

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СИСТЕМ ПНЕВМОТРАНСПОРТА НА ПРИМЕРЕ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ КАЛМАНСКОГО КХП

Абрамова О.П. – студент гр. МАПП-91, Тарасов В.П. – зав. кафедрой, к.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Пневмотранспорт с успехом используется во многих отраслях промышленного производства, в сельском хозяйстве, строительстве. С его помощью возможно перемещать различные сыпучие материалы по сложным трассам, состоящим из горизонтальных, вертикальных и наклонных участков. Перемещаемый материал находится в условиях герметичности, что исключает его потери, а обтекание частиц воздухом во многих случаях благоприятно сказывается на качестве транспортируемого материала (снижается его влажность, увеличивается срок хранения, повышается сыпучесть). Пневмотранспорт имеет еще целый ряд других преимуществ перед механическими видами транспорта.

Именно принимая во внимание эти достоинства, пневмотранспорт выбран в качестве основного для транспортирования целого ряда материалов на строящемся крупозаводе на Калманском хлебоприемном предприятии. Здесь предполагается перерабатывать большое количество сельскохозяйственной продукции – зерна, которое необходимо подать из склада в основное производство, а после его обработки (шелушения) появляется большое количество лузги. При этом точки загрузки находятся на достаточно большом расстоянии (десятки и даже сотни метров) от точек выгрузки (пунктов назначения), а предполагаемая трасса транспортирования отличается сложностью (наличием сооружений и оборудования на пути ее прохождения).

Одним из основных недостатков пневмотранспорта является его высокая энергоемкость. В числе причин этого – несовершенные методики расчета и проектирования систем пневмотранспортирования. Используемые эмпирические формулы выведены для ограниченного круга условий, в связи с чем, результаты теоретического расчета могут существенно расходиться с фактическими параметрами работы. Неточности и ошибки при проектировании могут привести к появлению неустойчивости в работе и прекращению транспортирования. В производственных условиях такие явления крайне нежелательны, поскольку зачастую связаны с остановкой технологической линии или всего производства. В то же время, расчет пневмотранспортной установки достаточно сложный и трудоёмкий. Необходимо учитывать характеристики всего оборудования и возможную неустойчивость процесса.

На кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета в течение продолжительного времени проводятся теоретические и экспериментальные исследования систем пневмотранспорта. В результате этого предложена физико-математическая модель [1], позволяющая в большей степени учитывать физические явления, происходящие при работе пневмотранспортного оборудования. На основе этой модели разработана программа [2] для электронно-вычислительной машины, которая позволяет численно и графически отслеживать основные параметры процесса, происходящие при работе установки. Используя эту программу возможно выявить некоторые закономерности работы пневмотранспортного оборудования, а так же определить влияние тех или иных режимных параметров, свойств транспортируемого материала, характеристик оборудования, условий транспортирования на устойчивость процесса, его энергетические показатели. Кроме того, при таком автоматизированном расчете пневмотранспортной установки исключаются ошибки, свойственные ручному способу, а также появляется возможность анализа нескольких вариантов и выбора наиболее рационального. С помощью полученных диаграмм возможно легко отследить нарушение устойчивости, узнать величины скорости материала, избыточного давления в материалопроводе или другого параметра на любом его участке в любой момент времени.

Ниже, в качестве примера, приводится анализ пневмотранспортной установки для транспортирования гречневой лузги. Рассматривается влияние изменения производительности на параметры процесса (концентрацию материала в аэросмеси, скорость воздуха и давление в материалопроводе). Изменение производительности на производстве может быть вызвано различными факторами (например, неравномерностью истечения из бункеров). Мгновенное значение производительности может отличаться от среднего в разы, поэтому представляется весьма важным знать, как это повлияет на работу пневмотранспортной установки.

На рисунках 1,2,3,4 приведены некоторые диаграммы изменения параметров процесса: концентрации материала в аэросмеси, избыточного давления и скорости воздуха.

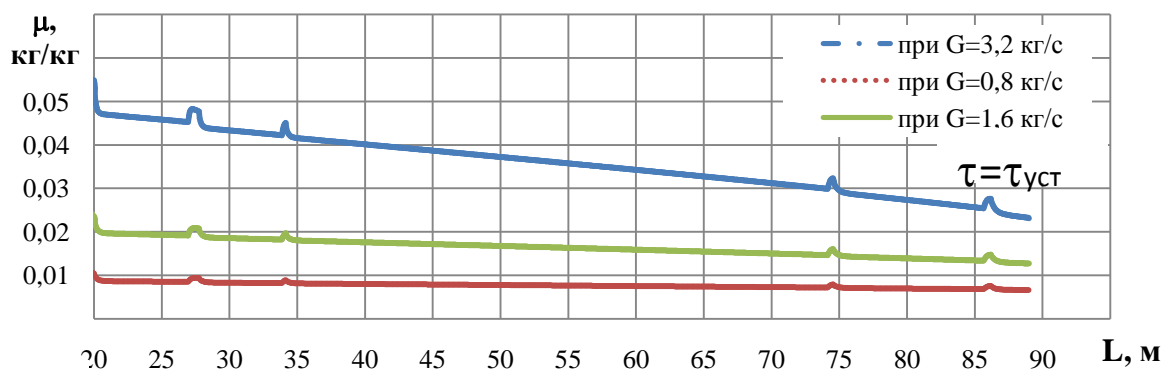


Рисунок 1 - Изменение объемной концентрации материала в аэросмеси по длине материалопровода

Из диаграммы изменения концентрации материала в аэросмеси по длине материалопровода следует, что концентрация материала в аэросмеси уменьшается по длине, а в отводах она увеличивается. Это соответствует физической сущности процесса. Концентрация материала даже при максимальной производительности далеко не достигает максимального значения (концентрации в свободной насыпи). Следовательно, увеличение производительности в 2 раза не приводит к закупорке материалопровода и нарушению процесса пневмотранспортирования.

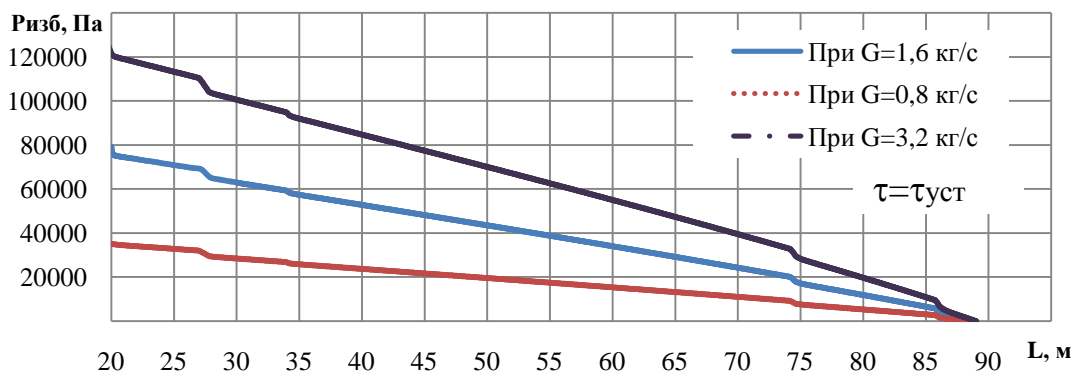


Рисунок 2 - Изменение избыточного давления по длине материалопровода

Анализ диаграмм изменения давления по длине материалопровода (рисунок 2) и изменения давления во времени (рисунок 4) позволяет заключить, что при увеличении производительности до 3,2 кг/с давление в начале материалопровода достигает 120 кПа, тогда как выбранная воздуходувная машина развивает всего 100 кПа. Из этого следует, что необходимо подобрать воздуходувную машину с другим давлением или предложить мероприятия, ограничивающие повышение производительности не более чем до 2,4 кг/с.

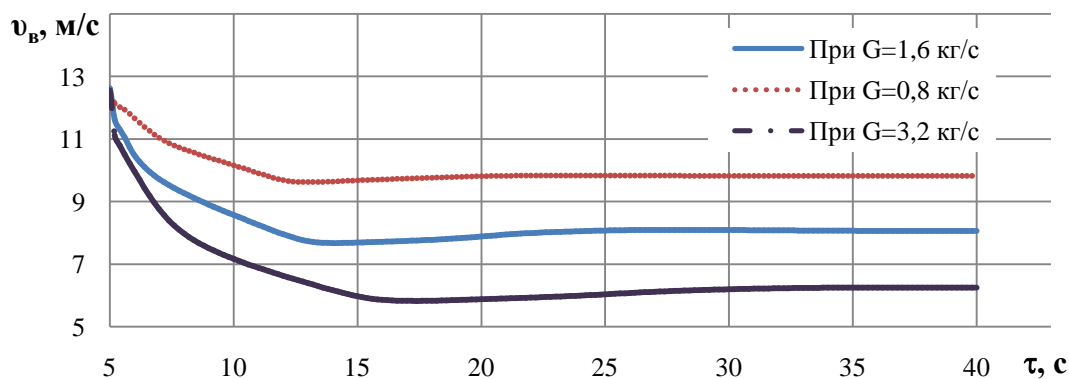


Рисунок 3 – Изменение скорости воздуха в начале материалопровода во времени

Результаты анализа диаграммы изменения скорости воздуха в начале материалопровода во времени свидетельствуют, что наибольшую опасность в смысле нарушения устойчивости работы пневмотранспортной установки представляет режим пуска. Именно в это время скорость воздуха достигает минимальных значений. Поэтому для предотвращения нарушения устойчивости в период пуска следует предпринять все меры, исключающие превышение подачи материала в питатель пневмотранспортной установки.

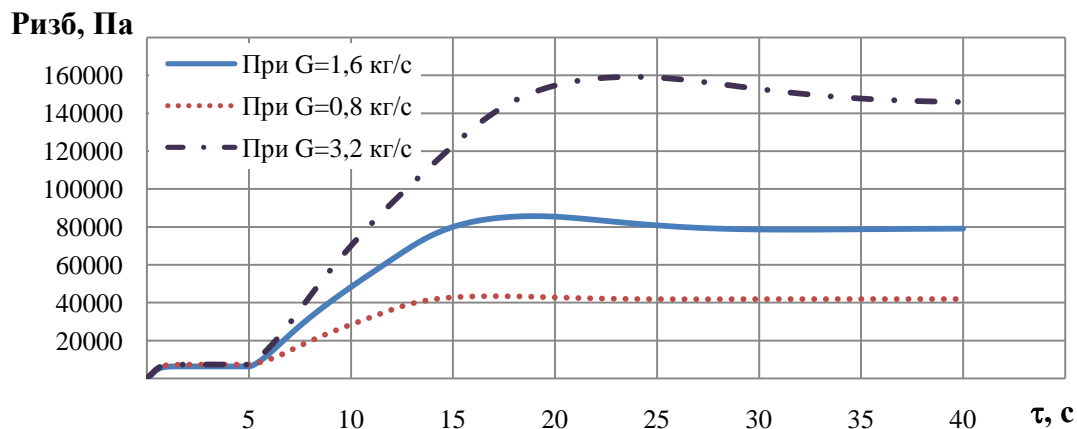


Рисунок 4 – Изменение избыточного давления во времени

Проведенный анализ позволяет сделать некоторые выводы. Предложенная методика автоматизированного расчета позволяет получить дополнительную информацию о параметрах и режимах пневмотранспортирования. Учитывая ее, возможно принимать более рациональные режимы работы пневмотранспортной установки и выбирать соответствующее оборудование. Удобство использования, быстрота и точность расчета значительно упрощают проектирование установок и позволяют избежать нарушения транспортирования при эксплуатации.

Литература:

1. Тарасов, В.П. Элементы теории работы однотрубной пневмотранспортной установки/ В.П. Тарасов// Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2005. - №5-6. – С. 82-85.
2. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2012010372 «Расчет пневмотранспортной установки». Заявка №2012614127. Дата поступления 23 мая 2012 г. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 12 июля 2012.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПНЕВМОТРАНСПОРТА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Пяткова О.Г. – студент гр.9МАПП-81,

Лямкин Е.С. – к.т.н., доцент кафедры МАПП

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Важным звеном современного промышленного производства является внутризаводское и внутрицеховое перемещение огромных объемов сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Механизация и автоматизация процессов транспортирования в большинстве отраслей промышленности является одним из условий обеспечения непрерывности основных процессов производства. Пневмотранспорт является одним из прогрессивных способов механизации и автоматизации перемещения насыпных грузов.

В отличие от механических видов транспортирования сыпучих материалов, пневмотранспорт уменьшает трудоемкость операций, сокращает размер производственных площадей для внутризаводского транспорта, повышает безопасность и гигиеничность производства.

Несмотря на большое количество научно-технических разработок в области пневмотранспорта, существенным недостатком данного вида транспорта является сравнительно большой удельный расход электроэнергии на единицу массы транспортируемого продукта, а так же износ трубопроводов и других частей установок, соприкасающихся с транспортируемым материалом, что значительно снижает эффективное использование пневмотранспорта и сужает область его применения. Одним из узких мест (снижает устойчивость пневмотранспорта) являются отводы. В рамках данной работы предлагается провести апробирование эффективности применения шаровидных отводов применительно к пневмотранспорту высокого давления.

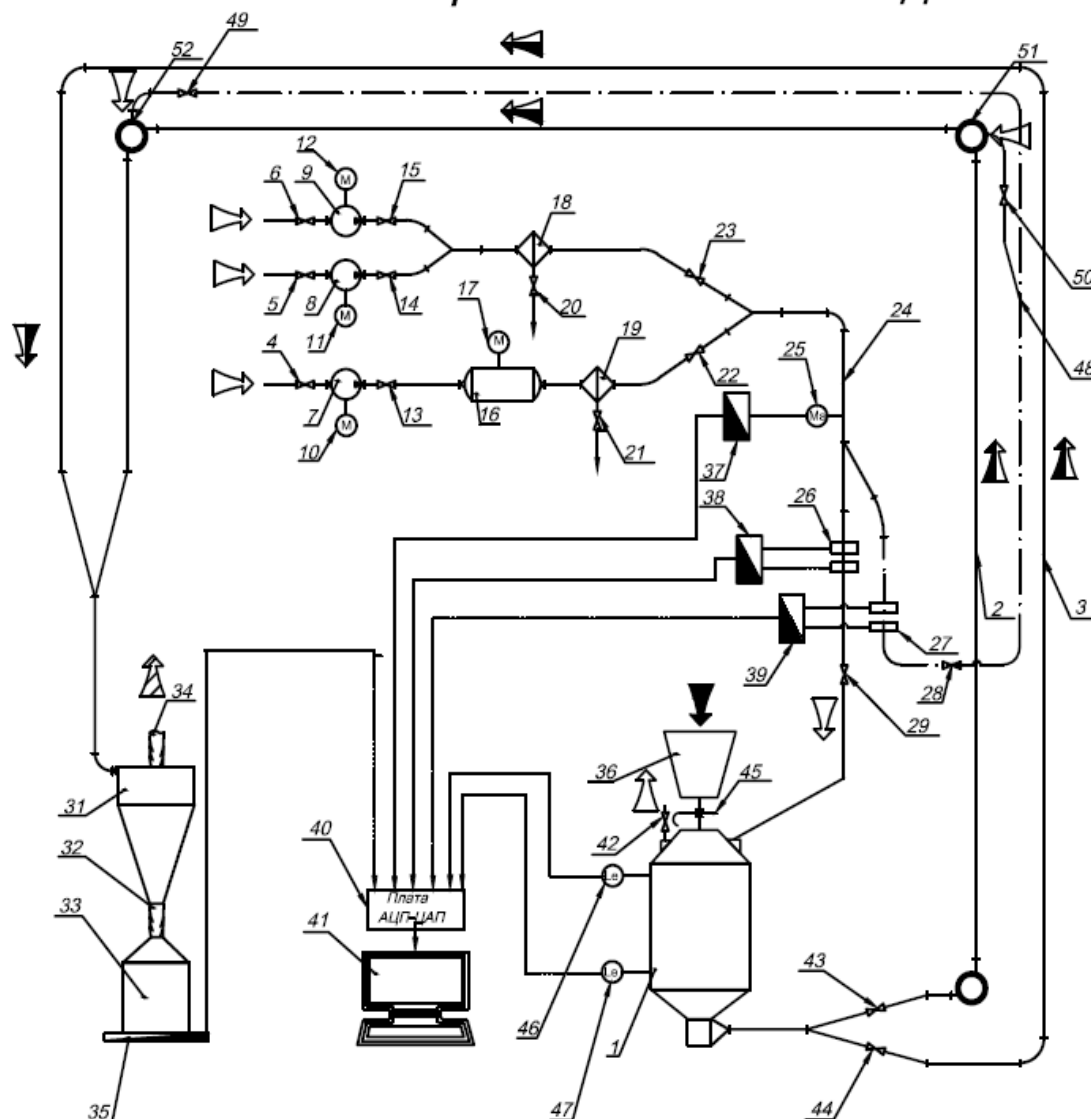
В рамках работы по совершенствованию пневмотранспорта сыпучих материалов спроектирован, изготовлен и смонтирован экспериментальный стенд. На первом этапе работы предполагается исследовать диаграммы изменения давления, расход воздуха поступающего в камеру и производительности питателя, на примере классического пневмотранспорта с использованием камерного питателя.

На втором этапе работы предполагается исследовать диаграммы изменения давления, расход воздуха поступающего в камеру и производительности питателя, на примере пневмотранспорта в котором классические отводы заменены на так называемые шаровые повороты с дополнительным продувом. В качестве питателя используется камерный питатель.

Изменения давления в камере, расход воздуха поступающего в камеру и производительность питателя было экспериментально исследовано на стенде с помощью преобразователя аналогового сигнала в цифровую форму – плата АЦП-ЦАП, установленная в системном блоке компьютера.

Исследование процессов пневмотранспортирования планируется проводить на экспериментальном стенде. Экспериментальный стенд состоит из камерного питателя (1), материалопроводов (2,3), шаровых кранов (4,5,6,13,14,15,20,21,23,28,29,42,43,44,49,50),

Схема экспериментального стенда



 воздух;
  материал;
  аэрозоль;
  очищенный воздух;

1- камерный питатель; 2 - материалопровод; 3 - материалопровод с отводом; 4,5,6,13,14,15,20,21,23,28,29,42,43,44,49,50 - шаровый кран;
 7,8,9 - компрессор; 16 - ресивер; 17,25 - манометр; 18,19 - влагомаслоотделитель; 24 - воздухопровод; 26,27 - диафрагма;
 31 - циклон; 32 - мягкая вставка; 33 - разгрузочный бункер; 34 - рукавной фильтр; 35 - весы; 36 - загрузочный бункер;
 37- преобразователь давления; 38,39 - преобразователь перепада давления; 40 - аналогово-цифровой преобразователь АЦП-ЦАП;
 41- персональный компьютер; 45 - задвижка; 46 - верхний датчик уровня, 47 - нижний датчик уровня; 48 - воздухопровод для подачи воздуха к отводам,
 51,52- шаровые повороты.

компрессоров (7,8,9), ресивера (16), манометра (17,25), влагомаслоотделителя (18,19), воздуховода (24), диаграмм (26,27), циклона (31), разгрузочного бункера (33), весов (35), загрузочного бункера (36), преобразователя давления (37), преобразователя перепада давления (38,39), аналогово-цифровой преобразователь АЦП-ЦАП (40), персональный компьютер (41), задвижки (45), воздуховода для подачи воздуха к отводам (48), шаровых отводов (51,52).

На экспериментальном стенде планируется исследовать транспортирование по двум материалопроводам. В материалопроводе (2) вместо отвода находится шар, вписанный в

куб, а в материалопроводе (3) установлены обычные отводы. Методики исследований процессов будет отличаться друг от друга.

Перед эксплуатацией установки ее следует тарировать на чистом воздухе с предварительной проверкой герметизации материалопровод.

Методикой испытания для каждой серии опытов предусматривается измерение потерь давления, производительности установки и расход сжатого воздуха.

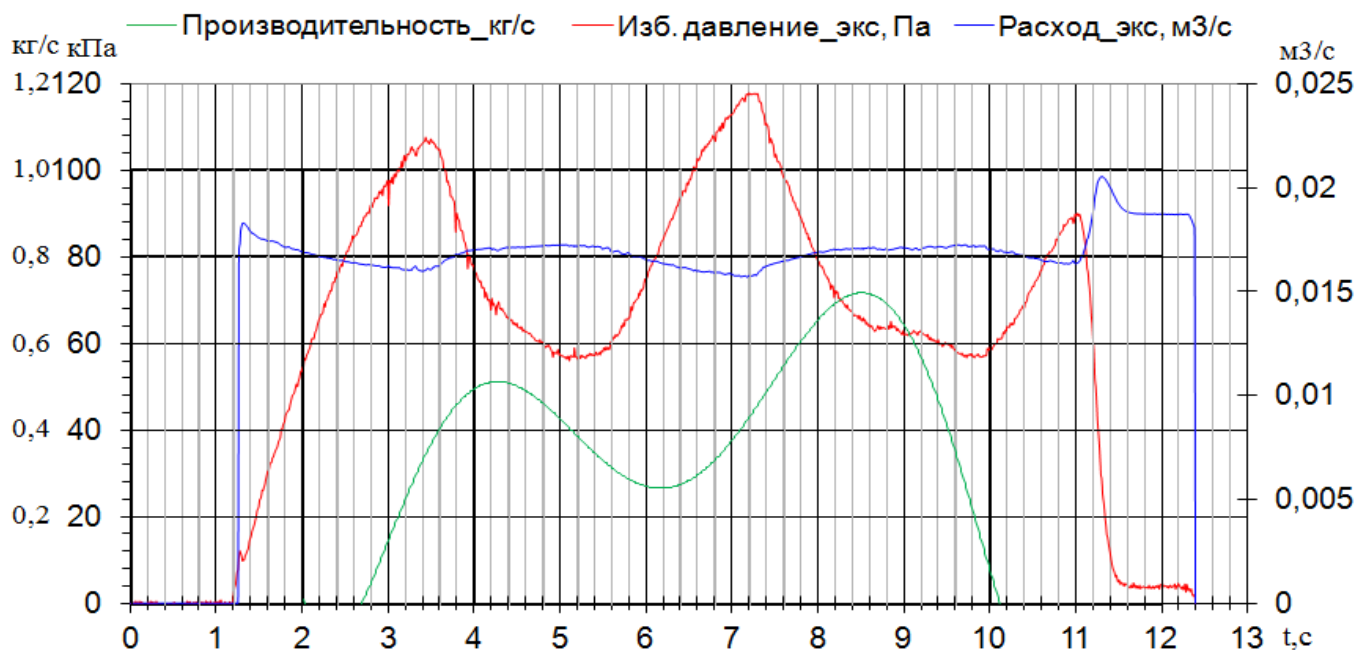
Описание пневмотранспортной установки.

Материал засыпается в бункер (36), из загрузочного бункера поступает в камерный питатель (1) через заслонку (45). Сжатый воздух поступает в камерный питатель(1) по воздуховоду (24) при открытии шарового крана (29). Камерный питатель может работать с предварительным набором воздуха и без предварительного набора воздуха. При предварительном наборе воздуха шаровый кран (43,44) закрыт до достижения определенного давления, при открытии шарового крана (43,44), аэросмесь начинает транспортироваться по материаловоду (2,3). Без предварительного набора воздуха шаровый кран (43,44) остается постоянно открытым. Аэросмесь поступает в циклон (31), где отделяется материал от воздуха. Материал поступает через мягкую вставку (32) в разгрузочный бункер (33), а воздух через рукавной фильтр (34) выводится в атмосферу. Для дополнительного продува служат воздуховод (48) перекрываемый шаровым краном (28). Подача воздуха в шаровые отводы регулируется шаровыми кранами (49,50).

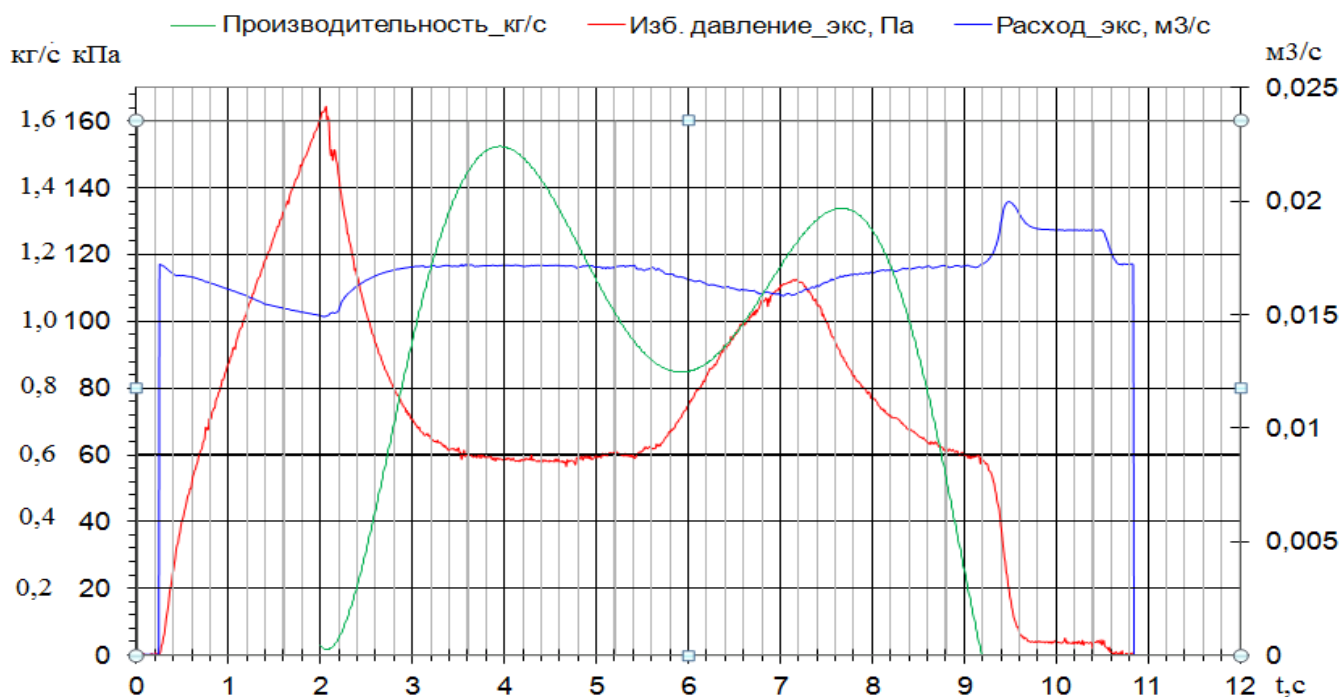
С помощью манометра (25) определяется давления в системе пневмотранспортной установке. Производительность установки определяется при помощи платформенных весов (35). Для измерения сжатого воздуха используется диафрагма (26,27).

Для преобразования аналогового сигнала в цифровую форму служит аналого-цифровой преобразователь – плата АЦП-ЦАП, устанавливаемая в системный блок компьютера. Данные измерительных приборов поступают на плату АЦП-ЦАП, где преобразуются и выводят информацию на экран монитора.

Характерная диаграмма изменения параметров циклов транспортирования на классическом пневмотранспорте без предварительного набора воздуха в камере.



Характерная диаграмма изменения параметров циклов транспортирования на классическом пневмотранспорте с предварительным набором воздуха в камере



**МОДЕРНИЗАЦИЯ ОСНОВНОГО ПРОИЗВОДСТВА
НА ОАО «ПИВОВАРЕННЫЙ ЗАВОД «БАЛТИКА-НОВОСИБИРСК»**
Иванова О.В. - студентка гр. МАПП-91, Глебов А.А.- к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

ОАО «Пивоваренный завод «Балтика-Новосибирск» - одно из наиболее современных предприятий пивоваренной отрасли за Уралом. Его открытие состоялось в мае 2008 года. Производственная мощность завода 450 миллионов литров пива в год. На предприятии установлено современное высокотехнологичное оборудование ведущих мировых производителей – Huppman, Crones, Geo Grasso, Kuenzel, Pall Seitz Schenk. В сочетании с профессионализмом сотрудников, оно позволяет выпускать продукцию самого высокого качества. Новосибирский филиал производит широкий ассортимент продукции, включая сорта «Балтика №3», «Балтика №7», «Кулер», «Ярпиво», «Большая кружка» и лицензионный Tuborg.

Как и на большинстве пивоваренных предприятий, на ОАО «Балтика-Новосибирск» остро стоит вопрос о переработке отходов. Основным отходом пивоваренного производства, является дробина, утилизация которой, особенно в летнее время, является серьезной экологической и экономической проблемой. За год образуется около 52 тыс. т пивной дробины. Основными причинами, по которой невозможно широкое использование сырой дробины, являются сроки ее хранения и трудности при перевозке. При температуре от 15 до 30 °С дробина обсеменяется и прокисает, вследствие чего срок ее хранения составляет не более 48 часов. Это вынуждает предприятие реализовывать ее на рынке в кратчайшие сроки и по низкой цене.

Сухая дробина сохраняет товарные качества не менее полугода, стойка при хранении и транспортабельна. Целесообразность переработки солодовой дробины обусловлена огромной пищевой ценностью данного продукта. Солодовая дробина содержит достаточно

большую долю перевариваемого протеина: 4 % от общей массы в свежей (непереработанной) дробине и 17% в высушенной, а также важнейшие микроэлементы (фосфор, кальций, магний, медь, железо), жирные кислоты и витамины Е и F. Она позволяет значительно повысить кормовую ценность комбикормов: включение дробины в рацион КРС и свиней снижает себестоимость привеса поголовья до 9%. При этом стоимость переработанной дробины увеличивается при продаже в несколько раз. С экономической точки зрения, производство сухих кормопродуктов с использованием пивной дробины имеет высокую рентабельность. В настоящее время дефицит белковых кормов в России составляет более 25%, а кормов животного происхождения - более 40%.

Однако, как показывает анализ современного состояния пивоваренной промышленности в России, технология получения сухой дробины используется лишь в компании «Балтика» (г. Санкт Петербург) и «Оболонь».

Целью работы является повышение эффективности пивоваренного производства путем внедрения линии переработки пивной дробины.

Для достижения поставленной цели решались следующие вопросы:

- а) выполнен анализ технологического процесса реконструируемого предприятия;
- б) разработаны мероприятия, направленные на повышение рентабельности предприятия и утилизацию отходов;
- в) разработаны предложения по конструктивному оформлению и внедрению новых линий;
- г) разработан бизнес-план модернизируемого предприятия.

Анализ существующего технологического процесса на предприятии показал, что дробина получается следующим способом. Солод дробится в молотковой дробилке, затем смешивается в премашере и затирается в заторном котле. В процессе фильтрации затора образуется солодовая (пивная) дробина, которая является остатком после отделения жидкой фазы – пивного сула. Дробина состоит из жидкой (45%) и твердой фаз (55%). Твердая фаза дробины содержит оболочку и нерастворимую часть зерна. Состав дробины зависит от качества солода, количества несоложенного сырья, а также сорта изготавливаемого пива. Снижение качества пивной дробины при хранении в сыром виде связано с появлением микротоксинов, вызывающих у животных гепатотоксический эффект (поражение печени). В связи с этим остро стоит вопрос методов консервирования и переработки дробины, позволяющих сохранять кормовые достоинства такого нетрадиционного источника сырья.

Выделяются два направления:

1. Сушка;
2. Консервирование.

Метод консервирования пивной дробины мало приемлем в производственных масштабах, так как сложен и затратен. Наиболее простым и экономически выгодным методом переработки является сушка. Предлагаемая технология предусматривает переработку пивной дробины в сухой гранулированный белковый кормопродукт.

Схема переработки пивной дробины заключается в следующем: сырая дробина выводится из фильтрационного аппарата с помощью шнека в сборник дробины. Дробина самотеком поступает в пресси-шнековый сепаратор, где происходит отделение твердой фазы от жидкой. Отжатая дробина влажностью 50% вертикальным транспортером подается в сушильную установку, где сушится до влажности 10%. Далее продукт поступает в пресс-гранулятор, где приобретает форму гранул размером 5 мм. После гранулы поступают в колонку охлаждения, где охлаждаются до температуры окружающей среды. Из колонки охлаждения продукт поступает в бункер для гранул. После бункера происходит разделение потоков, один направляется на упаковочную машину, другой пневмотранспортом в бункер готовой продукции. Это предусмотрено для того, чтобы в процессе реализации у потребителя была возможность выбирать объем покупки. Все транспортные операции проводятся с помощью норий.

Основой предлагаемого решения является применение шнекового пресс-сепаратора, который признан лучшим из доступных сегодня технологий для выполнения задачи по разделению жидкой дробины или барды на фракции. Сепаратор представляет собой шнековый пресс, в котором прессование производится при помощи шнека, что позволяет выдавливать всю свободную воду и большинство связанной воды.

Барабанная сушилка, представляет собой вращающийся барабан. Агентом сушки является пар, который подается на сушилку с внешнего источника. Возможность регулирования скорости вращения барабана позволяет контролировать время нахождения в нем высушиваемого продукта. Внутри барабана по всей его длине расположены лопасти, которые при вращении барабана способствуют пересыпанию дробины, ее перемешиванию с одновременным постепенным перемещением к разгрузочному отверстию. Дополнительное перемешивание продукта и распределение горячего воздуха обеспечивает внутренний вал барабана. Высушенный материал автоматически удаляется через разгрузочное отверстие. Влажность продукта на выходе из сушилки составляет около 9-11%. Сушка отжатой дробины/барды будет осуществляться в щадящем температурном режиме при температуре теплоносителя (теплый воздух) не более 80°C, что исключит деструкцию белка и гарантированно позволит сохранить исходную биологическую активность конечного продукта.

В отличие от традиционных схем, предлагаемая компоновка предполагает производство гранулированных кормовых добавок без использования пара и воды. Это снижает себестоимость процесса гранулирования в сравнении с традиционными подходами – на 20-30 %. Охладитель для гранул выполнен в виде вертикального охладителя для охлаждения гранул с температуры 78-85 °С до примерно 30-35 °С (при температуре окружающей среды 5 °С).

Для того чтобы у потребителя была возможность выбирать объем покупки, в технологии предусмотрено разделение потоков готовых гранул на две линии: упаковка по 5 кг и на подача на хранение в уже существующих на заводе силосах с отгрузкой бестарным способом.

Достоинства предложенной технологической линии следующие:

- вторичное сырье превращается в полноценный кормоконцентрат;
- происходит повышение рентабельность производства;
- потребитель может выбрать необходимый объема продукта;

Как показал расчет, окупаемость проекта будет достигнута при продаже готовой сухой гранулированной пивной дробины по цене 4500 рублей за тонну за 2 года и 3 месяца.

При выполнении задачи переработки дробины завод выйдет на новый уровень рентабельности, при котором повысится его конкурентоспособность.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПРОДУКТОВ РАЗМОЛА

Терехова О.Н., Ходжиян А.А., Стюпин А.М., Бехтев Д. А.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время актуальна задача увеличения ассортимента муки и хлебопекарных смесей для различных видов продуктов, в частности возникает необходимость получения муки и хлебопекарных смесей с повышенным либо пониженным содержанием белка и крахмала. Мука с высоким содержанием белка необходима для производства диетического и лечебного хлеба. В кондитерской промышленности при производстве бисквитного теста необходимо иметь муку с высоким содержанием крахмала.

Считается что мука, используемая для кондитерских целей должна содержать белка около 5%, мука для хлебопечения – от 10 до 12%, а мука для макаронных изделий еще выше. Мука с низким содержанием белка применяется для печенья, пирожных тортов, вафель [1].

Продукты с пониженным содержанием белка предназначены главным образом для больных с хронической почечной недостаточностью, когда необходимо при высокой энергоценности пищевого рациона снизить содержание в нем белка. Так же существует болезнь целиакия – пищевая непереносимость белка (глютена). Людям, болеющим целиакией рекомендуется в питании использовать специализированные безглютеновые продукты, в связи с чем, развивается их производство. Однако мнения врачей по поводу происхождения этой болезни разделились: если раньше считалась, что это врожденное заболевание, то теперь существуют данные, подтвержденные исследованиями, свидетельствующие о том, что причиной может являться многолетнее ежедневное потребление хлеба, изготовленного из муки с повышенным содержанием клейковины, которая плохо усваивается организмом человека.

По содержанию белковых веществ и крахмала в муке различаются следующие основные фракции: фракция частиц эндосперма, состоящих из белковой основы с включенными в нее крахмальными гранулами (размеры не превышают 50 мкм); фракция частиц крахмальных гранул, имеющих на поверхности прикрепленный белок (размеры 15—50 мкм); фракция мелких частиц крахмальных зерен, а также частиц свободного белка (размеры 1—15 мкм). Наибольшее количество белковых веществ содержится в третьей фракции муки с частицами размером менее 15 мкм, а наименьшее — в средней с частицами размером от 17 до 40 мкм [3].

Получить такую высокую четкость сепарирования посредством традиционной ситовой классификации не возможно. Исходя из этого, актуальным направлением является научный поиск методов разделения аэродисперсных потоков, основанных на других принципах, таких как центробежные и пневмоцентробежные. Важной особенностью работы классификаторов такого типа является возможность выделения тонкой фракции с размерами от 90 мкм и ниже, характеризующиеся высоким содержанием белка.

В Алтайском Государственном Техническом Университете была разработана установка [2,4], где пневмосепарирование дисперсного материала осуществляется за счет взаимодействия центробежной силы, силы аэродинамического сопротивления, силы тяжести и силы обусловленной ускорением Кориолиса, а также силы трения, возникающей на вращающихся поверхностях.

В данной установке этот метод реализован следующим образом. Из загрузочного бункера 1 (рисунок 1) продукт подается в патрубок, где происходит его смешивание с воздушным потоком. Движение воздушного потока происходит за счет создания постоянного по величине разрежения на выходе установки, с помощью воздуходувки 7. Имеется возможность регулировать расход воздуха (а соответственно и степени разрежения).

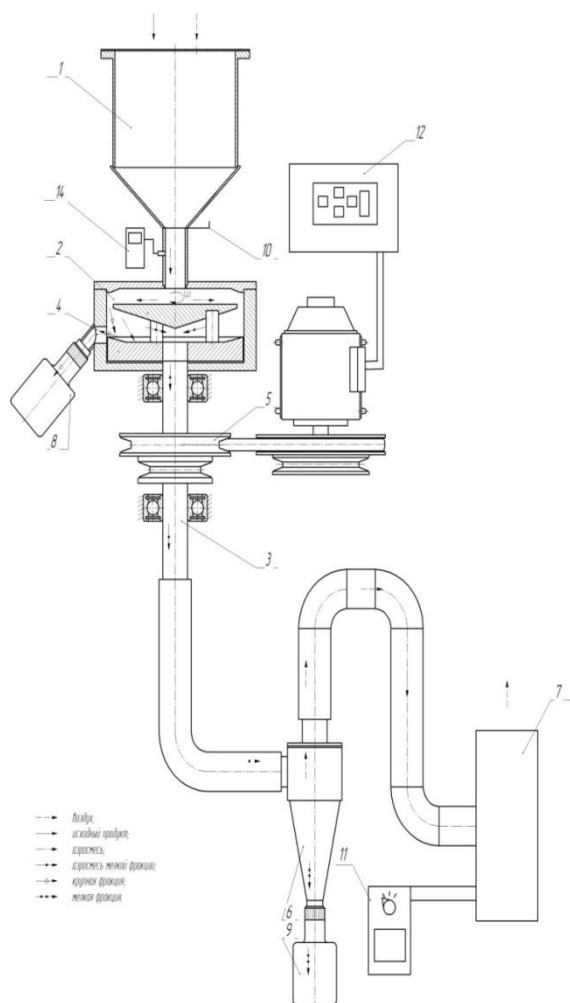
Аэросмесь, проходя через впускной патрубок, попадает в рабочую камеру центрифуги 2. Центрифуга приводится во вращение, через клиноременную передачу 5 двигателем с регулируемым числом оборотов. Здесь происходит закручивание аэродисперсного потока.

Под действием совокупных сил происходит отжатие к наружной стенке корпуса более тяжелых частиц, которые через выходной тангенциальный патрубок 4 попадают в бункер приема крупной фракции 8.

Мелкие частицы с потоком воздуха, проходя по полуму валу 3, попадают в циклон 6 и осаждаются в бункере приема мелкой фракции 9.

Для улавливания прошедших через циклон мелкодисперсных частиц, перед осевым насосом установлен матерчатый фильтр.

Подача продукта из загрузочного бункера 1 в патрубок регулируется заслонкой 10.



- 1-загрузочный бункер;
- 2-рабочая камера; 3-полый вал;
- 4-тангенциальный патрубкок;
- 5-шкив; 6-циклон;
- 7-воздуходувка; 8-бункер для крупной фракции; 9-бункер для мелкой фракции; 10-заслонка; 11-латер; 12-чистотный преобразователь.

Разработанная установка позволяет в лабораторных условиях провести исследование по разделению продуктов при различных режимах, меняя число оборотов центрифуги, разрежение воздушного потока. При этом достигаются показатели высокой степени однородности разделенного продукта. Как показали предварительные эксперименты, отделимость крупной фракции полидисперсной аэросмеси в среднем составляет 75%, мелкой от 5% и выше.

Наличие в мировой практике конструкций, использующих аналогичные принципы и имеющих производительность до 1000 кг/час дает хорошие предпосылки для реализации отработанных режимов и конструктивных решений, используемых в этой установке, на установке промышленного типа.

При проведении испытаний, выяснилось, что на эффективность работы пневмоинерционного классификатора оказывает влияние гранулометрические свойства продукта, поступающего в установку, равномерность подачи материала. Экспериментально было замечено, что отдельные частицы продукта по размерам не должны превышать расстояния между дисками продукта и зазоров между дисками и корпусом классификатора. Если же данное условие не выполнялось, то эффективность разделения резко падает, либо происходит забивание продуктом пространства между дисками и останов работы. Подобное явление приводит к выводу о том, что для эффективного разделения продукта в классификаторе существуют некоторые граничные условия по дисперсному составу поступающего продукта, и размеры основного рабочего органа так же определяются свойствами продукта.

На эффективность процесса разделения продукта в классификаторе влияют так же удельный расход воздуха и продукта.

К основным показателям работы установки можно отнести частоту вращения вала центрифуги n , об/мин, пропускную способность установки, кг/ч, время отделения продукта t , мин.

Экспериментальные и теоретические исследования процесса пневмосепарации продуктов размола в центробежно-гравитационном поле позволили сделать ряд заключений:

- экспериментально установлено, что эффективность процесса сепарации продуктов размола зерна в пневмоинерционном классификаторе зависит от ряда параметров, характеризующих как физико-механические свойства продукта, так и от характеристик и режима работы самого классификатора;

- выяснено, что при разделении продуктов размола в данной установке, наилучшие результаты получены при выделении фракции манной крупы. Это обусловлено оптимальным соотношением дисперсности данного продукта по отношению к зазору между рабочими дисками ротора классификатора. Таким образом, для манной крупы оптимальным оказался зазор между дисками 3 мм;

- с увеличением максимального размера частиц полидисперсного продукта, поступающего в классификатор, его рабочая зона также должна быть увеличена;

- при разделении в классификаторе муки высшего сорта были получены фракции, отличающиеся не только по дисперсности, но, и как показал лабораторный анализ, содержанием крахмала и белка по сравнению с исходным продуктом.

Полученные выводы позволили разработать ряд предложений по усовершенствованию существующей конструкции экспериментального образца классификатора с целью организации возможности выделения в нем большего количества фракций.

Выделение из муки отдельных фракций, отличающихся по дисперсности и составу, является перспективным направлением, позволяющим получать новые разновидности продуктов и хлебобулочных изделий.

1. Пучкова Л.И. Технология хлеба / Л.И. Пучкова, Р.Д. Поландова, И.В. Матвеева – СПб.: ГИОРД, 2005. – 559 с.

2. Терехова О.Н. Пневмоинерционное сепарирование дисперсных материалов в процессах переработки зерна: монография/ О.Н. Терехова; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011.-200 с.

3. Терехова О.Н. Получение новых сортов муки / О.Н. Терехова, А.А. Ходжаян // Современное общество, образование и наука: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 июля 2013 г.: Часть 5. Тамбов, ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. 163 с.

4. Патент РФ РФ № 2369447 Способ пневмоинерционной сепарации продуктов размола: Заявл. 30.04.2008; опубликован 10.10.2009.

УВЕЛИЧЕНИЕ ВЫХОДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МУКИ НА МЕЛЬНИЦЕ 3-Х СОРТНОГО ПОМОЛА

Студент группы: МАПП-91 Зырянов А.В. Руководитель: Протопопов Д.Н.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Мукомольную и крупяную промышленность считают важным звеном агропромышленного комплекса, поскольку она обеспечивает производство основных продуктов питания людей - муки и круп. Мукомольная промышленность нашей страны добилась значительных успехов в своем развитии и совершенствовании. При содержании в пшенице около 77...83% наиболее ценной ее части - эндосперма на передовых мукомольных заводах получают 65...78% муки по качеству, близкой к качеству эндосперма.

Эффективность технологических процессов производства муки определяется уровнем использования зерна и электроэнергии, а так же качеством вырабатываемой муки. На

эффективность переработки зерна в муку оказывают влияние технологические свойства перерабатываемого зерна, структура и режимы технологического процесса на мукомольном заводе, состав технологического и транспортного оборудования. Поэтому многие предприятия заинтересуют увеличение выхода муки на 3...7% без потери качества, так как это принесет неплохую дополнительную экономическую прибыль.

Отруби пшеницы представляют собой плотно сросшиеся плодовые и цветочные оболочки с прикрепленными к ним частицами алейронового слоя. Алейроновый слой по химическому составу и строению клеток отличается как от оболочек, так и от собственно эндосперма. При помоле пшеницы он отделяется от мучнистого ядра преимущественно с оболочками в виде отрубей. Клетки алейронового слоя по мере приближения к зародышу уменьшаются и затем исчезают, так что зародыш покрыт только оболочками. Химический состав алейронового слоя имеет следующие особенности. В нем находится большое количество белков – 38% и более, преимущественно относящихся к альбуминам и глобулинам, не способным образовывать клейковину, 9-10% жира, 6% сахара (сахарозы), 15% клетчатки, значительное количество гемицеллюлозы. Алейроновый слой богат водорастворимыми витаминами: В1 и В2 и особенно витамином РР. Масса алейронового слоя составляет в среднем 7% от массы зерна (от 4 до 9%). Зольность алейронового слоя колеблется от 8 до 11%. В состав семенных оболочек входят 3,5-4,5% минеральных веществ (зола), 43-45% гемицеллюлоз и пентозанов, 18-22% клетчатки, 4,5-4,8% азотистых веществ, немного сахара и жира.

Сложность отделения цветочных оболочек от плодовых и от частиц алейронового слоя приводит к тому, что полезные питательные вещества не попадают в муку, а уходят с отрубями в отходы. Нами была разработана конструкция дезинтегратора позволяющего проводить глубокую обработку отрубей при относительной скорости пальцев до 360 м/сек. При таких скоростях обработки между пальцами специальной формы происходит отделение цветочных оболочек от плодовых.

Рассмотрим практическое применение результатов исследования на примере мельницы трехсортного помола ОАО «Алмак». Для увеличения выхода муки необходимо установить дополнительное оборудование, а именно: дезинтегратор, циклон-разгрузитель и виброцентрифугал.

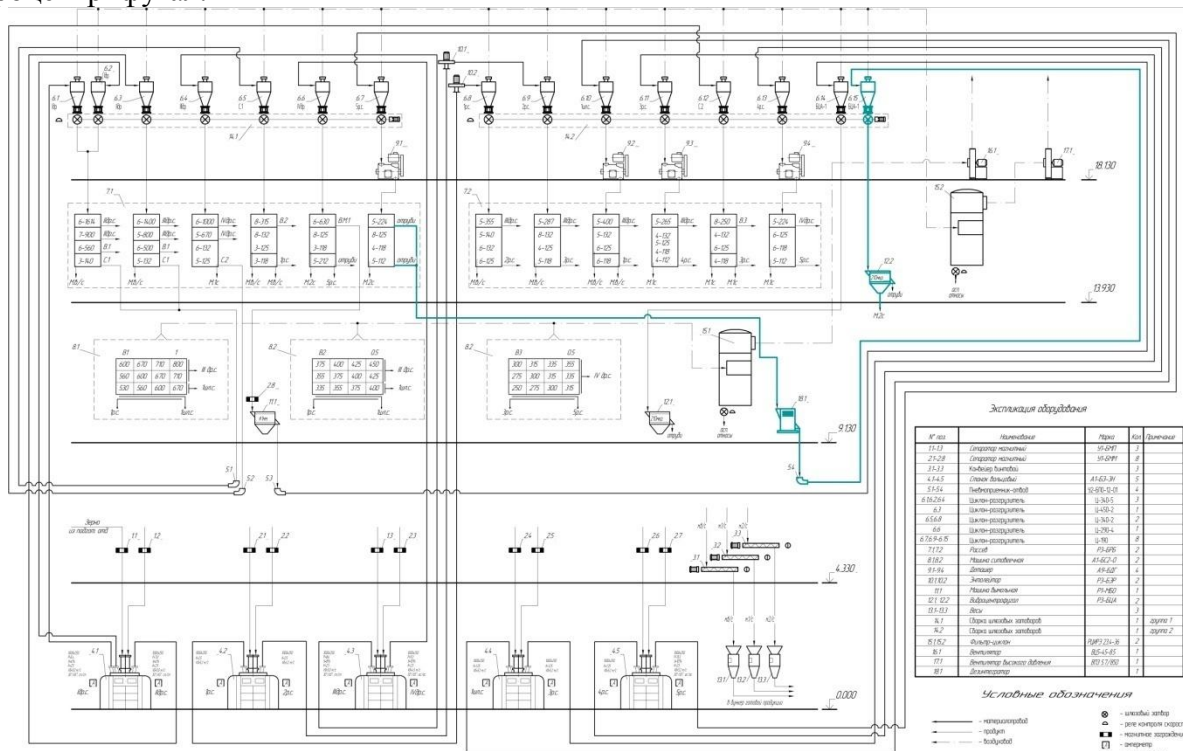


Рисунок 1 – Технологическая схема размольного отделения

По технологической схеме: продукты помола, с рассева пятой размольной системы собираются и по самотекам направляются в дезинтегратор, после чего попадают в пневмоприемник и по материалопроводу пневмотранспортом направляются в циклон – разгрузитель, затем по самотекам направляются в виброцентрифугал, просеиваются и попадают на шнек муки 2-го сорта. В итоге выход муки увеличивается с 78,16% до 81,04%.

Предлагаемая реконструкция размольного отделения позволяет увеличить выход муки на предприятии ОАО "Алмак" с 78,16% до 81,04% без ухудшения качества продукции. Реализация проекта предусматривает затраты в пределах 1,5 млн. рублей, а годовая прибыль от реализации готового продукта около 6,3 млн. рублей. Период окупаемости проекта составит 1 квартал, а рентабельность производства увеличится с 16% до 19%.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЗАГРУЗОЧНОГО ОТВЕРСТИЯ НА СТЕПЕНЬ ЗАПОЛНЕНИЯ ЯЧЕЕК ВЕРТИКАЛЬНОГО РОТОРНОГО ПИТАТЕЛЯ

Ефремов Д. – студент гр. МАПП – 01, Мухопад К.А. – доцент каф. ТмиММ,

Лямкин Е.С. – к.т.н., доцент каф. МАПП

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Как известно, в системах пневмотранспорта сыпучих материалов в качестве загрузочных устройств используются питатели различных конструкций – шлюзовые затворы, шлюзовые питатели, камерные и шнековые (винтовые) питатели и др. Для низконапорных и средненапорных пневмотранспортных систем широкое распространение получили ротационные (роторные) или шлюзовые питатели. Производительность такого типа питателей предлагается определять по формуле [1, 2]

$$G = 0,06 \cdot V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{н}} \cdot n \cdot k_{\text{я}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{п}}$ – полезный объем полостей питателя, м³;
 $\rho_{\text{н}}$ – насыпная плотность сыпучего материала, кг/м³;
 n – частота вращения ротора, об/мин;
 $k_{\text{я}}$ – коэффициент заполнения ячеек.

Как отмечается в [1], при увеличении частоты вращения n ротора питателя коэффициент заполнения ячеек $k_{\text{я}}$ уменьшается, что приводит к снижению производительности питающего устройства. На коэффициент $k_{\text{я}}$ влияние оказывает также форма и расположение загрузочного отверстия.

На примере разрабатываемого роторного питателя с вертикальной осью вращения предлагается аналитическое описание влияния формы загрузочного отверстия, его расположения и частоты вращения ротора питателя на степень заполнения ячеек сыпучим материалом.

Коэффициент заполнения ячеек определяется по достаточно простой формуле

$$k_{\text{я}} = \frac{V}{V_{\text{яч}}}, \quad (2)$$

где V – объем материала, поступившего в ячейку из загрузочного отверстия питателя,

$V_{\text{яч}}$ – объем ячейки.

Следует отметить, что величина коэффициента заполнения ячейки во многом определяет эффективность использования данного типа приемно-питающих устройств. Малые значения коэффициента $k_{\text{я}}$ говорят о неэффективном использовании внутренних объемов устройства, повышенной металлоемкости, неэффективном расходе электроэнергии, возможности утечек воздуха из выходного отверстия и т.д.

Для определения коэффициента заполнения ячеек, прежде всего, требуется определить объем материала, который поступает в ячейку при вращении ротора из загрузочного отверстия. Расположение и форма загрузочного отверстия влияют на

коэффициент $k_{я}$. Расположение загрузочного отверстия будет определяться конструктивными особенностями самих ячеек и ротора, а форма загрузочного устройства, согласно теории истечения сыпучих материалов из бункеров, будет влиять на скорость истечения материала. Возможны различные варианты форм и расположений загрузочных отверстий, например, таких как на рис. 1.

При нахождении объема материала, поступившего в ячейку, будем учитывать несколько параметров вертикального роторного питателя: D_1 – диаметр ротора, D_3 – диаметр вала ротора, N – количество лопастей, D_2 – диаметр, характеризующий расположение загрузочного отверстия относительно оси вращения ротора (для круглого загрузочного отверстия), n – частота вращения ротора, r – радиус загрузочного отверстия (для круглого отверстия) (рис. 1). Рассмотрим один из многообразия вариантов загрузочных отверстий вертикального питателя – круглое отверстие радиусом r , вписанное в габариты одной ячейки.

Сначала определим максимальный радиус r круглого загрузочного отверстия с учетом известных диаметров D_1 и D_3 , а так же количества лопастей (ячеек) N .

Согласно рис. 2, окружность радиуса r должна быть вписана в габариты ячейки. При этом $r = BC = FC$. Из треугольника OBC можно найти радиус r , зная угол раствора ячейки α .

$$\angle BOC = \frac{\alpha}{2}, \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{BC}{OC} = \frac{r}{\frac{D_1}{2} - r},$$

$$r = r^{\max} = \frac{\frac{D_1}{2} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{1 + \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (3)$$

Так же необходимо выдерживать ограничение

$$\frac{D_1}{2} - 2 \cdot r^{\max} > \frac{D_3}{2}. \quad (4)$$

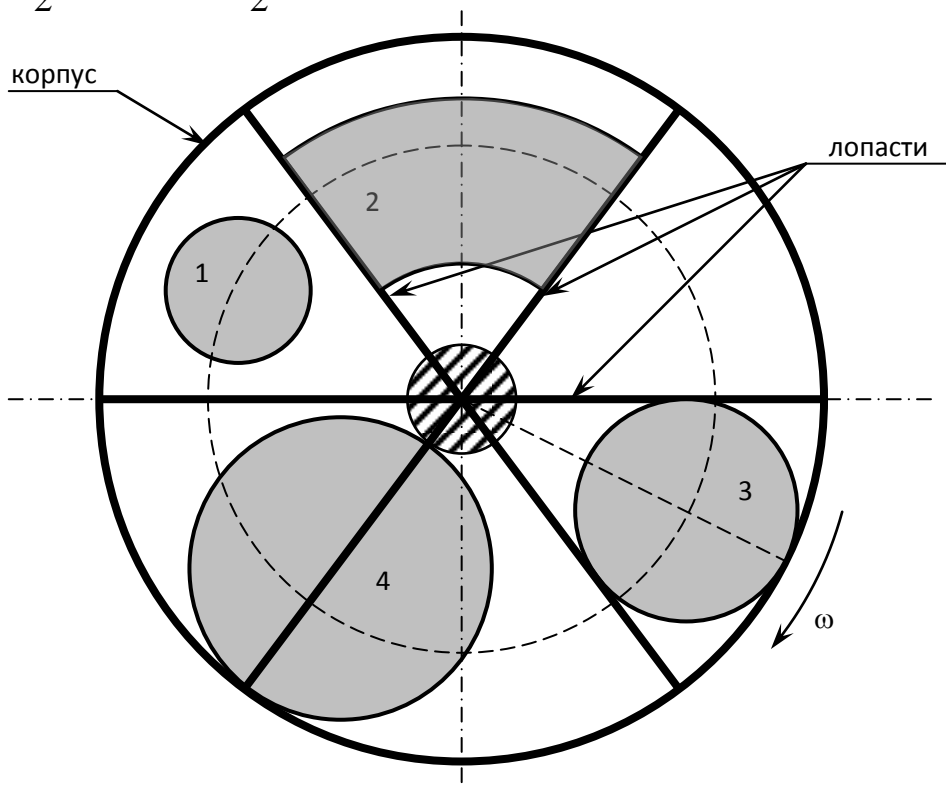


Рисунок 1 – Некоторые варианты форм и расположений загрузочных отверстий

Объемную пропускную способность загрузочного отверстия определим по формуле

$$Q = S \cdot v_{\text{ист.}}$$

Как известно, скорость истечения сыпучего материала $v_{\text{ист.}}$ из отверстия является функцией гидравлического радиуса $v_{\text{ист.}} = f(R_r)$. Гидравлический радиус определяется по формуле

$$R_r = \frac{S}{\Pi}, \quad (5)$$

где S – площадь сечения, через которое происходит истечение сыпучего материала, Π – периметр сечения.

При вращении ротора загрузочное отверстие раскрывается постепенно, что приводит к изменению гидравлического радиуса, а, значит, и к изменению $v_{\text{ист.}}$. Т.е. пропускная способность Q , по сути, является функцией геометрических параметров S и Π загрузочного отверстия.

Определим изменение S и Π при повороте ротора. На рис. 2 угол поворота ротора (лопастей) φ при условии, что вращение происходит с постоянной частотой, находим по формуле

$$\varphi = \omega \cdot t,$$

где ω – угловая скорость вращения ротора, рад/с,
 t – время, с.

Угловую скорость можно представить через частоту вращения

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}. \quad (6)$$

Тогда

$$\varphi = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t. \quad (7)$$

При условии $\varphi = \alpha$ происходит полное раскрытие загрузочного отверстия.

Площадь S сечения, через которое происходит истечение материала, равна площади сегмента (рис. 2) для текущего положения лопасти, определяемого углом φ . Периметр этого сечения равен сумме длин хорды DE и дуги DE .

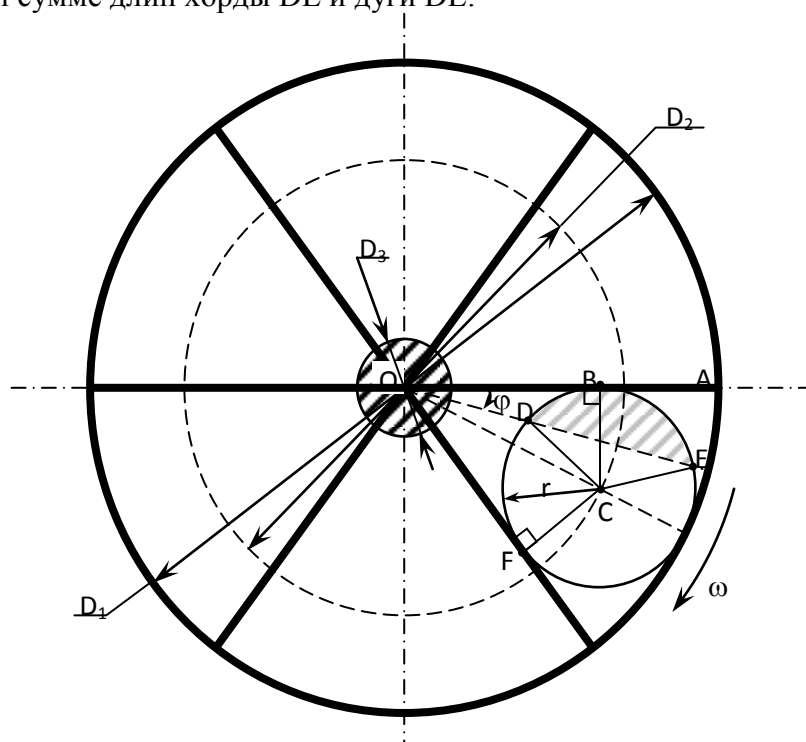


Рисунок 2 – К определению коэффициента заполнения ячейки

Площадь сегмента определяется по формуле (заштрихованная область на рис. 2):

$$S = \frac{r^2}{2} \cdot (\chi - \sin(\chi)), \quad (8)$$

где χ - центральный угол, рад.

Угол χ найдем из $\angle OCE$ (рис. 1)

$$OC \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right) = r \cdot \cos\left(\frac{\chi}{2}\right), \quad OC = \frac{D_1}{2} - r,$$

откуда

$$\cos\left(\frac{\chi}{2}\right) = \frac{\frac{D_1}{2} - r}{r} \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right) = \left(\frac{D_1}{2 \cdot r} - 1\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right),$$

$$\chi = 2 \cdot \arccos\left(\left(\frac{D_1}{2 \cdot r} - 1\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right)\right). \quad (9)$$

Периметр сечения находим по формуле

$$\Pi = \chi \cdot r + 2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\chi}{2}\right). \quad (10)$$

Тогда при повороте ротора на угол $\varphi = \alpha/2$, раскроется ровно половина загрузочного отверстия, а площадь сечения и его периметр примут значения

$$\chi = 2 \cdot \arccos\left(\left(\frac{D_1}{2 \cdot r} - 1\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \varphi\right)\right) = 2 \cdot \arccos\left(\left(\frac{D_1}{2 \cdot r} - 1\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha}{2}\right)\right) = \pi,$$

$$S = \frac{r^2}{2} \cdot (\chi - \sin(\chi)) = \frac{r^2}{2} \cdot (\pi - \sin(\pi)) = \frac{\pi \cdot r^2}{2}, \quad (11)$$

$$\Pi = \chi \cdot r + 2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\chi}{2}\right) = \pi \cdot r + 2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = r \cdot (\pi + 2). \quad (12)$$

Гидравлический радиус равен

$$R_r = \frac{S}{\Pi} = \frac{\frac{\pi \cdot r^2}{2}}{r \cdot (\pi + 2)} = \frac{\pi \cdot r}{2 \cdot (\pi + 2)}. \quad (13)$$

При дальнейшем повороте ротора на угол $\varphi > \alpha/2$ до $\varphi = \alpha$ площадь сечения вычисляется по формуле

$$S = \frac{\pi \cdot r^2}{2} + \left(\frac{\pi \cdot r^2}{2} - \frac{r^2}{2} \cdot (\chi_1 - \sin(\chi_1)) \right)$$

или после преобразований

$$S = r^2 \cdot \left(\pi - \frac{1}{2} \cdot (\chi_1 - \sin(\chi_1)) \right), \quad (14)$$

где χ_1 - центральный угол, рад.

Угол χ_1 определим аналогично углу χ

$$\chi_1 = 2 \cdot \arccos\left(\left(\frac{D_1}{2 \cdot r} - 1\right) \cdot \sin\left(\varphi - \frac{\alpha}{2}\right)\right). \quad (15)$$

Периметр сечения при $\alpha/2 < \varphi \leq \alpha$ равен

$$\Pi = \pi \cdot r + \left(\pi \cdot r - r \cdot \chi_1 + r \cdot \sin\left(\frac{\chi_1}{2}\right) \right) = r \cdot \left(2 \cdot \pi - \chi_1 + \sin\left(\frac{\chi_1}{2}\right) \right). \quad (16)$$

Воспользуемся формулой Р.Л. Зенкова [3] для определения скорости истечения сыпучего материала через отверстие

$$v_{\text{ист.}} = \lambda \cdot \sqrt{3,2 \cdot g \cdot R_r}, \quad (17)$$

где λ – корректирующий коэффициент, который для плохо сыпучих материалов равен 0,22;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

R_r – гидравлический радиус отверстия, из которого происходит истечение, м.

Рассмотрим результаты моделирования при $N = 5$ ячеек, $4 \text{ об/мин} \leq n \leq 30 \text{ об/мин}$. В ходе моделирования были получены графики (рис. 3), отражающие скорость загрузки одной ячейки в зависимости от частоты вращения ротора, что позволяет определить объем материала, поступающего в ячейку, а, значит, и коэффициент заполнения ячейки.

Графики, представленные на рис. 3, вполне информативно отражают процесс заполнения ячеек сыпучим материалом. Несмотря на то, что производительность приемно-питающего устройства при различных частотах вращения ротора остается неизменной, любые «узкие места» загрузочных отверстий могут привести к значительной недогрузке ячеек с соответствующими последствиями, т.к. загрузка материала в ячейки происходит неравномерно.

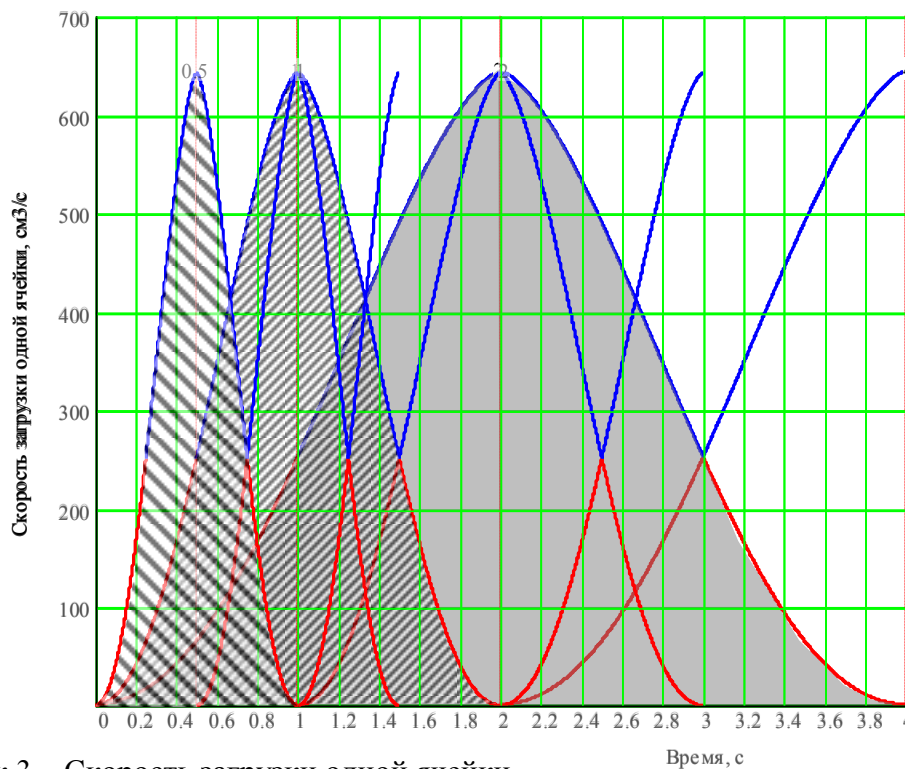


Рисунок 3 – Скорость загрузки одной ячейки
(закрашенная область – это объем материала, поступившего в ячейку;
1 – при $n = 24$ об/мин, 2 – при $n = 12$ об/мин, 3 – при $n = 6$ об/мин)

Обобщая информацию, полученную в ходе моделирования, представим на рис. 4 график заполнения ячеек материалом при различных частотах вращения ротора питателя.

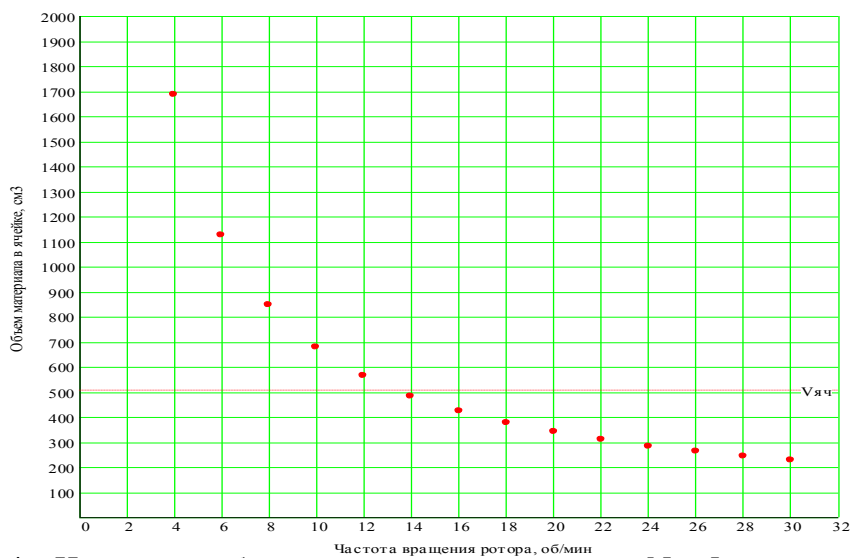


Рисунок 4 – Изменение объема материала в ячейке при $N = 5$ ячеек

Как видно из рис. 4, при малых частотах вращения ротора ($n < 14$ об/мин) происходит переполнение ячеек $V > V_{яч}$, т.е. устройство не работоспособно. Более того, уменьшение объема материала, поступающего в ячейки, при увеличении частоты вращения ротора имеет экспоненциальный характер. Данный факт означает, что при малых частотах вращения незначительное изменение частоты вращения ротора может привести к значительному изменению коэффициента заполнения $k_я$.

Исходя из объема ячейки и зная объем материала в ячейке, можно определять коэффициент заполнения $k_я$, который для наших исходных данных при $n \geq 14$ об/мин имеет значения, представленные на рис. 5.

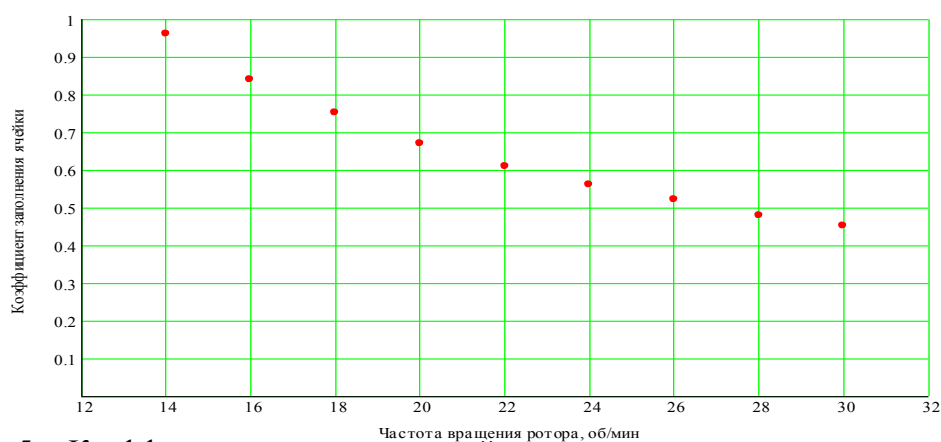


Рисунок 5 – Коэффициент заполнения ячейки при различных частотах вращения ротора вертикального питателя

Таким образом, был рассмотрен только один вариант формы и расположения загрузочного отверстия. Но даже на этом примере можно сделать определенные выводы. Результаты моделирования показывают, что коэффициент заполнения ячеек $k_я$ будет зависеть от многих факторов: формы и расположения загрузочного отверстия, геометрических размеров ротора, формы лопастей и их количества, частоты вращения ротора, режима истечения сыпучего материала через загрузочное отверстие и, возможно, других.

Вполне вероятно, что можно подобрать такие геометрические размеры ротора и лопастей, а также загрузочного отверстия, при которых заданная производительность приемно-питающего устройства будет обеспечена при $k_я \rightarrow 1$ на широком интервале частот вращения ротора.

Список литературы

1. Заборсин, А.Ф. Пневмотранспорт сахара в пищевой промышленности / А.Ф. Заборсин, Т.К. Васильева – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 280 с.
2. Клячко, Л.С. Пневматический транспорт сыпучих материалов / Л.С. Клячко, Э.Х. Одельский, Б.М. Хрусталеv – Мн.: Наука и техника, 1983. – 216 с.
3. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков – М.: Гос. научно-техн. изд-во машиностроительной литературы, 1952. – 216 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ РАЗМЕРНОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ШЛЮЗОВОГО ПИТАТЕЛЯ

Танова У.С. – магистрант гр. 8ТМиО-21, Лямкин Е.С. – к.т.н., доцент кафедры МАПП,
Мухопад К. А. – доцент кафедры МАПП

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Подача материала из области атмосферного в область повышенного давления - одна из трудноразрешимых задач пневмотранспортных установок. В нагнетающих пневмотранспортных установках её выполняют питатели. Они не только обеспечивают дозированную подачу материала в трубопровод, находящийся под избыточным давлением, но и во многом определяют энергетические показатели процесса транспортирования, устойчивость работы пневмотранспортной установки в целом [1,2].

Питатели широко используются в пищевой и химической промышленности, производстве строительных материалов, в системах аэрозольтранспорта муки, для пневмотранспорта ПВХ и т.д. Наиболее часто питатели применяются на предприятиях зерноперерабатывающей и мукомольной промышленности, использующих пневматическую сепарацию и транспортировку продукта. В настоящее время наиболее широкое применение получили винтовые, камерные и шлюзовые питатели.

Шлюзовые питатели сравнительно просты по конструкции, небольшие по габариту и массе, не требуют большого расхода энергии на привод, относительно невысокой стоимости. Они обеспечивают удовлетворительную равномерность поступления транспортируемого материала в трубопровод, обладают важным для пневмотранспортных установок ограничивающим свойством в подаче при возмущениях, вызванных предшествующим оборудованием. Это положительно сказывается на сохранении устойчивости работы пневмотранспортной установки.

Эффективность работы шлюзовых питателей зависит от множества параметров, а также и от взаимного их влияния друг на друга. К основным группам параметров относятся геометрические, режимные и кинематические. В настоящее время существует большое количество методик расчета основных параметров шлюзовых питателей. Однако имеющиеся методики имеют ряд допущений или основаны на результатах экспериментальных исследований и для разных областей применения могут давать значительную погрешность при расчете параметров. В настоящей работе предпринята попытка разработки методики расчета параметров шлюзового питателя с применением теории размерностей.

Метод анализа размерностей нашел широкое применение в практике гидро- и газодинамических исследований, а также при исследовании процесса перемешивания или транспортирования пищевых продуктов. Этот метод позволяет заранее определить основные критерии подобия, в которых следует обрабатывать результаты опытов, а также обобщать их и устанавливать закономерности, отражающие исследуемый процесс.

Рассмотрим применение теории размерностей для определения критериев подобия при моделировании работы вертикального шлюзового питателя нагнетающей установки.

Для этого установим критерии подобия методом анализа размерностей. Основными параметрами, которые влияют на эффективность работы питателя, являются: диаметр входного патрубка - $D_{вх.п.}$, диаметр выпускного патрубка - $D_{вых.п.}$, высота корпуса шлюзового

питателя - H_k , диаметр ротора - D_p , диаметр вала - D_b , частота вращения ротора питателя - ω , величина давления воздуха - Δp , плотность частиц - $\rho_{ч}$, расход воздуха через неплотности сопряжений (утечки) - Q_y , производительность - G , угол естественного откоса - α , угол внешнего трения - φ .

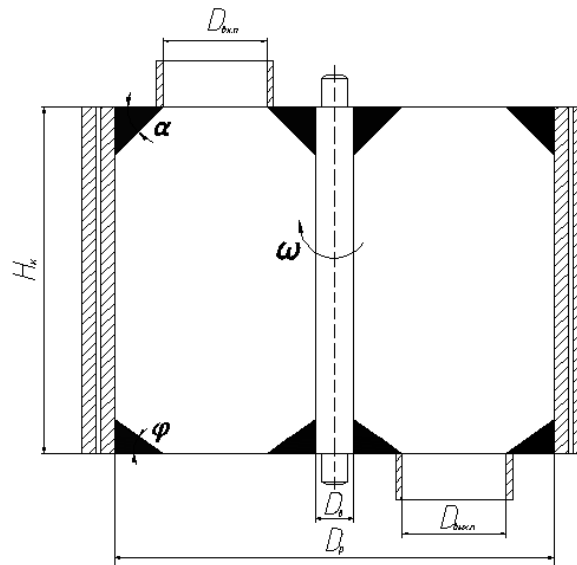


Рисунок 1 – Схема вертикального шлюзового питателя

Число безразмерных комплексов (критериев подобия), получаемое на основе анализа размерностей, определяется на основании π -теоремы. Размерности параметров, влияющих на работу шлюзового питателя, в системе СИ для основных единиц измерения массы (М), линейных размеров (L) и времени (Т) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Размерности параметров

№	Параметры	Единицы измерения в системе СИ	Показатели степени		
			М (кг)	L (м)	T (с)
1	$D_{вх.п}$	м	0	1	0
2	$D_{вых.п}$	м	0	1	0
3	H_k	м	0	1	0
4	D_p	м	0	1	0
5	D_b	м	0	1	0
6	ω	c^{-1}	0	0	-1
7	Δp	$кг/(c^2 \cdot м)$	1	-1	-2
8	$\rho_{ч}$	$кг/м^3$	1	-3	0
9	g	$м/с^2$	0	1	-2
0	Q_y	$м^3/с$	0	3	-1
1	G	кг/с	1	0	-1

Обозначая критерии подобия через π , можем записать

$$\pi = [D_{вх.п}]^{z1} \cdot [D_{вых.п}]^{z2} \cdot [H_k]^{z3} \cdot [D_p]^{z4} \cdot [D_b]^{z5} \cdot [\omega]^{z6} \cdot [\Delta p]^{z7} \cdot [\rho_{ч}]^{z8} \cdot [g]^{z9} \cdot [Q_y]^{z10} \cdot [G]^{z11}$$

Используя первичные единицы измерений параметров критерии подобия запишутся в следующем виде:

$$\pi = L^{z_1} \cdot L^{z_2} \cdot L^{z_3} \cdot L^{z_4} \cdot L^{z_5} \cdot (T^{-1})^{z_6} \cdot (M^1 \cdot L^{-1} \cdot T^{-2})^{z_7} \cdot (M^1 \cdot L^{-3})^{z_8} \cdot (L^1 \cdot T^{-2})^{z_9} \cdot (L^3 \cdot T^{-1})^{z_{10}} \cdot (M^1 \cdot T^{-1})^{z_{11}}$$

Составим систему уравнений

$$\begin{cases} Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 - Z_7 - 3 \cdot Z_8 + Z_9 + 3 \cdot Z_{10} = 0, \\ -Z_6 - 2 \cdot Z_7 - 2 \cdot Z_9 - Z_{10} - Z_{11} = 0, \\ Z_7 + Z_8 + Z_{11} = 0. \end{cases}$$

Система имеет $n - r$ ($11 - 3 = 8$) независимых решений, где n - число участвующих в процессе параметров, r – основные параметры. Каждое решение должно дать один критерий подобия. При этом пять величин z_i могут принять произвольные значения, остальные три определяются из уравнений системы, при условии, чтобы π стало безразмерной величиной. Поэтому для них выбирают наиболее простые значения, но так, чтобы уравнения системы не противоречили друг другу.

Таким образом, решая систему уравнений (3), принимаем:

1. $Z_2 = 1; Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z_8 = Z_9 = Z_{10} = Z_{11} = 0$, тогда: $Z_7 = 0; Z_6 = 0; Z_1 + 1 = 0$, получаем: $Z_7 = 0; Z_6 = 0; Z_1 = -1$. Итак: 1. $Z_2 = 1; Z_7 = 0; Z_6 = 0; Z_1 = -1$.

2. $Z_3 = 1; Z_2 = Z_4 = Z_5 = Z_8 = Z_9 = Z_{10} = Z_{11} = 0$; Отсюда решение: $Z_3 = 1; Z_7 = 0; Z_6 = 0; Z_1 = -1$.

3. $Z_4 = 1; Z_2 = Z_3 = Z_5 = Z_8 = Z_9 = Z_{10} = Z_{11} = 0$; Получаем: $Z_4 = 1; Z_7 = 0; Z_6 = 0; Z_1 = -1$.

4. $Z_5 = 1; Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_8 = Z_9 = Z_{10} = Z_{11} = 0$; Отсюда: $Z_5 = 1; Z_7 = 0; Z_6 = 0; Z_1 = -1$.

5. $Z_8 = 1; Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z_9 = Z_{10} = Z_{11} = 0$; Тогда получаем: $Z_8 = 1; Z_7 = -1; Z_6 = 2; Z_1 = 2$.

6. $Z_9 = 1; Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z_8 = Z_{10} = Z_{11} = 0$; Тогда получаем: $Z_9 = 1; Z_7 = 0; Z_6 = -2; Z_1 = -1$.

7. $Z_{10} = 1; Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z_8 = Z_9 = Z_{11} = 0$; Тогда получаем: $Z_{10} = 1; Z_7 = 0; Z_6 = -1; Z_1 = -3$.

8. $Z_{11} = 1; Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z_8 = Z_9 = Z_{10} = 0$; Тогда получаем: $Z_{11} = 1; Z_7 = -1; Z_6 = 1; Z_1 = -1$.

Таким образом, получены все восемь решений, которым соответствуют восемь критериев подобия:

$$\pi_1 = D_{\text{вых.п}}^{-1} \cdot D_{\text{вх.п}}^{-1} = \frac{D_{\text{вых.п}}}{D_{\text{вх.п}}} = \Gamma_1;$$

$$\pi_2 = H_{\text{к}}^{-1} \cdot D_{\text{вх.п}}^{-1} = \frac{H_{\text{к}}}{D_{\text{вх.п}}} = \Gamma_2; \quad (5)$$

$$\pi_3 = D_{\text{р}}^{-1} \cdot D_{\text{вх.п}}^{-1} = \frac{D_{\text{р}}}{D_{\text{вх.п}}} = \Gamma_3; \quad (6)$$

$$\pi_4 = D_{\text{в}}^{-1} \cdot D_{\text{вх.п}}^{-1} = \frac{D_{\text{в}}}{D_{\text{вх.п}}}; \quad (7)$$

$$\pi_5 = \rho_{\text{ч}}^{-1} \cdot \Delta p^{-1} \cdot \omega^2 \cdot D_{\text{вх.п}}^{-2} = \frac{\rho_{\text{ч}} \cdot \omega^2 \cdot D_{\text{вх.п}}^2}{\Delta p}; \quad (8)$$

где, $E_{\text{м}}$ - модифицированный критерий Эйлера;

$$\pi_6 = g^{-1} \cdot \omega^{-2} \cdot D_{\text{вх.п}}^{-1} = \frac{g}{\omega^2 \cdot D_{\text{вх.п}}}; \quad (9)$$

где, $Fr_{\text{м}}$ – модифицированный критерий Фруда;

$$\pi_7 = Q_{\text{у}}^{-1} \cdot \omega^{-1} \cdot D_{\text{вх.п}}^{-3} = \frac{Q_{\text{у}}}{\omega \cdot D_{\text{вх.п}}^3} = K_{\text{Q}}; \quad (10)$$

$$\pi_8 = G^1 \cdot \Delta p^{-1} \cdot \omega^1 \cdot D_{\text{вх.п}}^{-1} = \frac{G\omega}{\Delta p \cdot D_{\text{вх.п}}} \quad (11)$$

Полученные при решении симплексы π_3 и π_4 объединим в геометрический критерий:

$$\pi_4' = \frac{\pi_3}{\pi_4} = \frac{D_p \cdot D_{\text{вх.п}}}{D_{\text{вх.п}} \cdot D_B} = \frac{D_p}{D_B} = \Gamma_4; \quad (12)$$

Восьмой критерий подобия π_8 принимает вид:

при $\Delta p = \text{const}$

$$\pi_8' = \frac{\pi_8}{\pi_5} = \frac{G \cdot \omega \cdot \Delta p}{\Delta p \cdot D_{\text{вх.п}} \cdot \rho_q \cdot \omega^2 D_{\text{вх.п}}^2} = \frac{G}{\rho_q \cdot \omega \cdot D_{\text{вх.п}}^3}; \quad (13)$$

при $\omega = \text{const}$

$$\pi_8'' = \pi_8 \cdot \pi_7 = \frac{G \cdot \omega \cdot Q_y}{\Delta p \cdot D_{\text{вх.п}} \cdot \omega \cdot D_{\text{вх.п}}^3} = \frac{G \cdot Q_y}{\Delta p \cdot D_{\text{вх.п}}^4}. \quad (14)$$

Общее критериальное уравнение имеет вид

$$F = F \left(\frac{D_{\text{вых.п}}}{D_{\text{вх.п}}}; \frac{H_{\kappa}}{D_{\text{вх.п}}}; \frac{D_p}{D_{\text{вх.п}}}; \frac{D_p}{D_B}; \frac{\rho_q \cdot \omega^2 \cdot D_{\text{вх.п}}^2}{\Delta p}; \frac{g}{\omega^2 \cdot D_{\text{вх.п}}}; \frac{Q_y}{\omega \cdot D_{\text{вх.п}}^3}; \frac{G}{\rho_q \cdot \omega \cdot D_{\text{вх.п}}^3}; \frac{G \cdot Q_y}{\Delta p \cdot D_{\text{вх.п}}^4} \right);$$

На основе полученного критериального уравнения возможно, на результатах экспериментальных исследований получить зависимость между определяемым критерием и определяющими критериями, которые будут характерны для целого класса устройств данного типа.

Из уравнения (15) выделяем два критерия, которые будем определять через другие

критерии - $\frac{G}{\rho_q \cdot \omega \cdot D_{\text{вх.п}}^3}; \frac{G \cdot Q_y}{\Delta p \cdot D_{\text{вх.п}}^4}$

В качестве определяемого параметра выбираем интересующий нас параметр G – производительность питателя. Критерий, выраженный в таком виде, называют критерием производительности и обозначают через K_G . Соответственно, обобщенное уравнение для такого процесса принимает вид:

при $\Delta p = \text{const}$

$$K_G^1 = f(Eu_M, Fr_M, K_Q, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4 \dots) \quad (16)$$

или

$$K_G^1 = A \cdot Eu_M^{a1} \cdot Fr_M^{a2} \cdot K_Q^{a3} \cdot \Gamma_1^{a4} \cdot \Gamma_2^{a5} \cdot \Gamma_3^{a6} \cdot \Gamma_4^{a7}$$

при $\omega = \text{const}$

$$K_G^2 = f(Eu_M, Fr_M, K_Q, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4 \dots) \quad (17)$$

или

$$K_G^2 = A \cdot Eu_M^{a1} \cdot Fr_M^{a2} \cdot K_Q^{a3} \cdot \Gamma_1^{a4} \cdot \Gamma_2^{a5} \cdot \Gamma_3^{a6} \cdot \Gamma_4^{a7}$$

Планируется провести ряд экспериментов на модели для определения коэффициентов A , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , a_6 , a_7 . После чего уравнения (16), (17) могут быть использованы при проектировании шлюзовых питающих устройств.

Список литературы

1. Климов Н. А. и др. - Влияние характеристик приёмно-питающих устройств на параметры пневмотранспортирования / Современные проблемы техники и технологии пищевых производств / Сб. докл. 10ой международной научно- практической конференции: Алтайский гос. техн. университет им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 2007. – с. 249-251.
2. Тарасов В.П. - Влияние типа питающего устройства на устойчивость процесса пневмотранспортирования / Современные проблемы техники и технологии хранения и переработки зерна / Сб. докл. Республиканской научно-практической конференции: Алтайский гос. техн. университет им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2002. – с. 63-66.

ВЕСОВОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА И СЛОЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

Ковалева А.Н. – магистрант гр. 8ТМиО-21, Струков Р.В. – студент гр. МАПП-91,
Тарасов В.П. – зав. кафедрой, к.т.н., профессор, научный руководитель
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Одним из важных условий повышения эффективности работы оборудования и решения экологических задач на пищевых предприятиях является использование в производственных процессах пневматического транспорта. Пневмотранспорт, на сегодняшний день, является прогрессивным способом механизации и автоматизации перемещения насыпных грузов.

Для расчета этих систем и выбора оборудования всегда требуется определение аэродинамической силы взаимодействия воздуха с твердыми частицами системы. Для участка материалопровода диаметром D и длиной L её удельную величину можно определить по выражению:

$$F_a^V = \frac{C \cdot d_s^2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot n}{2D^2L}, \quad (1)$$

где F_a^V – объемная аэродинамическая сила взаимодействия воздуха с твердыми частицами системы, Н/м^3 ; C – коэффициента сопротивления движению воздуха через слой сыпучего материала; d_s – эквивалентный диаметр частицы, м; ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ; v – скорость воздуха, м/с; n – количество частиц на участке материалопровода длиной L , шт.

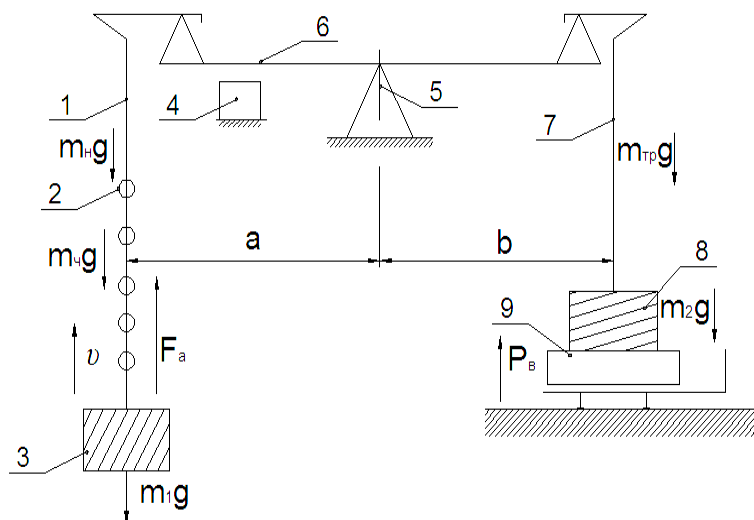
Величину коэффициента C определяют (принимают) из графических, аналитических зависимостей или табличных данных, исходя из режима работы системы и размеров твердых частиц. Такие справочные материалы получены в результате обобщения многочисленных экспериментальных исследований, выполненных в различных лабораториях мира. Попытки аналитического обоснования коэффициента C пока не дали положительных результатов. При этом, при экспериментальном определении, как правило используются 2 метода, описанных, например, в работе Шилкина И.Ю. [1]: 1) нахождение коэффициента исходя из скорости материала или 2) на основе определения перепада давления ΔP , при продувке слоя частиц. Первый из указанных методов отражает решение с точки зрения внешней задачи аэродинамики, т.е. рассмотрение обтекания одиночной частицы потоком газа. Второй метод отражает решение с точки зрения внутренней задачи аэродинамики, т.е. движение газа через слой псевдооживленного материала, поэтому первый из методов можно применить при рассмотрении двухкомпонентных потоков небольшой концентрации, а второй метод для потоков высокой концентрации.

Эти способы определения коэффициента C имеют целый ряд недостатков, и полученными результатами далеко не всегда возможно воспользоваться при решении практических задач. Основные из них:

- коэффициент C определяется косвенно, путем вычитания из общих потерь давления потери давления на движение воздуха. Последние, в свою очередь, рассчитывается используя коэффициент λ , найденный при движении чистого воздуха;
- влияние концентрации материала в аэромеси на коэффициент C учесть сложно.

При пневматическом транспортировании обтекание частиц происходит в более сложных условиях, существенное влияние на силовое взаимодействие фаз оказывает не только скорость воздушного потока и размер частиц, но и меняющаяся в широких пределах их концентрация в потоке.

В связи с этим применение полученных таким образом значений коэффициента C при расчете систем пневмотранспортирования часто приводит к существенным погрешностям. Положение усугубляется тем, что при анализе переходных и неустановившихся режимов важно знать не только величину коэффициента C , но и вид этой зависимости (градиент), а так же знак этого градиента. При этом следует учитывать, что концентрация материала в двухфазном потоке может существенно изменяться от 0 до концентрации материала в свободной насыпи. Причем эти отличия могут быть как одновременно на различных участках материалопровода, так и в одном месте материалопровода в различные периоды работы пневмотранспортных установок.



1 – нить; 2 – частица; 3 – груз - утяжелитель; 4 – ограничитель; 5 – стойка; 6 – рычажный механизм; 7- трос; 8 – груз, стоящий на весах (противовес); 9 - весы

Рисунок 1. Действующие силы

Учитывая вышесказанное, предлагается весовой метод, позволяющий непосредственно измерить силу аэродинамического взаимодействия воздуха F_a с частицами материала при различной его концентрации в трубопроводе. Сущность метода заключается в том, что в трубопровод помещается определенное количество частиц 2 (рисунок 1), связанных тонкой нитью 1. Этот слой продувается воздушным потоком и с помощью весов 9 из условия равновесия (2) определяется аэродинамическая сила F_a .

$$a(m_1g - F_a + m_чg + m_н) = b(P_B + m_2g + m_{тр}g) \quad (2)$$

где a и b – длины плеч рычажного механизма, м; F_a – аэродинамическая сила, Н; m_1 – масса груза – утяжелителя, кг; $m_ч$ – масса частиц, кг; $m_н$ – масса нити, кг; P_B – показание весов, Н; m_2 – масса груза, стоящего на весах (противовеса), кг; $m_{тр}$ – масса троса, кг; g – ускорение свободного падения, m/c^2

Если измерить перепад давления ΔP на измерительном участке длиной L , то можно найти и объемную аэродинамическую силу взаимодействия воздуха со стенками воздухопровода $F_c^V, H/M^3$ по выражению:

$$F_c^V = \Delta P/L - F_a^V, \quad (3)$$

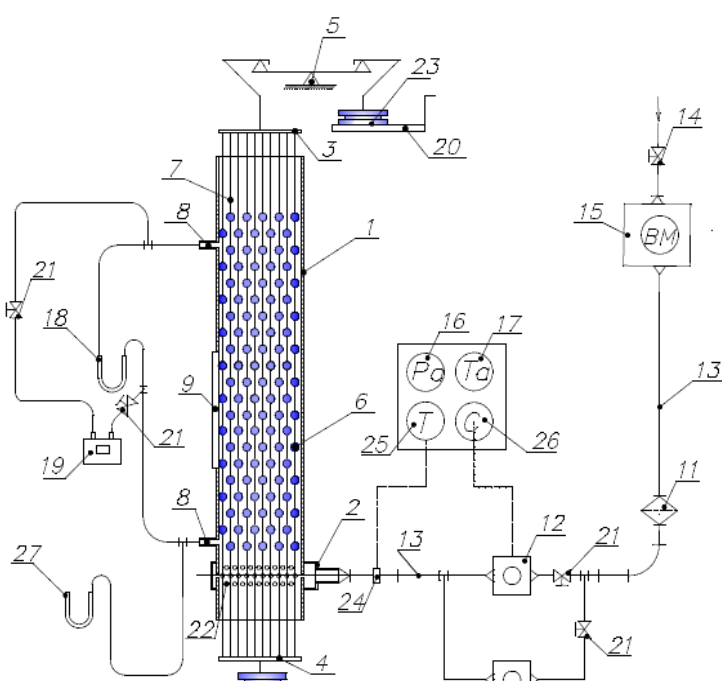
Предполагается, что при проведении опытов частицы неподвижны ($v_m=0$), сопротивлением нитей пренебрегалось, так как их суммарная поверхность составляет 1,09% площади поверхности частиц.

Экспериментальный стенд (рисунок 2) разрабатывался и создавался в лабораторных условиях на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета имени И. И. Ползунова.

Основным элементом стенда является трубопровод 1, внутренним диаметром 50 мм. На измерительном участке которого (между штуцерами 8) моделируются соответствующие условия (помещаются «гирлянды» нитей 7 с частицами 6). Полученный слой продувается воздушным потоком.

В качестве источника гидравлической энергии используется воздуходушная машина 15. На исследуемом участке трубопровода предусмотрена прозрачная вставка 9 из органического стекла, что позволяет вести визуальное наблюдение. С целью уменьшения длины прямого (выравнивающего) участка и обеспечения выравниванности эпюры потока перед слоем сыпучего материала подача воздуха осуществляется через впускной кольцевой канал 2 и отверстия 22 в трубопроводе 1. Выравнивание потока воздуха осуществляется за счет большого количества отверстий в стенке трубопровода на участке кольцевого воздуховода.

Для определения расхода воздуха используется комплект ротационных газовых счетчиков 12 с разными диапазонами измерения.



1 - трубопровод; 2 - впускной кольцевой канал; 3 - диск верхний; 4 - диск нижний; 5 - двухплечий рычаг весового механизма; 6 - шарообразная частица; 7 - нить; 8 - штуцер; 9 - смотровое окно; 10 - нижний груз; 11 - фильтр; 12 - газовый счетчик; 13 - воздуховод; 14, 21 - вентиль; 15 - воздуходушная машина; 16 - барометр; 17 - термометр; 18 - U образный манометр; 19 - микроманометр; 20 - весы; 22 - отверстия; 23 - верхний груз; 24 - датчик температуры; 25 - вторичный прибор температуры; 26 - секундомер; 27 - манометр.

Рисунок 2. Схема экспериментального стенда

Перепад давлений, ΔP на участке между штуцерами 8 измеряется с помощью манометра 18. Для измерения перепада при небольших его значениях применяется микроманометр ДМЦ-01М. Изменение расхода воздуха в установке осуществляется с помощью вентиля 14. Параметры атмосферного воздуха отслеживались с помощью барометра 16 и термометра 17, а температура и давление поступающего в слой воздуха - с помощью приборов 24, 25, 27. В качестве частиц применялись зерна гороха с эквивалентным диаметром 7,01 мм. Объемное содержание частиц в трубопроводе изменялось путем установки различного количества нитей с частицами.

Необходимое взаиморасположение частиц в слое обеспечивается за счет двух дисков 3 и 4 с отверстиями в которые вставляются и фиксируются нити с частицами. В исследовании реализовано четыре варианта расположения частиц в трубе, что соответствует четырем концентрациям материала. Еще два крайних варианта концентрации материала в двухкомпонентном потоке моделировались продувкой неподвижного слоя и условиями витания одиночных частиц.

Для обеспечения структуры потока,

при любом режиме движения газа, нити 7 должны быть в натянутом состоянии. Нижний груз 10 выбирается такой массы, чтобы его вес вместе с весом подвешенных частиц при любом режиме превышал аэродинамическую силу. Масса верхнего груза 23 выбиралась на 5÷10% больше чем суммарная масса частиц 6 и нижнего груза 10, для обеспечения равновесия системы.

После наладки стенда и апробации методики выполнено несколько серий опытов при продувке слоя воздухом со скоростью от 0,5 до 11,5 м/с. Некоторые результаты представлены на рисунке 3.

Полученные результаты свидетельствуют:

- о пригодности предложенного метода для исследования аэродинамического взаимодействия между фазами двухкомпонентного потока и возможности его применения для определения аэродинамических характеристик достаточно крупных частиц ($d_p > 3\text{мм}$);
- характер полученной зависимости подтверждает имеющиеся теоретические положения и экспериментальные данные.

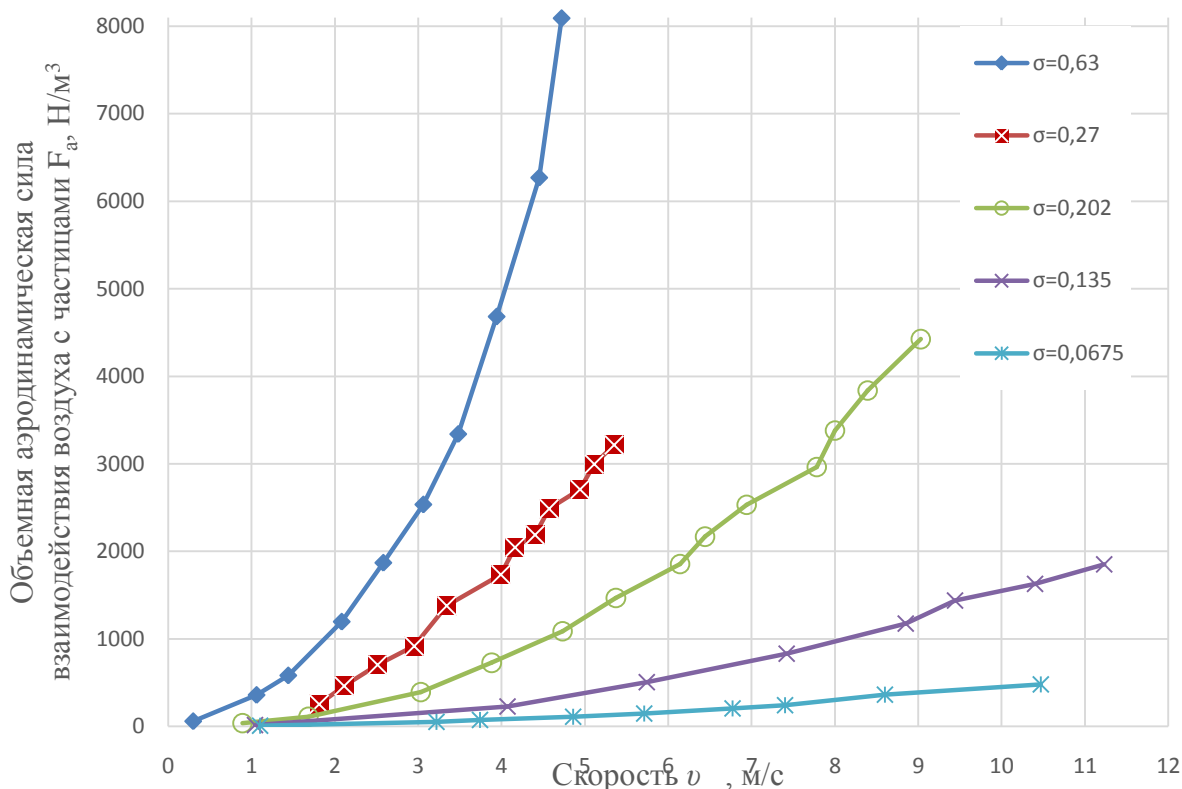


Рисунок 3. График зависимости объемной аэродинамической силы взаимодействия воздуха с частицами $F_{a\sigma}$ от скорости

Список литературы

1. Шилкин, И.Ю. Нагнетательный пневмотранспорт муки потоками высокой концентрации Дисс.канд. техн. наук. / И.Ю.Шилкин – М.,1983 – 207с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЛЕЙ ДАВЛЕНИЙ В ПРЯМОТОЧНОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЭЛЕКТРОЦИКЛОНЕ

Керенский А.А, Савченко М.А. - студенты гр. МАПП-91, Гаркуша Н.Н. - доцент
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Основной проблемой всех без исключения циклонных пылеуловителей является образование вдоль оси вращения интенсивного отрывного течения, способствующего уносу наиболее мелких частиц, что существенно снижает общую эффективность улавливания пыли. Как показал анализ априорной информации, границы этого осевого течения непостоянны и существенно меняются как по радиусу вращения, так и по длине корпуса аппарата. Знание закономерностей локализации данного течения позволит оптимизировать процесс осаждения высокодисперсных частиц в пылеуловителе и снизит себестоимость очистки. В лаборатории аэродинамики кафедры МАПП были проведены НИР, направленная на определение параметров осевого течения и локализацию полей давления в корпусе прямооточного горизонтального электроциклона. Результаты проведенных исследований выявили ряд закономерностей распределения давлений по оси течения и возможности их оптимизации для повышения степени очистки воздуха.

Анализ литературных данных о характере осаждения твердых частиц в центробежном поле циклона позволяет сделать вывод о том, что условия улавливания частиц разных размеров существенно отличаются (рис.1). Поскольку крупные частицы размером 100мкм и более успешно улавливаются циклонами практически всех типов. В то время как частицы размером менее 20мкм слабо подвержены воздействию центробежного поля и благодаря вязкостным свойствам воздуха выносятся радиальным стоком к оси вращающегося потока, где влияние центробежных сил минимально, в результате чего они благополучно выносятся осевым течением снижая эффект пылеулавливания. Указанное явление требует нового подхода к аэродинамике циклонных камер с целью нивелирования влияния области интенсивного отрыва).

Рис.1 - Расчетные динамические характеристики твердых частиц различного диаметра

Диаметр частицы d, м (мкм)	Время релаксации, τ, с	Скорость гравитац. осаждения, V _g , см/с	Центробеж. сила F _{цб} [Н], циклон D=0,5м при V=15м/с	Степень увлечения частиц, β ²
1•10 ⁻⁴ (100)	2,6•10 ⁻²	25	3,0 10 ⁻⁷	1.48 10 ⁻⁷
1•10 ⁻⁵ (10)	3,1•10 ⁻⁴	3,0 10 ⁻¹	3,0 10 ⁻¹⁰	9.77 10 ⁻⁴
1•10 ⁻⁶ (1)	3,6•10 ⁻⁶	3,5 10 ⁻³	3,0 10 ⁻¹³	5.40 10 ⁻¹

Исследования модели проводились на аэродинамическом стенде с использованием современных диагностических средств. Диапазон изменения режима течения находился в пределах чисел Рейнольдса (60-300000). Замеры проводились как в осевом, так и диаметрально направлении, причем в двух вариантах исполнения прямооточной части электроциклона: в виде цилиндра и трубы Вентури (рис.2).

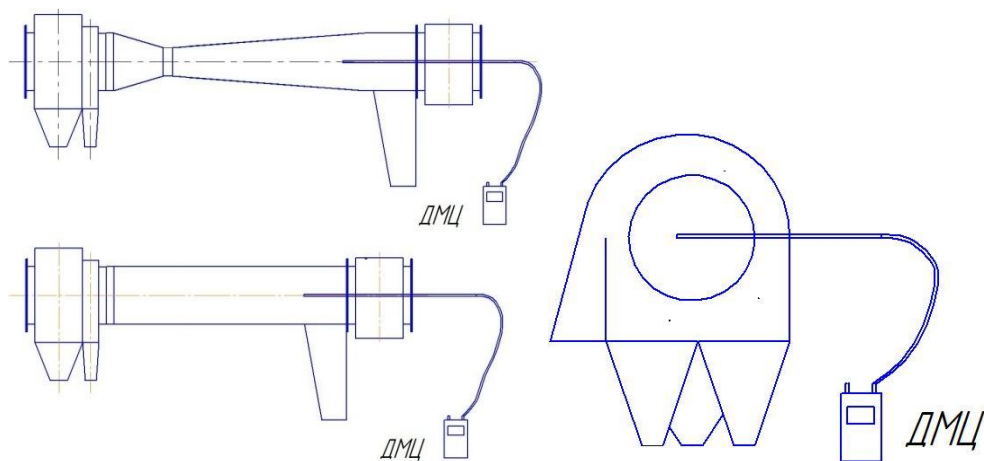


Рис.2 – схемы измерений

Результаты измерений подтвердили сведения о возникновении в прямоточной части циклона интенсивного вихревого ядра, создающего область достаточно высокого разрежения по оси, которое распространяется с небольшим снижением интенсивности по всей длине прямоточной части. Зондирование статического давления в поперечном сечении свидетельствует о том, что разрежение уменьшается по направлению к внутренней стенке прямоточной части, причем градиент давления сохраняется по всей длине. Абсолютные значения разрежения прямоточной части конфузора трубы Вентури в разы превышают аналогичные значения в цилиндрической прямоточной части, что безусловно говорит об увеличении интенсивности вращения потока (рис.3).

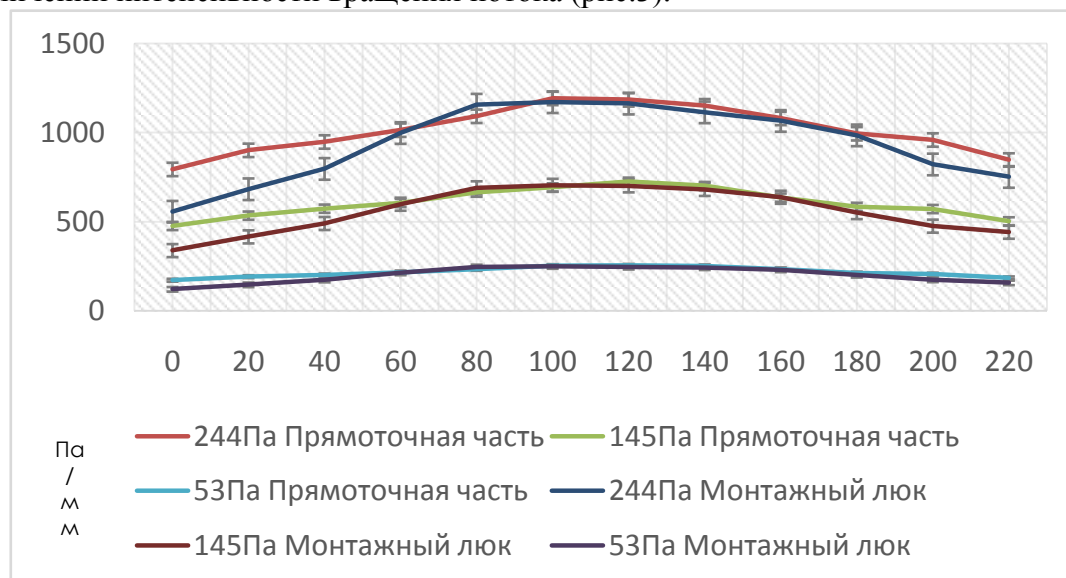


Рис.3 - график изменения статического давления в поперечном сечении прямоточного циклона

Профиль эпюры статического давления по оси прямоточной части сохраняет свою идентичность в всём исследованном диапазоне чисел Рейнольдса, на всем протяжении прямоточной части. Рост абсолютных значений статического давления по оси пропорционален изменению режима течения (рис.4,5).

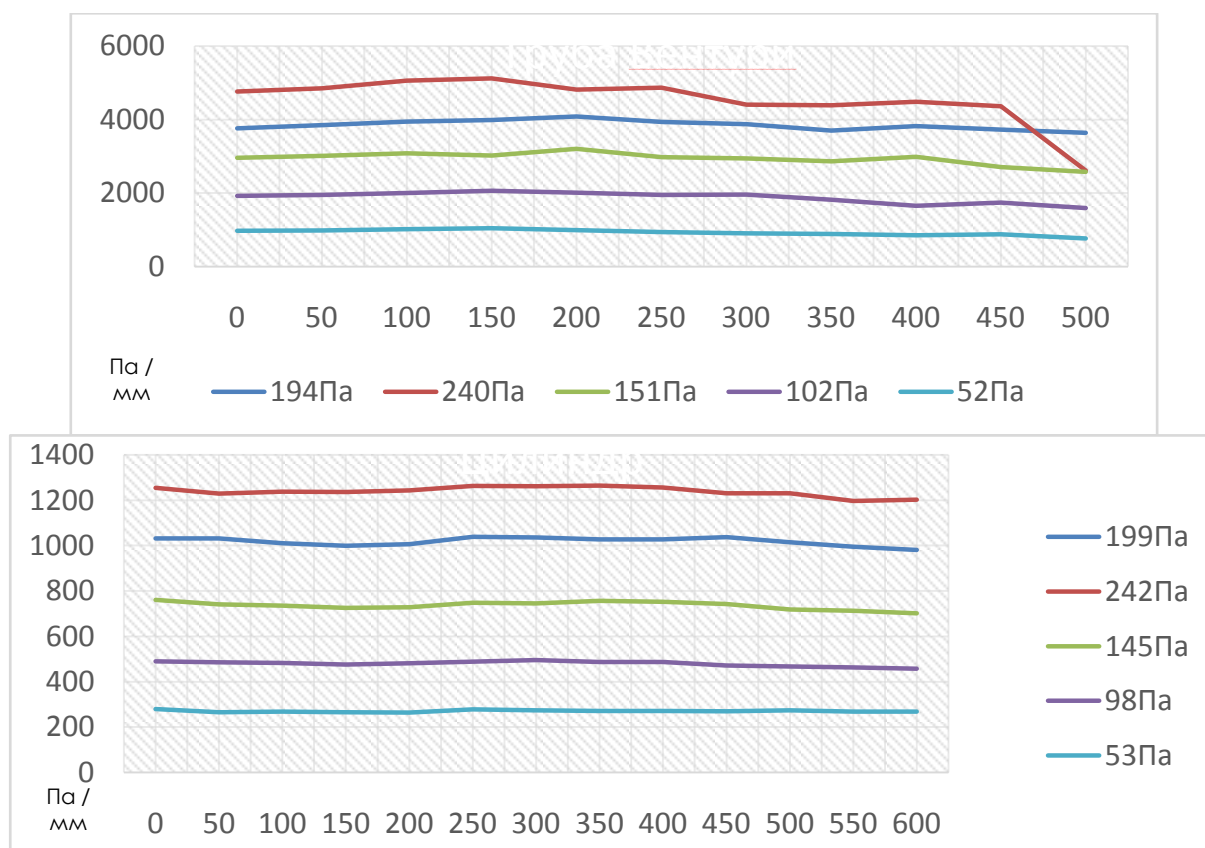


Рис.4,5- графики изменения статического давления в продольном сечении прямого циклона

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что возникающая область высокого разрежения в любых типах циклонов стимулирует интенсификацию радиального стока, выносящего высокодисперсные частицы к оси вращения, что препятствует их улавливанию в центробежном поле.

УВЛАЖНЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ (ПОРОШКОВЫХ) ПИЩЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Черников А.Ю.– студент гр. МАПП-91, Тарасов В.П. – зав. кафедрой, к.т.н., профессор, научный руководитель

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

При производстве многих пищевых продуктов используют измельченные мелкодисперсные (порошковые) материалы – мука и какао, сахарная пудра и сухое молоко, комбикорма и сухие порошковые полуфабрикаты и другие. При этом в процессе переработки они могут подвергаться гидротермической обработке (увлажнению и (или) нагреву). Например при производстве макарон муку увлажняют и тщательно перемешивают. От этих операций во многом зависит качество конечной продукции – макарон. Аналогичные операции осуществляют при производстве многих видов конфет, других кондитерских изделий. Комбикорма на конечной стадии производства также подвергают гидротермической обработке. Это позволяет увеличить срок их хранения (убивается микрофлора), повысить пищевую ценность. Подобные технологии широко используются при производстве других продуктов питания, а также в химической, фармацевтической и других отраслях промышленности, в строительстве.

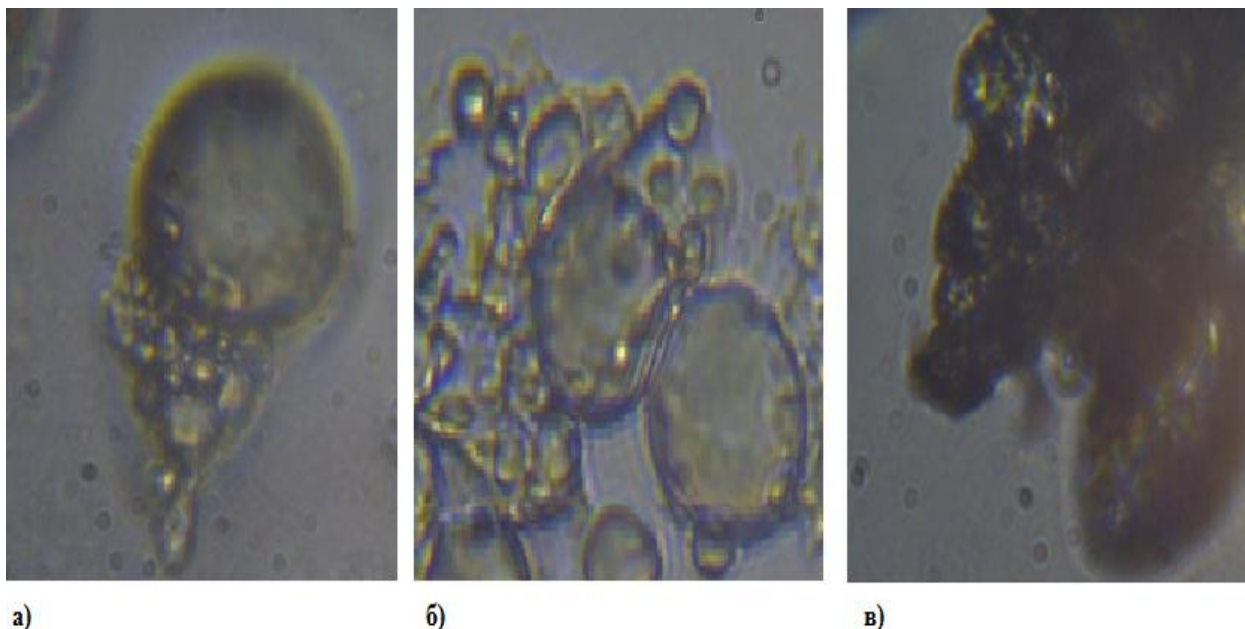
Оборудование предназначенное для реализации вышеназванных операций в своём составе обычно включает генераторы тонкодисперсных частиц воды или пара и смесители.

Это оборудование отличается достаточно высокой стоимостью и во многих случаях имеет большие габариты. Кроме того, оно потребляет большое количество энергии. Особенно большие энергозатраты требуются на смешивание. Чтобы обеспечить высокое качество (равномерность) гидротермической обработки, процесс смешивания необходимо выполнять достаточно продолжительное время. При этом чем крупнее частицы влаги, тем интенсивнее и продолжительнее надо вести смешивание.

Наряду с технологическими операциями на любом пищевом предприятии не обойтись без транспортных операций. Причём на многих производствах их доля оказывается весьма существенной. Транспортные операции кроме капитальных средств, затрат на обслуживание, ремонт потребляют значительное количество энергии, что в конечном итоге сказывается на стоимости выпускаемой продукции.

Анализ вышесказанного позволяет предложить совмещение транспортных операций с гидротермической обработкой. Это обеспечит сокращение производственного цикла, даст возможность высвободить занимаемую теплотехническим оборудованием площадь зданий и сооружений, снизить энергозатраты на межоперационные связи. В качестве транспортной системы предлагается применить пневмотранспорт. Использование пневмотранспорта дополнительно даст возможность повысить качество гидротермической обработки (так как появится возможность на каждую твёрдую частицу продукта воздействовать теплом и водой (обрабатывать её) со всех сторон), частично использовать энергию пара на транспортирование, сократить продолжительность обработки (за счёт интенсификации процесса).

Чтобы оценить возможность и выбрать направления научно-исследовательской и опытно-конструкторской работ, проведены визуальные (под микроскопом) наблюдения за процессом гидротермической обработки. Сравнивались два метода обработки муки: паром и туманом. Некоторые из полученных фотографий приведены на рисунке 1. На рисунке чётко видны частички муки (большого размера), пара и тумана - меньшего размера и более светлые. При этом частички пара (рис.1а) в несколько раз меньше частиц тумана (рис.1б). Сравнения их с эталоном, а именно нитью толщиной 80 мкм, показывают, что частицы пара



имеют размер порядка 5 - 10мкм, а частицы тумана - 15 - 20мкм. Процесс поглощения частицами муки влаги (рис.1в) происходит достаточно быстро (всего несколько секунд).

Рисунок 1 – Взаимодействия частицы муки с частицами влаги

Проведённые опыты позволяют сделать вывод, что с точки зрения обеспечения равномерности увлажнения, возможности более тонкого регулирования процесса

(достижения изменения влажности на небольшие величины) предпочтительнее выглядит способ увлажнения паром (поскольку частицы пара в 2-3 раза меньше частиц тумана). Кроме того обработка паром во многих случаях позволит получить дополнительные положительные эффекты: уничтожение микрофлоры, улучшение вкусовых качеств, уменьшение времени на последующую тепловую обработку (варку). Однако выдвинутая идея требует тщательной проверки. Так можно предположить, что высокая температура пара может оказать влияние на ухудшение качества некоторых продуктов питания. В то же время может оказаться, что одновременно с увлажнением можно получить другие положительные эффекты, например увеличение пищевой ценности конечного продукта.

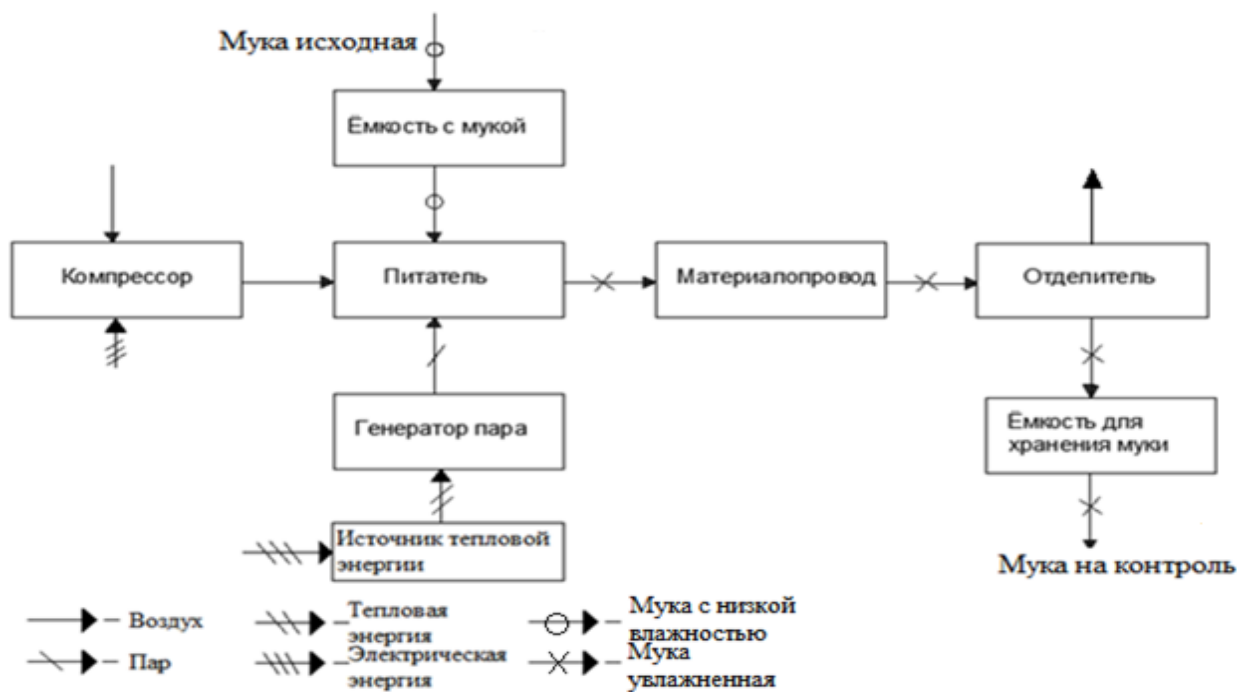


Рисунок 2 - Структурная схема установки по увлажнению муки паром

Опробирование предложенной идеи осуществлено на установке, схема которой представлена на рисунке 2. Опыты по гидротермической обработке в двухкомпонентном потоке в условиях пневмотранспортирования проводились при транспортировании муки на расстояние около 5 метров с обработкой (добавлением в сжатый воздух) её паром. Время транспортирования составило около 2-3 секунд. Изменение влажности достигло 1÷2% при расходе пара около 30% от производительности воздуходувной машины.

Проведённые эксперименты показали принципиальную возможность реализации выдвинутой идеи и необходимость продолжения начатой работы. Предстоит определить и проверить не только работоспособность отдельных узлов предлагаемой пневмоувлажняющей системы, эффективность их функционирования, но и наиболее рациональные режимы работы системы (как с точки зрения процесса гидротермической обработки, так и с точки зрения рационального осуществления пневмотранспортирования).