного комплекса: начальные (опорные) величины (температура 293,2 К, давление окружающей среды 101325 Па); текущая среда - воздух; скорость воздушного потока на входе в трубопровод принят 25 м/с; тип вентилятора - осевой (радиальный); тип течения - ламинарное и турбулентное; стенка (стенка трубопровода и поверхность турбулизатора).

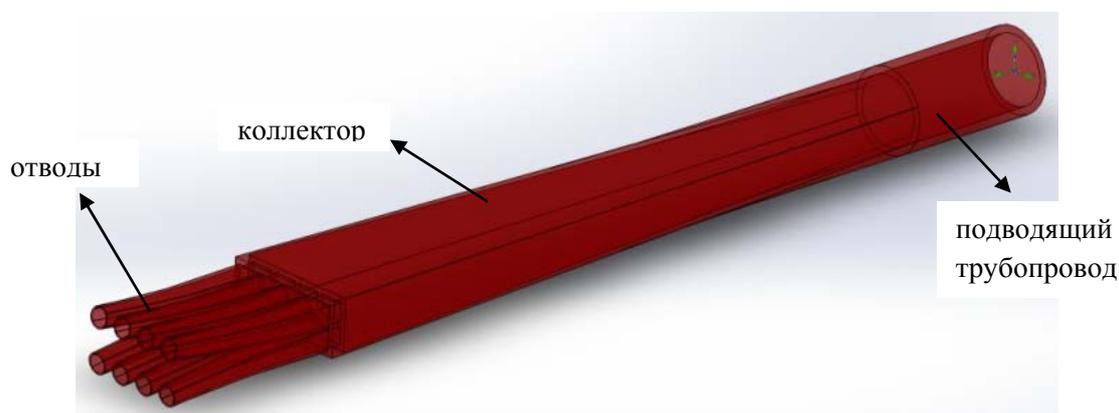


Рисунок 1 - Модель горизонтального распределителя фирмы "Mogris"

Затем смоделирован процесс движения воздушного потока в подводящем трубопроводе распределителя, с помощью которого получили трехмерные траектории движения воздуха в расчетной модели (линии тока и поле скоростей, давления) представленные на рисунках 2 и 3.

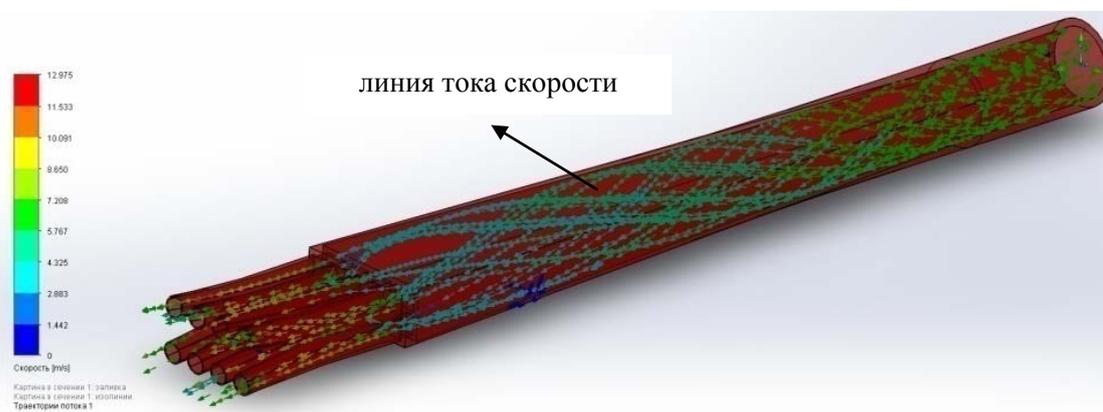


Рисунок 2 - Линии тока и поле скоростей воздуха в распределителе фирмы "Mogris"

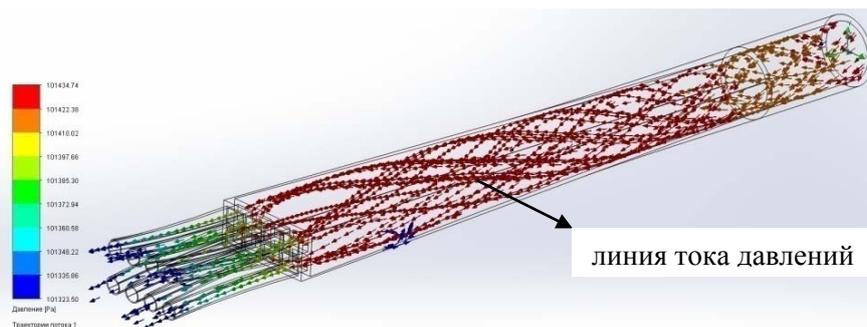


Рисунок 3 - Линии тока и поле давления воздуха в распределителе фирмы " Morris "

По расположению линии траектории движения воздуха можно сказать, что характер положения линии скачкообразное, волнистые причем, размах линии скачков и волн усиливается по мере приближения воздушной массы к отводам. Такой характер движения потока приводит к случайному, не закономерному распределению потока воздуха в отводах, оказывающих отрицательное влияние на равномерность распределения частиц посевного материала. Анимация движения воздушного потока в распределителе дает нам визуальную оценку картину распределения потока воздуха внутри подводящего трубопровода и в коллекторе, которая представлена в электронном ресурсе <https://ru.files.fm/u/e986qhhn>.

Исходя из выше сказанного и представленного, при установке распределительных устройств на горизонтальных участках материалопровода возникает необходимость дополнительного воздействия на посевной материал, с целью перераспределения сконцентрированных частиц равномерно по всему сечению трубопровода до их поступления в делительную головку.

Одним из способов, повышающих равномерность распределения, является задание потоку аэросмеси определенного вида упорядоченного движения. В частности это возможно осуществить, подвергнув двухкомпонентный поток закручиванию, т.е. сообщением дисперсной фазе потока винтового движения. Для этой цели в материалопровод, непосредственно перед делительной головкой, неподвижно устанавливается дополнительный конструктивный элемент – распределитель, выполненный в виде винтовой спирали, навитой на стержень. Винт-распределитель занимает все поперечное сечение материалопровода.

Твердотельный модель предлагаемого распределительного устройства также представлен на рисунке 4.

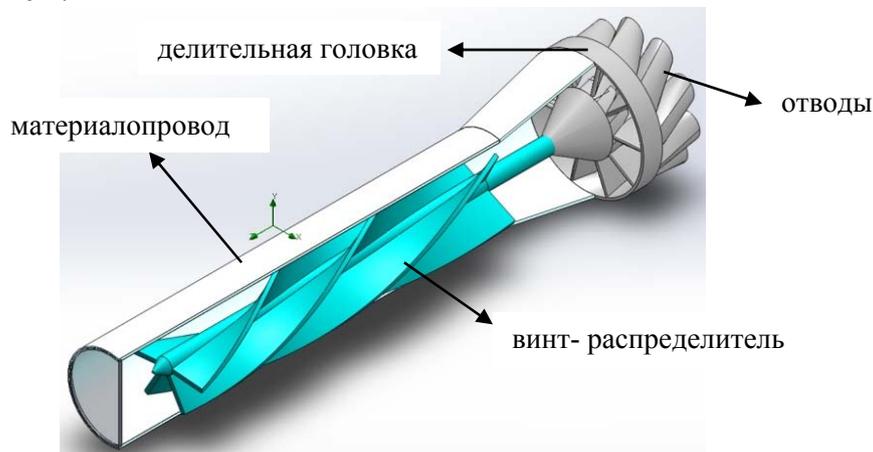


Рисунок 4- Модель распределительного устройства

По тем же выбранным параметрам, отмеченным выше, проведен аэродинамический расчет физико-математической модели распределительного устройства.

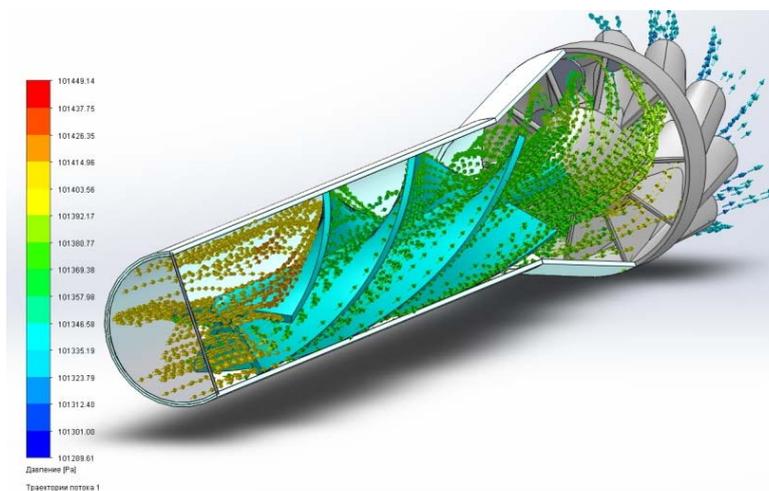


Рисунок 5 - Поле и линии распределения давления в распределительном устройстве

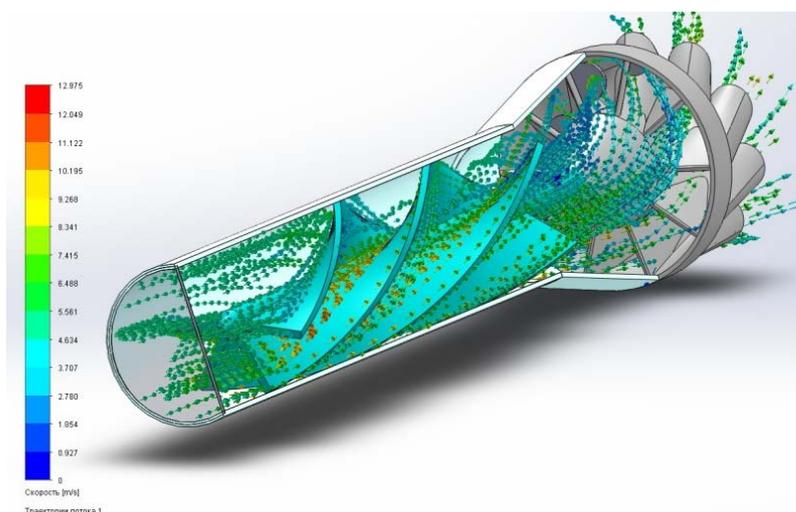


Рисунок 6 - Поле и линии распределения скоростей в распределительном устройстве

### Результаты исследований и их обсуждение

В итоге проведенного анализа были получены результаты распределения давления (рис. 5) и скоростей воздуха (рис. 6) внутри горизонтального материалопровода на межвитковом пространстве распределительного устройства. Как видно, поступивший на распределитель воздушный поток, закручивается по витку винта-распределителя и вследствие обретенного вращательного движения, под воздействием центробежных сил инерции прижимается к внутренней стенке материалопровода, распределяется по ней равным слоем, обретая при этом в поперечном сечении форму винтового цилиндра. Сформированный таким образом поток поступает к отводам делительной головки. Имитация движения потока воздуха в распределительном устройстве представлен в электронном ресурсе <https://ru.files.fm/u/nm74r5jc>.

Кроме того, построены изолинии и графики скорости воздушного потока (рис. 7), с использованием варьирования ими в различных направлениях.

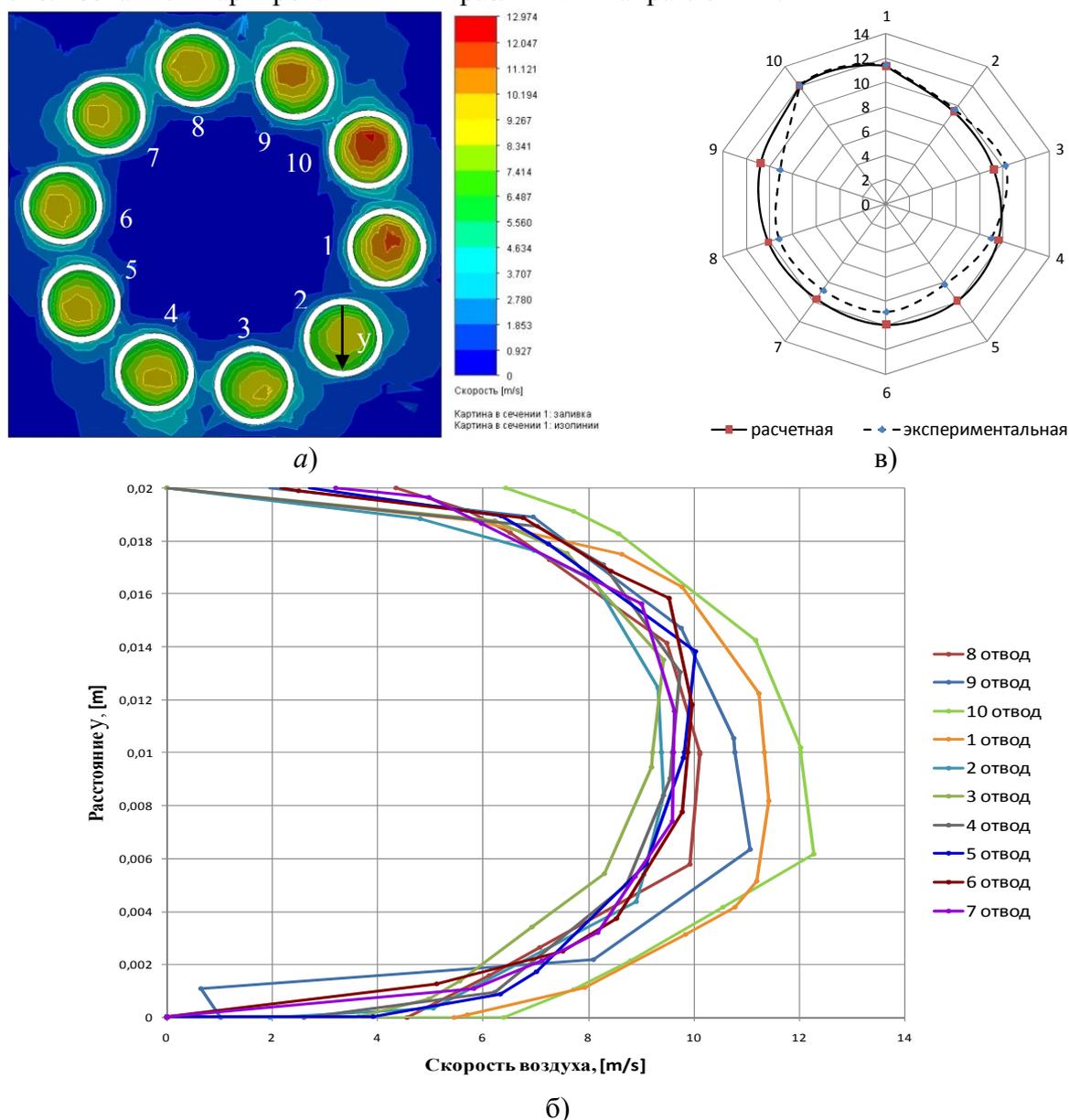


Рисунок 7 - Изолинии (а) и графики (б, в) распределения скорости потока воздуха по отводам

На рисунке 7а можно видеть изолинии распределения скоростей воздуха внутри отводов делительной головки в плоскости, параллельной профильной поверхности распределительного устройства на выходе отводов. Характер распределения воздуха в фронтальной плоскости сечения каждого отвода видно на графике 7б, где по вертикали отложено расстояние  $y$  от верха отверстия отвода, а по горизонтали - величина скорости по вертикальному диаметру отвода. Профиль скоростей воздуха по форме похож на параболу, а в отводах 9, 10, 1 - с вытянутой нижней ветвью, где максимальная скорость воздуха находится на расстоянии 3,8 мм ниже оси отверстия отвода. Для отводов от 2 до 8 эпюра распределения скоростей более равномерна и максимум скорости находится в середине отводов. Анализ изображений фоновых цветов изолинии (рис.7а) показывает удовлетворительную равномерность изображений линии и характер эпюры скоростей. Это объясняется тем, что воздушный поток, набегая на плоскость витков, приобретает вращательное движение и попадает через делительную головку к отводам без нарушения

непрерывности и плавности движения потока, т.е. свободно выходит из делительной головки (рис. 5 и 6).

С помощью разработанной модели можно рассчитать и усовершенствовать конструкцию горизонтального распределителя, путем оптимизации ее геометрии с использованием 3D прототипирования. Для проверки работоспособности изготовленного винта-распределителя на 3D -принтере был разработан экспериментальный стенд на кафедре технической механики КАТУ им. С. Сейфуллина. Описание лабораторного стенда рассмотрено нами в работе [5,6].

В экспериментальных исследованиях скорость воздушного потока (несущей среды) в пневмомагистрали определялось по динамическому напору, замеряемому с помощью пневмометрической трубки (Прандтля-Пито), и определена по известной формуле [7]:

$$V_{возд} = 4,04 \sqrt{H_{д(ср)}},$$

где  $H_d$  – динамическое давление, мм.вод.ст.

Скорость вращения крыльчатки вентилятора определялась тахометром ТЧ 10-Р. Точность измерения  $\pm 2\%$ .

Экспериментальная установка позволяла изменять скорость вращения вентилятора в пределах от 0 до 3500 об/мин. Для обеспечения устойчивого режима транспортирования материала потоком воздуха необходимо поддерживать скорость пневмопотока  $V_{возд} > 15$  м/с, на опытной установке – это достигается при оборотах вентилятора  $n_{вент} > 1800$  об/мин. Экспериментальные данные были получены на режимах 2000, 2100, 2200, 2600, 3000 и 3200 об/мин.

Результаты экспериментальных исследований по определению скорости воздушного потока по отводами представлены графически на рисунке 7в.

### **Выводы**

Исходя из полученных значений характеристики потока воздуха (средняя скорость воздуха в зоне оси отводов равна 10,185 м/с) можно сделать вывод о достаточности скорости аэропотока. В процессе анализа зависимостей распределения скорости воздуха между расчетным и экспериментальным было выявлена удовлетворительная сходимость - расхождение результатов составило 7,3-8,1 %.

### **Литература**

1. Астахов, В.С. Совершенствование пневматических высевающих систем сеялок / В.С. Астахов. - Горки, 2007. -148 с.
2. Чеботарев В.П. Анализ вертикальных распределительных устройств пневматических сеялок / В.П. Чеботарев, А.Л. Медведев, Ю.Л. Салапура, Д.В. Зубенко // Механдев, Ю.Л. Салапура, Д.В. Зубенко // Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ "ИМЭСХ"; редкол.: В.В. Адамчук [и др.]. - Глеваха, 2012. - Вип. 96. -с. 67-75.
3. Медведев, А.Л. Исследование распределителей посевного материала / А.Л. Медведев, Ю.Л. Салапура, Н.Н. Дягель // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: матер. междунар. науч.-прак. конф., Минск, 21-22 октября 2009 г.: в 3 т. /РУН "НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства"; редкол.: П.П. Казакевич [и др.]. - Минск, 2009. - Т.1. - с. 114-118.
4. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. Спб.: БХВ - Петербург, 2012, 448 с.

5. Токушев М.Х., Нукешев С.О., Славов В. Разработка экспериментального стенда для исследования распределительного устройства удобрения с центральным дозированием // Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве: Матер. Междунар. науч.-прак. конф., посвященной 80-летию А.П. Тарасенко, д. т. н., заслуженного деятеля науки и техники РФ, профессора кафедры с/х машин Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I, Россия, Воронеж, 10 января 2017 г. – Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – с. 109-113.

6. Нукешев С.О., Есхожин К.Д., Токушев М.Х. Исследования процесса движения частиц минеральных удобрений в горизонтальном трубопроводе распределителя с центральным дозированием // Вестн. ВКГТУ им. Д. Серикбаева. Научн. журн. - 2017.- № 1 - с. 74-79.

7. Зуев Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях, Москва "Колос", 1976 г. 344 с. с ил.

**Токушев М.Х., Нукешев С.О., Славов В.**

#### ОРТАЛЫҚ МӨЛШЕРЛЕГІШТІ ТЫҢАЙТУШЫНЫҢ ТАРАТҚЫШ ҚҰРАЛЫНДАҒЫ АУА АҒЫНЫНЫҢ ҚОЗҒАЛЫС ТРАЕКТОРИЯСЫН МОДЕЛЬДЕУ

##### **Андатпа**

Мақалада таратқыш құралындағы ауа ағыны қозғалысының зерттеулер нәтижесі келтірілген. Пневматикалық сепкіштерде тұқым тасу үшін материал өткізгіш ішінде ауа ағыны қозғалысының траекториясының модельдеу әдісі қаралды. SolidWorks бағдарламалық кешенінде таратқыш құрал моделінің аэродинамикалық есебінің нәтижелері алынды.

**Кілт сөздер:** таратқыш, ауа, себу кешені, таратқыш құрылғы, модельдеу.

**Tokushev M. H., Nukeshev S. O., Slavov V.**

#### SIMULATION OF THE TRAJECTORY OF THE AIR FLOW IN THE DISTRIBUTION DEVICE OF THE CENTRAL DOSING FILTER

##### **Annotation**

The article presents the results of a study of the movement of air flow in a switchgear. The possibility to simulate the trajectory of the movement of air flow inside a material pipeline by means of which the seed material is transported in pneumatic seeders is considered. The results of aerodynamic calculation of the distributor model in the SolidWorks software package are obtained.

**Keywords:** distributor, air, seeding complex, switchgear, simulation.