

## СТЕНД ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕШИВАНИЯ И ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ПНЕВМОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

Босенко Е. А. - студент группы 8ТМиО-51, Тарасов В. П. – к.т.н., проф. каф. МАПП  
Алтайский государственный технический университет им И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Многие пищевые продукты, корма для (животных, птиц, рыб, биологически активные добавки, медицинские препараты) представляют из себя смеси. При этом качество продукта, его потребительские свойства во многом зависят от равномерности распределения отдельных компонентов в смеси. Больше того, отклонение содержания отдельных компонентов может привести не только к потере качества, но и к отравлению и даже смерти человека, животного, птицы, рыбы. Кроме того, некоторые конечные продукты (смеси) подвергаются термической обработке, что позволяет увеличить их питательную ценность, срок хранения, убить микрофлору. На осуществление операций смешивания, особенно сыпучих и вязкопластичных материалов, а также термообработки требуется значительные затраты энергии. Чаще всего на практике используются механические смесители, а термообработку осуществляют в отдельных аппаратах путем нагрева паром или горячим воздухом. Однако, на такое решение требуются не только значительные энергозатраты. Аппаратурное оформление реализации этих процессов – дорогостоящее, требуются достаточно большие производственные площади, а для обслуживания – квалифицированный персонал.

Возможность совмещения пневмотранспортирования с другими технологическими процессами (в частности со смешиванием и сушкой сыпучих материалов) известно по многим источникам, в частности из [1,2,3]. Это позволяет экономить энергетические ресурсы, производственные площади, сокращать количество используемого оборудования и, в конечном итоге, - снижать себестоимость выпускаемой продукции.

Однако, пневматический способ смешивания используется редко. Считается, что в материалопроводе при транспортировании сыпучих смесей, например комбикормов, происходит их расслаивание. Поэтому при проектировании технологических линий и производств, в частности в [4], не рекомендуется использовать пневматические способы транспортирования сыпучих материалов. Однако убедительных доказательств этого не приводится. Анализ сил, действующих на различные по своим формам и плотности частицы в вертикальном материалопроводе, не позволяет также утверждать это. Кроме того, в настоящее время предложены такие способы пневмотранспортирования, которые, можно предположить, будут способствовать перемешиванию, например, импульсный пневмотранспорт, ультразвуковая активация и др..

Можно также предположить, что основной эффект расслоения имеет место в отделителе - осадочной камере (бункере), центробежном или другом. Именно здесь возникают условия (наличие локальных потоков, появление дополнительных значащих сил и др.) способствующие расслоению смесей.

Термообработку также крайне редко сочетают с пневматическим транспортированием, так как при этом требуется изолировать трубопровод или смириться с большими потерями тепловой энергии. Решение этих проблем, благодаря современным достижениям науки и техники, видится также вполне обоснованным и перспективным.

Для экспериментальной проверки идеи совмещения транспортирования с термообработкой и смешиванием на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова разрабатывается стенд. Стенд представляет из себя пневмотранспортную установку, оснащенную парогенератором, пневмопульсатором и приборами контроля и регулирования основных параметров: расхода транспортируемого материала и воздуха, давления, температуры, потребляемой основным оборудованием энергии. Отбор проб для определения степени равномерности смешивания предполагается осуществлять в трех местах: пробоотборником непосредственно в материалопроводе; сразу после отделителя и из бункера. Это позволит определить влияние

отдельного оборудования пневмотранспортной установки на расслоение и предложить мероприятия, позволяющие минимизировать это влияние.

В качестве основного компонента предлагается использовать продукты размола зерна, которые часто входят в состав пищевых и кормовых смесей и которыми можно легко варьировать (изменять) дисперсный состав смеси в достаточно широких пределах.

Другим (ключевым) компонентом будет служить металломагнитный порошок, размеры частиц которого соизмеримы с размерами частиц основного компонента. Это позволит с одной стороны легко и с высокой точностью контролировать содержание ключевого компонента в различном оборудовании пневмотранспортной установки, а с другой стороны обеспечить приемлемое соответствие экспериментальной смеси реальным условиям.

Нагрев смеси предполагается осуществлять паром. Для этого в комплекте пневмотранспортной установки предусматривается использование парогенератора и устройств для регулирования его параметров (давления, количества температуры).

Применение устройств, позволяющих изменять основную характеристику воздуходувной машины, использование в комплекте пневмопульсатора, парогенератора, регуляторов подачи воздуха и материалов, дает возможность моделировать различные режимы движения аэросмеси и определить их влияние, как на режимы пневмотранспортирования, так на параметры процессов смешивания и термообработки. Это, в конечном итоге позволит оценить конечные результаты – равномерность полученной смеси, степень и равномерность нагрева компонентов, а также энергетические показатели, происходящих процессов.

В планируемых экспериментах предполагается:

- установить наличие эффекта расслоения (или его отсутствие) при пневматическом транспортировании смесей и влияние на него различных факторов (режимов движения аэросмесей, различных видов оборудования, времени пребывания смеси в материалопроводе, массового расхода сыпучего материала и др.);

- оценить влияние времени пребывания смеси в материалопроводе на изменение ее температуры;

- определить возможность совмещения смешивания и термообработки с процессом пневмотранспортирования, оценить экономическую эффективность этого;

- обозначить влияющие на процессы пневмотранспортирования, смешивания и термообработки факторы и границы их варьирования.

Оценку эффекта расслоения и равномерности смешивания предполагается проводить методом отбора проб, определением в них содержания ключевого компонента и последующего расчета коэффициента отражающего степень неоднородности смеси по выражению

$$\lambda = 1 - \sigma / V_{\text{ср}},$$

где  $\sigma$  - среднеквадратичное отклонение содержания ключевого компонента в смеси;  $V_{\text{ср}}$  - среднее арифметическое (рецептное) содержания ключевого компонента в смеси.

Таким образом, предложенный стенд позволит провести экспериментальные исследования по совместному осуществлению процессов пневмотранспортирования, смешивания и термообработки, выявить значащие факторы, влияющие на их эффективность, определить рациональные режимы и, в конечном итоге, проверить перспективность идеи осуществления смешивания и термообработки сыпучих материалов в процессе пневмотранспортирования.

Список литературы:

- 1 Голобурдин А.И., Донат Е.В. Пневмотранспорт в резиновой промышленности. - М.: Химия, 1983.- 160с.

2. Зуев Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 1976.-344с.

3. Клячко Л.С., Одельский Э.Х., Хрусталеv В.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов.-Мн.: Наука и техника, 1983.-216с.

4. НПТК АПКЗ 1.10.16.002 – 03. Нормы технологического проектирования сельскохозяйственных предприятий по производству комбикормов. - М.: - 2003.

## АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ - КОРОБОК С МОРОЖЕННЫМ НА ООО АЛТАЙХОЛОД.

Ильин А.С. - студент группы ТМиО-22, Тарасов В. П. – к.т.н., проф. каф.МАПП  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

На ООО Алтайхолод в цехе по изготовлению мороженого после его расфасовки и заморозки, формируются мелкие партии в виде коробок, в которые упакованы отдельные порции. Коробки с мороженым направляются ленточным конвейером на склад готовой продукции. При этом, на этапе упаковки коробки и подачи ее на ленточный конвейер используется ручной труд. А именно: после упаковки рабочий принимает коробку с готовой продукцией и несет ее до подъемника, расстояние до которого составляет около 4 м. Затем он кладет коробку на подъемник, нажимает кнопку включения привода, а подъемник поднимает коробку на высоту около 3 м, после чего толкатель выдвигает ее на ленточный конвейер, который перемещает коробку с готовой продукцией на склад. Рабочий возвращается к упаковочному столу и упаковывает другую коробку. Все эти операции занимают 30-40 секунд. Таким образом, весь этот процесс, который прорабатывает рабочий, занимает слишком много времени. В итоге это приводит к снижению производительности линии и повышению себестоимости выпускаемой продукции.

Для того, чтобы устранить эту проблему и ускорить процесс перемещения готовой продукции, сократить использование ручного труда рассматривалось несколько вариантов: применение ленточного конвейера, подвесного конвейера, пневмоконтейнерного транспорта.

Варианты применения механических видов транспорта не приемлемы главным образом из-за стесненности условий цеха (рабочее пространство цеха до предела насыщено технологическим и транспортным оборудованием).

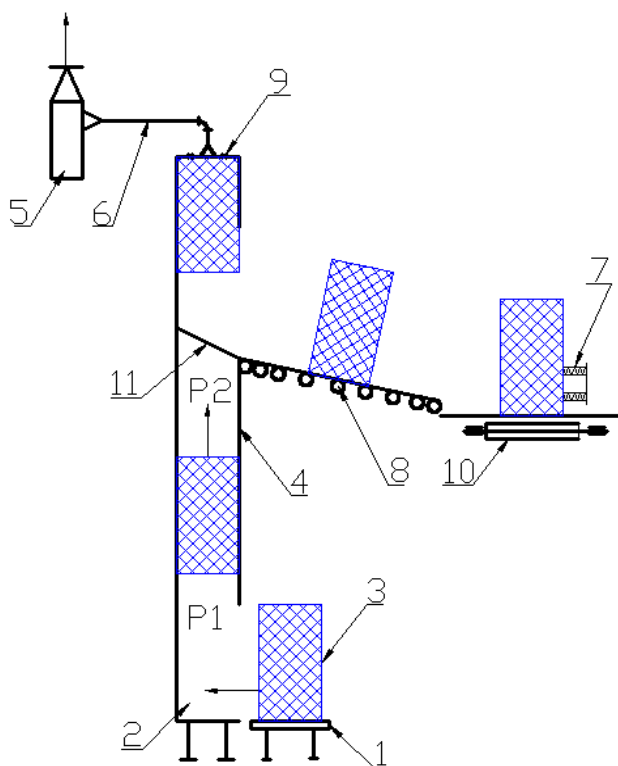
Более перспективным видится использование пневмотранспорта. Пневматический способ транспортировки коробок наряду с решением основной проблемы,- повышение производительности труда и исключение ручного труда, позволит:

- вписаться (вследствие компактности оборудования и возможности размещения воздуходувной машины на достаточно большом расстоянии) в условиях стесненности цеха;
- исключить наличие открытых движущихся частей конвейера и обеспечить безопасность труда, обслуживающего персонала;
- обеспечить должные санитарные условия;
- исключить повреждение такого «нежного» продукта как мороженое;
- повысить культуру производства.

Основной проблемой, которую предстоит решить при проектировании пневмотранспорта, является разработка устройства для изменения направления движения коробки. Дело в том, что при небольших зазорах между коробкой и трубопроводом, что диктуется энергозатратами на транспортирование, требуются отводы большого радиуса закругления, а это в условиях стесненности является крайне нежелательным. Поэтому для решения этой проблемы рассматриваются 2 варианта. Вариант 1 - вертикальный пневмоподъемник с наклонным рольгангом. Вариант 2 - пневмотранспортер с малогабаритным поворотным устройством.

Транспортная система по варианту 1, рис.1 - это комбинация пневмоподъемника и рольганга. Рабочий, после упаковки коробки с мороженым 3, подает ее в загрузочное устройство 2, включает привод воздуходувной машины 5. Коробка под действием разности давлений  $P_1$ -  $P_2$  по трубопроводу 4 транспортируется на необходимую высоту, где с помощью тормозного устройства 9 изменяется скорость и направление ее движения на противоположное. Переключатель 11 направляет коробку на рольганг 8, по которому она движется до ленточного конвейера 10. Использование рольганга исключает проблему применения поворотного устройства для изменения направления транспортирования. Однако, такое решение приемлемо не для всех линий.

Имеются технологические линии, где из-за стесненности цеха невозможно разместить рольганг. Кроме того, в этом варианте на транспортной операции будут задействованы две различные машины, что увеличивает их общую стоимость, усложняет эксплуатацию (т.к. рольганг будет располагаться в труднодоступном месте) и не исключает нарушение режима движения при изменении направления движения коробок.

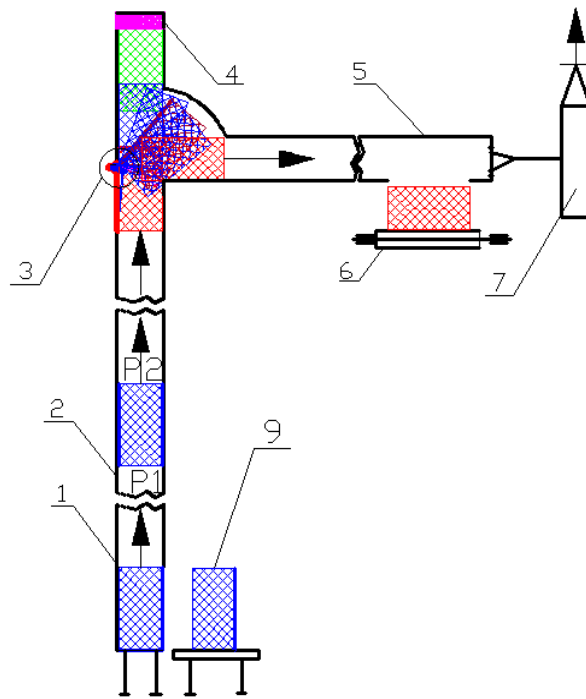


1 - упаковочный стол; 2- загрузочное устройство; 3- контейнер; 4- трубопровод (пневмоподъемник); 5- воздуходувная машина; 6- воздухопровод; 7-ограничитель; 8- рольганг; 9- тормозное устройство; 10- ленточный конвейер; 11- переключатель.

Рисунок 1- Схема пневмоподъемника с наклонным рольгангом

По варианту 2 предполагается использовать пневмоконтейнерный транспортер, рис.2. В этом случае коробка с мороженым с упаковочного стола 9 транспортируется воздушным потоком по трубопроводу 2 сразу к месту разгрузки 5, расположенного над ленточным конвейером 6. Применение такой системы транспорта потребует разработки поворотного устройства с небольшими габаритными размерами, поскольку применение типовых поворотных устройств в виде отводов с большими радиусами закругления не представляется возможным из-за высокой насыщенности цеха оборудованием. Можно предположить, что основным недостатком этого варианта будет проблематичность осуществления поворота в горизонтальной плоскости.

С энергетической точки зрения вариант применения пневматического транспорта, хотя и является более затратным, но вполне приемлемым. Предварительные расчеты показали, что для транспортирования коробок массой 5 кг на расстояние 10 м потребуются применение воздуходувной машины с приводом не более 3кВт.



1- контейнер; 2- трубопровод; 3 поворотное устройство; 4- тормозное устройство; 5- разгрузочный участок; 6- ленточный конвейер; 7- воздуходувная машина; 9- упаковочный стол.

Рисунок 2 – Схема пневмоконтейнерного транспортера

## АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ФАРША НА ЛИНИИ ПЕЛЬМЕНЕЙ ООО «АЛТАЙХОЛОД»

Алексеев Ю.А. - студент группы 9МАПП-01

Тарасов В.П. - к.т.н., проф. каф. МАПП

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

В производственных цехах ООО «Алтайхолод» на различных линиях производства применяются разнообразные механические виды транспортирования, а для транспортирования фарша к пельменным автоматам используется физический труд. Грузные сырьем тележки доставляются рабочими к бункерам, где идет последующая разгрузка. Проблема осложняется тем, что рабочее пространство цеха насыщено технологическим и транспортным оборудованием, а фарш нужно еще поднимать на определенную высоту в приемную емкость машины для изготовления пельменей. Кроме того, такое решение транспортной проблемы приводит к ухудшению санитарных условий, поскольку перевозка осуществляется в открытых тележках, поэтому пищевые продукты контактируют с окружающей средой и обслуживающим персоналом. Следует также принимать во внимание достаточно необычные (сложные, тяжелые) для транспортных машин свойства перемещаемого материала - фарша.

Анализ современных транспортных средств позволил установить, что для транспортировки фарша и используются гибкие шнеки, ленточные транспортеры и другие механические устройства.

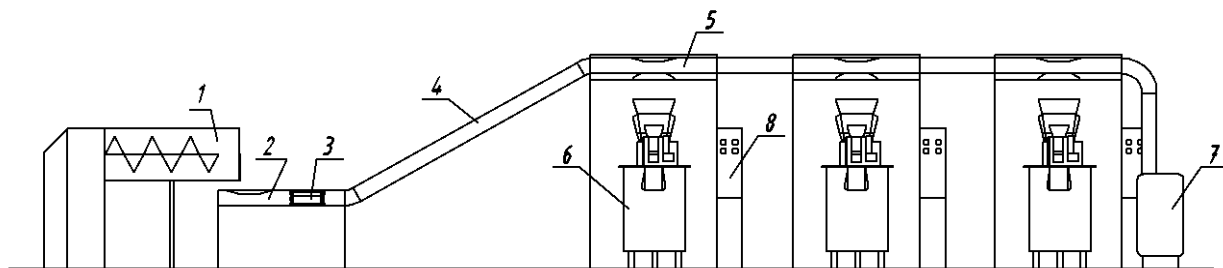
Основными недостатками перечисленных транспортных средств является: необходимость санитарной обработки до и после окончания транспортных операций; значительные габариты; потери материала в механических узлах и устройствах загрузки-выгрузки. Наиболее выгодно в этом ряду выглядит использование безосевого спирального конвейера, который в последнее время находит широкое применение для транспортирования различных пищевых материалов благодаря небольшим габаритам и гибкости транспортной линии (возможности изменять направление

транспортирования до 360°). Однако использование этого устройства для транспортирования фарша также проблематично из-за возможности накопления транспортируемого материала на внутренних поверхностях (трубе и спирали). Очистка этих узлов от фарша и теста представляет труднореализуемую задачу.

Литературный анализ и патентный поиск позволили рассмотреть вариант применения пневмоконтейнерного транспорта для подачи фарша от фаршеприготовительной машины к пельменному автомату. Пневмоконтейнерный транспортер успешно используется для перемещения песка, бытового мусора, горной породы, других материалов, а также как пневмопочта.

На рисунке 1 приведена схема предлагаемой системы пневмоконтейнерной доставки фарша к пельменным автоматам.

Оператор с помощью автоматизированной системы управления задает определенное место разгрузки (один из пельменных автоматов). Фарш, приготовленный в фаршеприготовительной машине 1, загружается на загрузочной станции 2 в контейнер 3, который сжатым воздухом транспортируется по материалопроводу 4 к разгрузочной станции 5 одного из пельменных автоматов 6. После разгрузки фарша воздуходувная машина 7 автоматически подсоединяется к материалопроводу всасывающим патрубком и контейнер реверсом (назад по той же трассе) возвращается к месту загрузки. После очередной загрузки контейнера фарш доставляется к другому пельменному автомату. Поскольку время переработки пельменным автоматом доставленной порции фарша будет составлять достаточно продолжительное время (20 – 25 минут), а время транспортирования порций до одного



*1 - фаршемес; 2 – загрузочная станция; 3 - контейнер; 4 - материалопровод; 5 – разгрузочная станция; 6 - пельменный аппарат; 7 - воздуходувная машина; 8 - переключающее устройство*

Рисунок 1 – Схема предлагаемой системы пневмоконтейнерной доставки фарша

автомата (включая время загрузки, выгрузки и обратного движения контейнера) не будет превышать 1-2 минуты, то предполагается, что в транспортере одновременно будет находиться один контейнер. Следовательно, обратной ветки материалопровода (закольцовывания трассы) не потребуются, поскольку можно будет использовать реверсное движение.

Наиболее сложным, ввиду особенных физико-механических, санитарно-гигиенических и других свойств фарша представляются операции загрузки и разгрузки контейнера. Для решения этой проблемы предполагается разработать специальный контейнер. Основными особенностями контейнера для транспортирования фарша будут являться:

- максимально большие окна для загрузки и выгрузки фарша ;
- герметичные крышки на загрузочные и разгрузочные окна;
- крепление опор качения на торцы крышки (также с целью увеличения размеров загрузочного и разгрузочного окон);
- использование адгезионных материалов для покрытия внутренней поверхности контейнера.

Рассматриваются также варианты:

- поворота контейнера на разгрузочной станции на 180°; в этом случае будет достаточно одного окна, которое будет служить как для загрузки, так и для разгрузки контейнера;
- разгрузки фарша через торцевую крышку с поворотом контейнера на 90° и использования сжатого воздуха для продувки с целью ускорения процесса опорожнения контейнера.

Для исключения времени, необходимого на санитарную обработку, из общего цикла работы, предполагается в системе использовать два контейнера, один из которых будет задействован в транспортных операциях, а другой находиться на санитарной обработке.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ТКАНЕВЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Гладков Д.Е. - Студент гр. ТМиО-1, Терехова О.Н. – к.т.н., доц. каф. МАПП  
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Работа различного оборудования на предприятиях практически всех отраслей промышленности сопровождается выделением большого количества пыли, волокон и прочих механических примесей. Сокращение содержания этих примесей до предельно допустимых норм, устанавливаемых санитарными службами - главная задача систем аспирации и вентиляции.

Аспирация – эффект «засасывания», возникающий из-за создания пониженного давления; Очень важно использовать современные высокотехнологичные системы аспирации, заканчивающиеся фильтрующим оборудованием, не допускающим попадания загрязняющих веществ в атмосферу, для предотвращения распространения вредностей от источника и их появления в воздухе рабочей зоны.

Большинство современных аспирационных сетей очень громоздки, сложны и протяженны, а для регенерации фильтрующих элементов используется сжатый воздух, что обуславливает высокий уровень капитальных и эксплуатационных затрат. Снижением затрат является современное решение проблемы - локальные фильтры.

Благодаря компактным размерам и модульной конструкции они могут устанавливаться в непосредственной близости от источника образования пыли и возвращать уловленную пыль в технологический процесс. Для создания необходимого разрежения, фильтры комплектуются собственным вентилятором или подключаются к внешней вытяжке.

По сравнению с централизованной аспирацией, локальные фильтры обладают следующими преимуществами:

- возврат уловленной пыли (продукта) в технологический процесс;
- отсутствие или снижение количества воздухопроводов;
- отсутствие потерь давления в воздухопроводах;
- эффективная фильтрация и очистка фильтрующих элементов;
- простой монтаж и обслуживание;
- компактные размеры.

На сегодняшний день ввиду малых материальных затрат применение точечных фильтров становится актуальной темой для промышленных предприятий пищевой промышленности, т.к. помимо улучшения условий труда на рабочих местах предприятие возвращает уловленный продукт (как правило товарный).

Но в настоящий момент диапазон применения локальных фильтров ограничен транспортным и другим вспомогательным оборудованием. Наша идея заключается в использовании подобного рода фильтров на технологическом оборудовании. К тому же путем модернизации мы попытаемся снизить затраты переходом на механическую регенерацию фильтров от привода этой машины.

Первостепенная цель проектирования нового и модернизации старого оборудования - увеличение экономического эффекта.

Экономический эффект в большей степени определяется величиной полезной отдачи машины и суммой эксплуатационных расходов за весь период работы машины. При этом стоимость

машины является одним не всегда главным а иногда и очень незначительной составляющей этой суммы.

Главными факторами, определяющими экономичность машины являются величина полезной отдачи машины, долговечность, надежность, расходы на оплату труда операторов, потребление электроэнергии и стоимость ремонтов.

Был проведен обширный литературный анализ способов пылеулавливания, основных конструкций аспирационного оборудования и схем аспирационных сетей, с целью поиска информации для оптимизации процесса. На основании этого предложена конструкция будущей модернизации рассмотренная на примере конкретного технологического оборудования - ситовечной машины А1-БСО. Т.к. на данном этапе у этой конструкции есть плюсы и минусы, связанные с недоработками самой идеи, для проверки всех основополагающих гипотез было решено провести разработку и конструирование экспериментального стенда для исследования работы рукавных фильтрующих элементов с разными методами регенерации. Что и является основной целью этой работы.

Для решения поставленной цели она разбивается на уже более четко поставленные задачи, а именно:

- расчет стенда: аэродинамический, технологический;
- разработка конструкции экспериментального стенда;
- подбор контрольно измерительной аппаратуры и обоснование этого выбора, на основании диапазона измерения, точности, условий эксплуатации и т.д.;
- математическое моделирование основного процесса - процесса механической регенерации, теоретическое доказательство гипотезы о возможности такой регенерации при заданных кинематических параметров и рассмотрение её эффективности от этих параметров;
- составление методики проведения экспериментов на проектируемом стенде, а также описание дополнительных компетенций и навыков, которые студенты смогут приобрести проводя практические занятия со стендом в дальнейшем;
- составление списка рекомендуемых материалов для исследования на стенде, с обоснованием выбора;
- теоретический расчет энергоемкости установки и сравнение его с уже существующими конструкциями фильтрующего оборудования;
- написание выводов и рекомендаций по каждой из глав, а также общего вывода по проведенной работе.

Рассмотрим 2 схемы аспирации ситовечной машины:

1 - стандартная, широко используемая схема аспирации; (рис 1)

2 - схема, с интегрированными фильтрующими элементами в тело машины (рис 2);



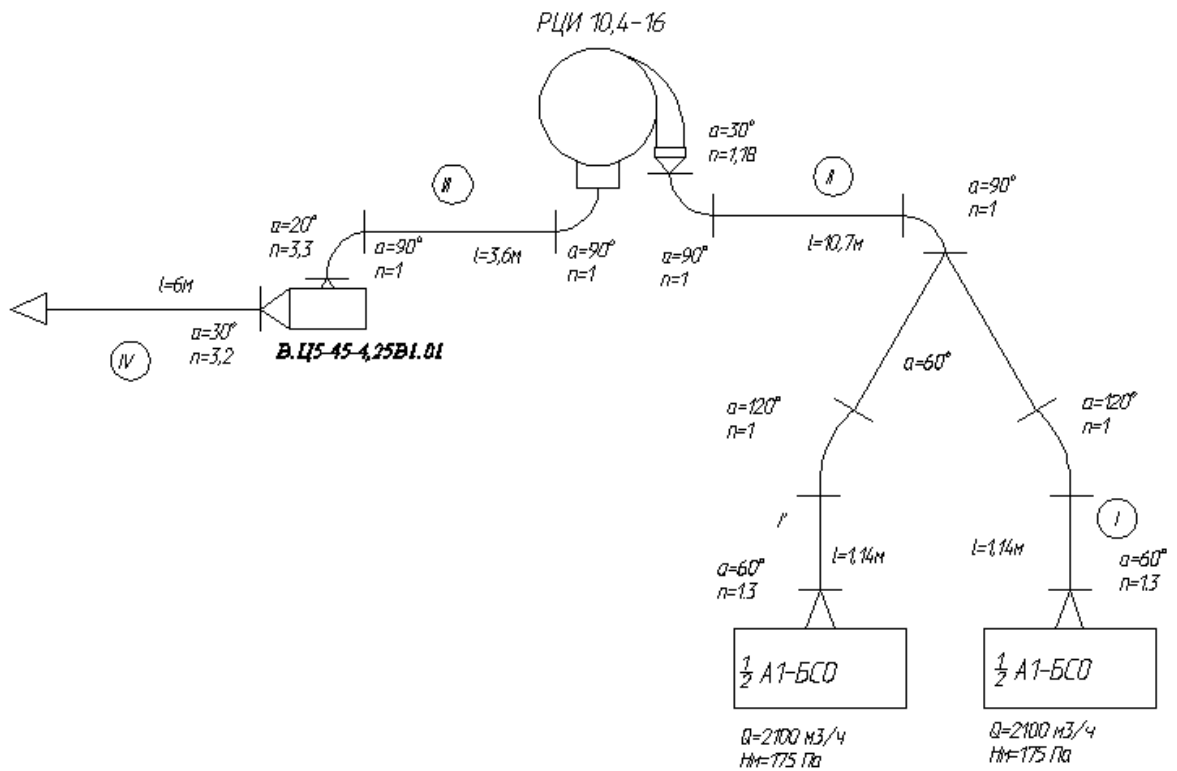


Рисунок 1. - Расчетно-плоскостная схема аспирации А1-БСО, применяемая в настоящее время

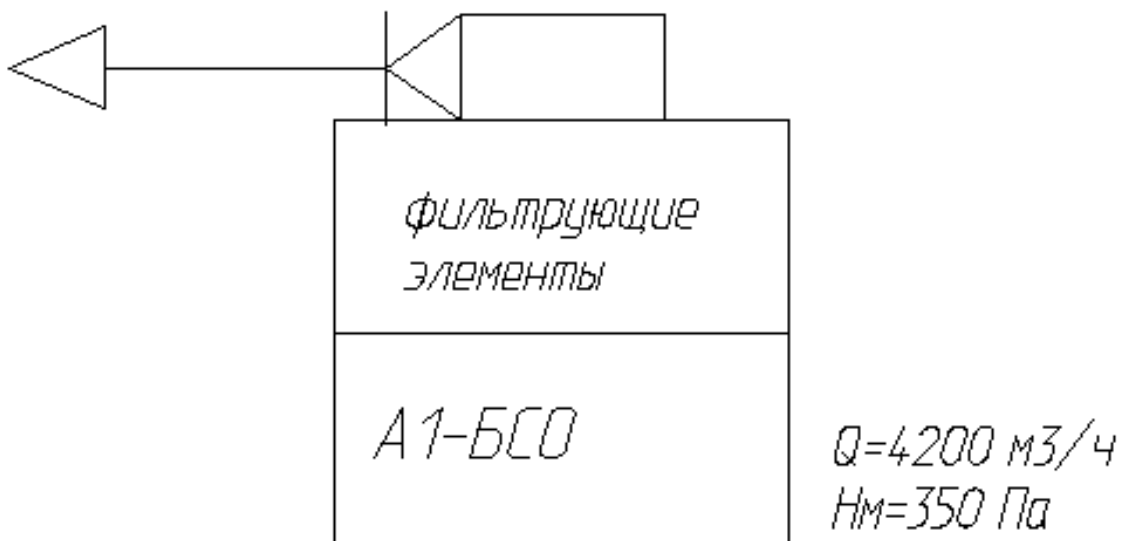


Рисунок 2. - Расчетно-плоскостная схема аспирации А1-БСО, с интегрированными фильтрующими элементами

По представленным выше схемам проведем аэродинамический расчет, и рассмотрим получившиеся величины:

На основании расчетов прослеживается, что интегрирование фильтрующих элементов в тело машины способствует уменьшению подсосов воздуха и уменьшению суммарных потерь давления системы. Это характеризует данную схему аспирации менее энергозатратной (учитываются затраты на создание необходимого разрежения), и следовательно требующую более слабого т.е. более дешевого вентилятора;

Так же следует учитывать тот фактор, что такая схема более компактна и не требует больших площадей для монтажа, не требует капитальных затрат на установку аспирационных труб и др. вспомогательного оборудования, исключает эксплуатационные затраты для этого оборудования.

Встряхивание является одним из старейших методов регенерации, получившем широкое распространение на ранней стадии развития фильтровальной техники, в частности рукавных фильтров. За этап встряхивания обеспечиваются знакопеременные ускорения фильтровального материала, вызывающие деформацию и сдвиг пылевого слоя.

Из режимов регенерации наиболее эффективны начальные колебания, дальнейшее встряхивание почти не приводит к снижению гидравлического сопротивления фильтровальной поверхности. Экспериментально установлено, что при встряхивании 65% удаляемой пыли выпадает в первые 5 с., а в последующие 30с. еще 3% пыли.

Преимущества рукавных фильтров с вибровстряхиванием:

- простота в эксплуатации и обслуживании, для регенерации необходимо только напряжение для питания вибратора (низкие эксплуатационные затраты).

Недостатки рукавных фильтров с вибровстряхиванием:

- поверхностная регенерация фильтровальных рукавов со слабой очисткой пор фильтровального материала:

- невозможность использования в взрывоопасных средах. Вибрация стальной плиты на стальных опорах может привести к возникновению искры.

(решается применением неискрящих материалов: пластик, алюминий)

- недостаточный срок службы ткани, из-за повышенного износа (можно решить применением современных фильтровальных материалов)

Для лабораторных исследований процессов фильтрации и регенерации механическим способом рукавных фильтрующих элементов был разработан экспериментальный стенд исследования рукавных фильтрующих элементов. Основной целью создания стенда является экспериментальное подтверждение возможности регенерации фильтрующих элементов с заданными кинематическими параметрами от ситовечной машины, а также оценка качества очистки воздуха от пыли и регенерации фильтрующих элементов из разных материалов. Дополнительные цели: расширение спектра проводимых студентами лабораторных исследований и повышение их итоговых компетенций в вопросе знания свойств фильтрующих элементов, методов их подбора, эффективности пылеочистки и значимости своевременной и качественной регенерации фильтров.

Предусмотрено оснащение стенда множеством современных высокоточных электронных датчиков, предназначенных для всецелого изучения протекающего процесса, а также призванных помогать студентам в освоении основного материала и наглядно демонстрирует пример промышленного автоматизированного процесса.

В процессе экспериментальных исследований будет изучено взаимное влияние следующих параметров: запыленность газа до и после процесса фильтрации; перепад давлений на фильтрующей перегородке; расход воздуха, проходящего через фильтр; кинематические параметры привода; количество пылеобразующего продукта, поступающего в установку; кинематические параметры вибропитателя и т.д.

Стенд, схема которого представлена на рисунке 3, состоит из приемно-питающего бункера, вибропитателя, аспирационной колонки, выпускного бункера, воздуходувной машины, средств контроля и управления, сварной рамы.

Приемно-питающий бункер 20 предназначен для оперативного хранения необходимого для исследования количества продуктов размолла зерна, и по мере необходимости подачи его для исследования.

Вибропитатель 19 предназначен для более точного дозирования продукта и подачи его с определенными кинематическими параметрами в аспирационную колонку.

Аспирационная колонка в свою очередь состоит из 3 основных частей: камера пылевыделения 18 предназначена для создания условий схожих с работой ситовечной машины, с целью формирования соответствующего этому процессу пылевыделения. В ней расположена ситовая

рама 14, приводимая в движение приводом 9; камера фильтрации 6 предназначена для фильтрации запыленного воздуха поступающего из камеры пылевыделения и регенерации фильтрующего элемента. Состоит из фильтра 4, закрепленного с помощью креплений сверху к неподвижной плите, а снизу к подвижной плите 12, которая соединена вынимаемым шарниром 7 с приводом 9. Вынимаемый шарнир предназначен для формирования условий периодической регенерации; камера отсоса, в ней расположена камера измерения давления с датчиком дифференциального давления 24, штуцера с фильтрами для измерения концентрации пыли 3, а также расходомер 2. Воздуходувная машина 11 предназначена для аспирации экспериментального стенда и создания в нем постоянного, требуемого разрежения.

Средства контроля предназначены для замера экспериментальных данных и регистрации их на ЭВМ, средства управления позволяют задать необходимые параметры, для моделирования процесса такие, как расход воздуха, частота колебаний сита, положения задвижки вибропитателя и его кинематические параметры и т.д.

Исходный продукт поступает из приемно-питающего бункера, количество подаваемого продукта и его кинематические параметры до камеры пылевыделения задаются вибропитателем; попадая на колеблющееся сито камеры пылевыделения, продукт аэрируется воздушным потоком и разделяется на проходную и сходовую фракции, которые попадают в выпускной бункер, а запыленный воздух отправляется в камеру фильтрования.

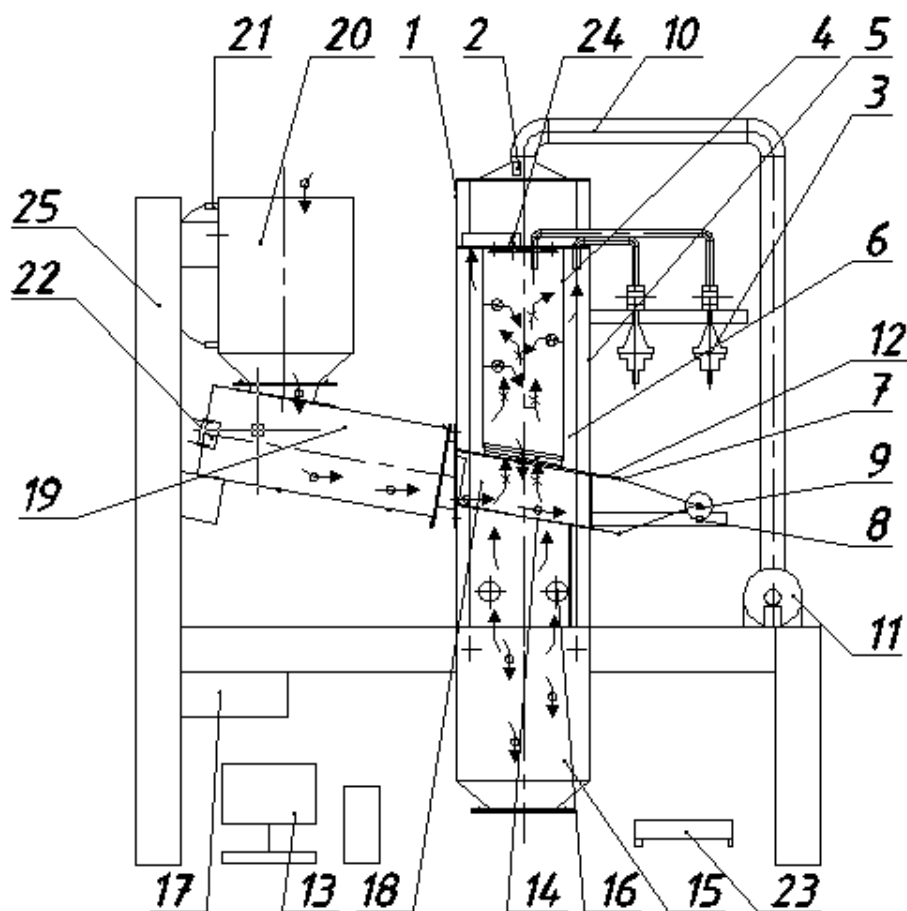
Колебания сита сообщаются кривошипно-шатунным механизмом (КШМ), регулирование режима колебаний осуществляется через ЭВМ, путем задания необходимой частоты вращения. Частота вращения фиксируется емкостным датчиком колебаний. КШМ соединен с ситом и пластиной крепления фильтра шарнирами, которые можно вынимать, для создания дополнительного режима работы - без регенерации фильтрующей поверхности.





Воздух для аэрирования продукта подсасывается через отверстия 17, проходя через продукт, он уносит мелкую пыль.

После этого начинается основной процесс: пыль, унесенная воздухом, задерживается фильтрующим элементом и накапливается на нем неподвижным слоем. После накопления моделируемого слоя, стенд останавливается подвижным шарниром подвижная плита крепления фильтра соединяется с кривошипом и стенд вновь запускается. Происходит механическая регенерация фильтрующего элемента.

После аспирационной камеры воздух выбрасывается в помещение воздуходувной машиной 11. Нагрузку, которую испытывает фильтр, замеряет дифференциальный датчик давления 24, расположенный в специальной камере. Датчик расположен так, что каждое из двух его приемных отверстий соединено с соответствующими участками камеры по обе стороны от фильтрующей поверхности.

Все электронные элементы соединены с компьютером 13, который осуществляет запись показаний всех приборов и непрерывное отображение получаемых данных на мониторе и записывает их в текстовый файл.



-  - запыленный воздух;
-  - исходный продукт;
-  - пыль;
-  - чистый воздух;

1-аспирационная колонка; 2 - датчик-расходомер; 3-штуцера с фильтрами, для измерения концентрации; 4-фильтр; 5- люк для эксплуатационных нужд; 6-камера фильтрации; 7-вытаскиваемый шарнир; 8 - датчик оборотов; 9- кривошипно-шатунный механизм с приводом и возможностью регулировать обороты; 10-воздуховоды; 11-воздуходувная машина; 12-плита крепления фильтра; 13-ЭВМ; 14-ситовая рама; 15-выпускной бункер; 16-впускные коллекторы для воздуха; 17-блок приема и обработки сигналов; 18-камера пылевыделения; 19 - вибропитатель в сборе; 20-приемно - питающий бункер; 21 - датчик уровня; 22- датчик амплитуды; 23 - весы; 24 - дифференциальный датчик давления; 25 - рама сварная;

Рисунок 3 - Функциональная схема стенда

### Математическое моделирование процесса регенерации

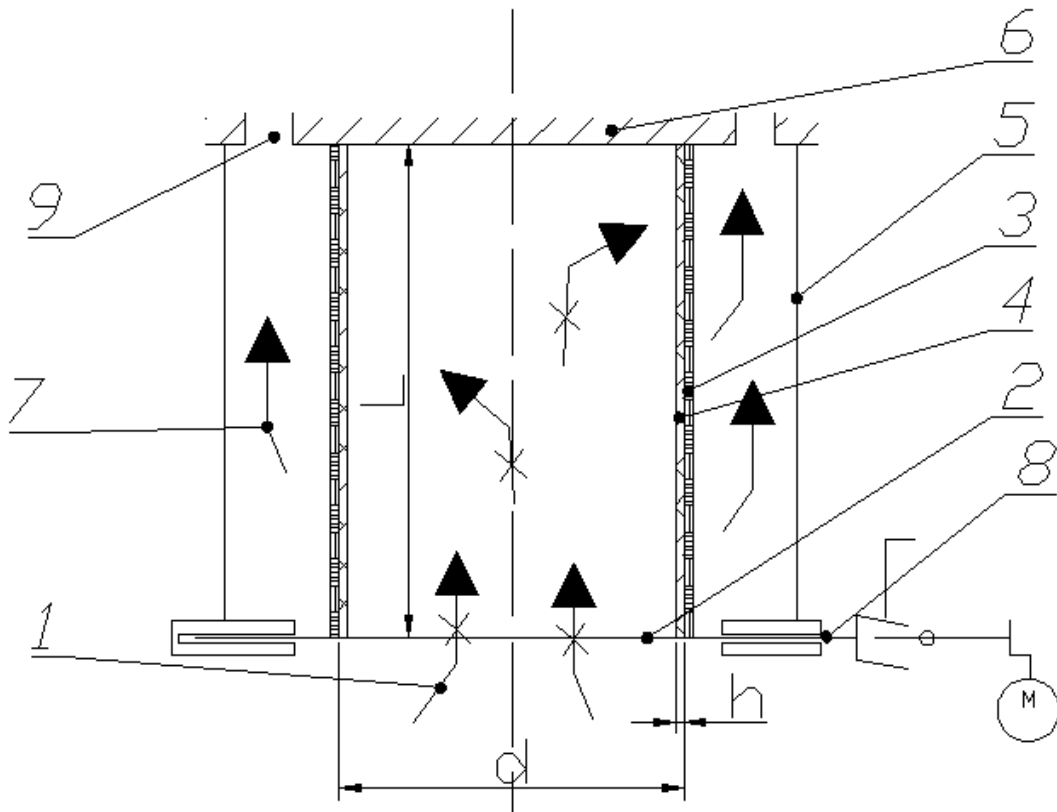
Работу фильтрующего элемента можно рассматривать на 2х основных этапах (рисунок 4):

а - оседание пыли, т.е. непосредственная фильтрация запыленного воздуха 1, поступающего из отверстия 2 в подвижной плите 8 (формально плита подвижна только в момент регенерации фильтра, и на первом этапе она является неподвижной). При этом на фильтре 3 формируется пылевой слой 4, а очищенный воздух отсасывается через отверстия 9, в неподвижной плите 6. Фильтр закреплен к плитам 8 и 6, и на первом этапе абсолютно статичен.

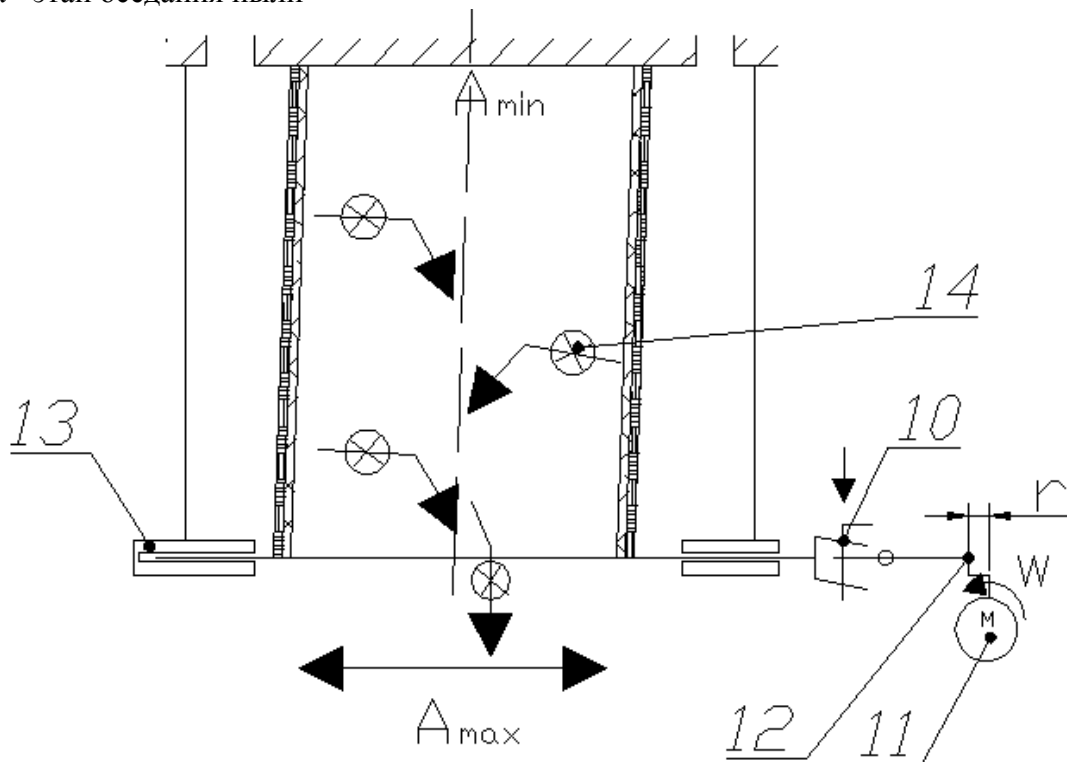
б- этап регенерации фильтра, т.е. путем колебаний и деформации пылевого слоя выведение его из полости фильтра.

Второй этап начинается после соединения подвижной плиты 6 с эксцентриком 12 посредством соединительного шарнира 10, э/двигатель, вращаясь с угловой скоростью  $\omega$ , создает колебания, которые передаются на подвижную плиту, а оттуда на фильтр. Под действием сил инерции происходит отрыв осевшей на фильтре пыли 14, и она, удаляется из фильтра.

При этом амплитуда колебаний, а следовательно и силы инерции, действующие на частицы, не однородны по длине фильтра и уменьшаются при приближении к неподвижной плите.



а - этап оседания пыли



б - этап регенерации;

1-запыленный воздух; 2-впускное отверстие фильтра; 3 - фильтр; 4 -осевший слой пыли; 5- корпус стенда; 6 - неподвижная плита; 7 - очищенный воздух; 8 - подвижная плита; 9- отверстия выпуска очищенного воздуха; 10 - выдвигной шарнир; 11 - электродвигатель; 12-эксцентрик; 13 - полозья, движения плиты; 14 - пыль;

Рисунок 4. - Совмещенная функциональная и кинематическая схема процесса

В дальнейшем будем рассматривать только механическую регенерацию рукавного фильтра, для которой модель построена на допущениях:

1) Весь осевший слой пыли, за период межрегенерационной работы, рассматривается как совокупность "частиц"(в дальнейшем просто частицы) кубической формы объемом  $dV=h^3$ (рис 5, а), где  $h$  - толщина слоя пыли;

2) В результате действующий на такой куб сил он не разрушается и сохраняет форму и массу;

3) Скорость воздуха рассматриваемая в нахождении аэродинамической силы, считается равной скорости фильтрации и отличается только на входе в фильтр.

Модель строится из 3 основных этапов, требуемых рассмотрения:

- 1) Отрыв частиц от поверхности фильтра
- 2) Движение частиц к выпуску из фильтра
- 3) Выпуск частиц из фильтра

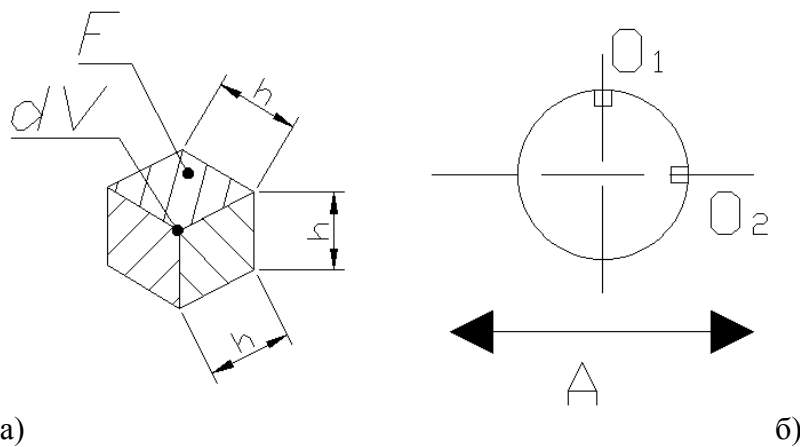


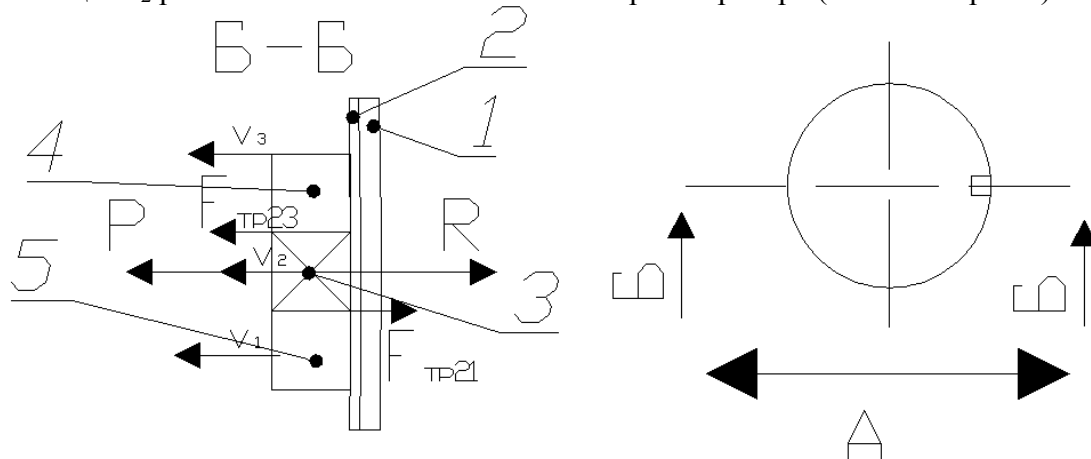
Рисунок 5 - Наглядное изображение: а - частицы; б - расположения рассматриваемых частиц на фильтре;

Рассмотрим каждый из этапов по подробнее:

*1 Отрыв частиц от поверхности фильтра:*

рассматривается в двух крайних положениях (рис 5 б):

а) Частицы  $O_2$  расположенные на оси колебаний регенератора (схема сил рис.6)



1 - фильтр; 2 - нерегенерируемый слой; 3 -рассматриваемая частица; 4,5 - соседние частицы; Р-сила инерции; R - аэродинамическая сила;  $v_1, v_2, v_3$ -скорости частиц;  $F_{тр23}$ ;  $F_{тр21}$ -силы трения;

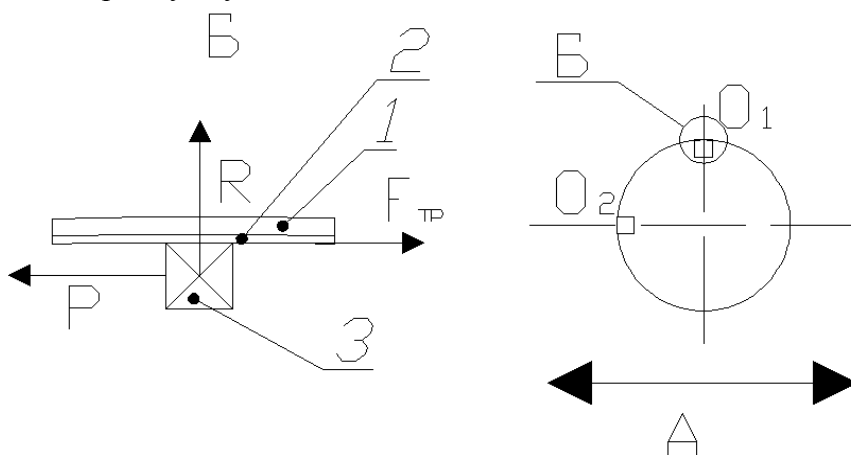
Рисунок 6. - Схема сил, действующая на частицу, расположенную на оси колебаний регенератора;

т.к. амплитуда колебаний равномерно уменьшается по длине фильтра от основания к верху, то и сила инерции будет уменьшаться, а следовательно и скорости отрыва частиц будут уменьшаться, в результате на частицу будет действовать 2 силы трения  $F_{тр23}$ -сила трения второй частицы относительно третьей;  $F_{тр21}$ -сила трения второй частицы относительно первой, которые будут противоположны по направлению и одинаковы по модулю, т.к. при малых значениях скоростей силы трения будут эквиваленты скорости, а относительная скорость движения второй частицы относительно первой и третьей одинакова, но противоположна по знаку, а значит суммарное воздействие сил трения на частицу равно нулю;

Условием отрыва, в таком случае, частицы от поверхности фильтра будет являться неравенство:  $P > R$ , которое в ходе расчетов было подтверждено;

б) Частица  $O_1$  расположенные на оси, перпендикулярной направлению колебаний регенератора (схема сил рис. 7)

В данном случае отрыва происходить вовсе не будет, но частицы под действием силы инерции будут смещаться из  $O_1$  в  $O_2$ , и оказавшись на оси колебаний, будут регенерироваться аналогично первому случаю;



1 - фильтр; 2 - нерегенерируемый слой; 3 - рассматриваемая частица;

$P$  - сила инерции;  $R$  - аэродинамическая сила;  $F_{тр}$  - сила трения частицы о нерегенерируемый слой;

Рисунок 7. - Схема сил действующих на частицу, расположенную перпендикулярно оси колебаний регенератора.

Для того чтобы частицы переместились в положение  $O_2$ , должно выполняться условие:  $P > F_{тр}$ .

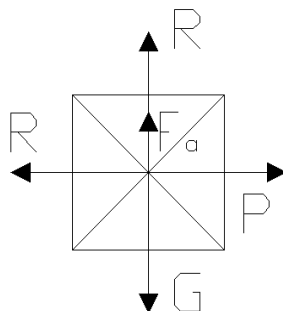
т.к. сила трения  $F_{тр}$ , возникает в результате воздействия на частицу аэродинамической силы, можно принять  $F_{тр} = R * \text{tg}(\varphi) \approx R$ ; (коэффициент трения  $\text{tg}(\varphi) = 1$ ).

В предыдущем разделе было вычислено, что сила инерции, всегда больше аэродинамической силы  $\Rightarrow$  условие будет выполняться при любой  $A$ .

*II Движение частицы к выпуску из фильтра:*

Рассмотрим силы, действующие на частицу после отрыва от поверхности фильтра (рис.8)

Движение частицы по вертикальной оси вниз будет, тогда и только тогда, когда будет выполняться следующее условие:  $G > R + F_a$



$P$ - сила инерции;  $R$ -аэродинамическая сила;  $G$ - сила тяжести;  $F_a$ - сила архимеда;

Рисунок 8.-схема сил, действующих, на частицу, после её отрыва от поверхности фильтра;  
 На основании проведенных расчетов получилось, что  $G \gg Fa + R = >$  условие выполнилось и движение к выпуску будет осуществляться;

### III Выпуск из фильтра:

Схема сил, действующих на частицу в момент выпуска будет соответствовать схеме сил на рис.8 и условие выпуска будет точно таким же, отличаться будет только величина аэродинамической силы:  $G > Fa + R2$ ,

3) На основании проведенных расчетов видно, что сила тяжести на несколько порядков выше других сил  $G \gg Fa + R2 = >$  условие выполнилось и выпуск из фильтра будет осуществляться;

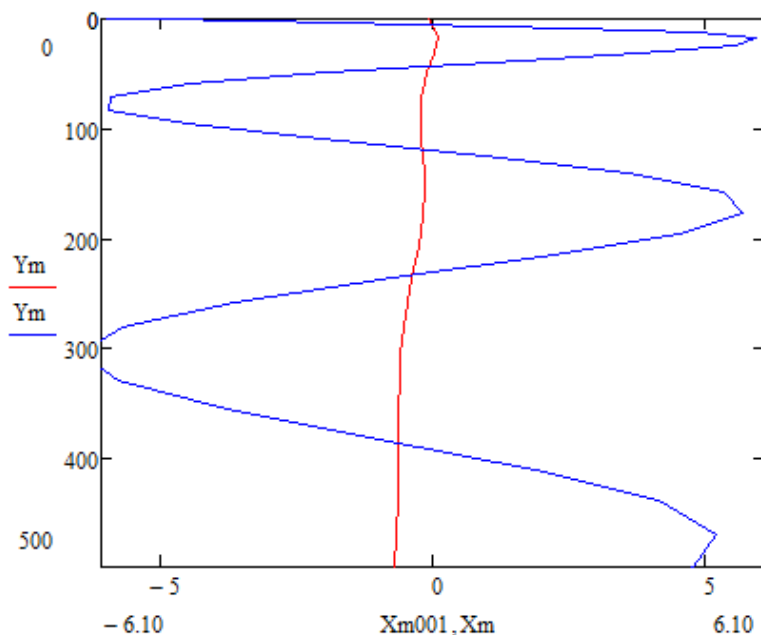
### Построение траекторий частиц

1) Исходя из приложенных сил уравнение движения будет выглядеть следующим образом:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{d\tau^2} := P1 - R1$$

$$m \cdot \frac{d^2 y}{d\tau^2} := G - Fa - R1$$

Рассмотрим траектории движения при разных амплитудах колебаний(рис.9):



Красный график -  $A=12$ мм; синий - 1мм;

Рисунок 9. - Траектории частиц при разных амплитудах колебаний

Построенный графики лишь в общих чертах дают представление о том как будет перемещаться частица в экспериментальном стенде. Для построения более точной траектории выполним последовательность подготовительных действий:

- 1) Зададим начальную точку отрыва частицы от фильтра ( $\approx$ самая верхняя точка фильтра).
- 2) Находится амплитуда, соответствующая выбранной точке ( $A=0,01$ мм).
- 3) Рассчитываются значения функций  $X_m(t)$ ,  $Y_m(t)$
- 4) Строим графическую зависимость  $Y_m=f(X_m)$ .



5) Находим точку возврата частицы к поверхности фильтра, находим значение  $Y_m$  этой точки, и вводим ограничение для функции движения от точки отрыва до точки возврата (точку возврата, считаем новой точкой отрыва для частицы)

6) Повторяем пункты 1-5 до тех пор, пока частица не достигнет выпуска из фильтра.

7) Строим кусочный график движения частицы от точки отрыва до точки выпуска из фильтра (т.е. траекторию частицы)

На основании полученных данных получим траекторию движения частицы в экспериментальном стенде (рис.10).

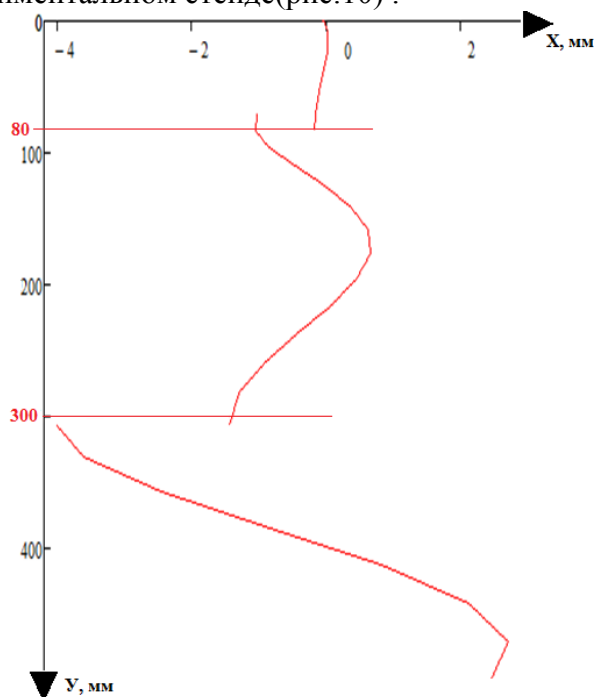


Рисунок 10. - Траектория движения частицы, первоначально расположенный в крайней верхней точки фильтра

На основании графика мы можем сделать следующие выводы:

1) При малых амплитудах регенерация малоэффективна и движение частицы будет происходить почти по поверхности фильтра, что нежелательно вследствие возникновения между ними сил трения, а следовательно дополнительного износа

2) В теоретической модели, присутствуют точки, когда частица в момент регенерации какое то время просто прижата к поверхности фильтра и не движется, это связано с несовершенством модели и тем что силы инерции имеют знакопеременные значения т.е. в какой то момент сила инерции и аэродинамическая сила сонаправлены и регенерация не происходит. ( $Y_m=80,300$ )

Для рассмотрения влияния других не менее важных параметров, на эффективность регенерации, продифференцируем уравнения движения, подставляя в них в виде числовых значений все, кроме  $h$ ,  $A$ ,  $n$ ;

$$X := \frac{-0.004\tau^2 \cdot h^2 - \frac{\left(675 \cdot A \cdot h^3 \cdot \cos\left(\pi \cdot \tau \cdot \frac{n}{30}\right)\right)}{2}}{675h^3}$$

$$Y := \tau^2 \cdot \frac{\left(-11.772h^3 + 6621.75\tau h^3 - 0.007h^2\right)}{1350h^3}$$

$\tau$ -время, с;

$h$ -линейный размер частицы, м;  $A$ - амплитуда колебаний, м;  $n$ -частота вращения вала кривошипа, об/мин;

Построим графические зависимости:  $f(X_m, Y_m, n)$ ; (рис. 11)

$f(X_m, Y_m, h)$ ; (рис. 12)

Эти зависимости рассмотрим при постоянной амплитуде колебаний  $A=12\text{мм}$ ;

1)  $f(X_m, Y_m, n)$ ; построим при  $h=7 \cdot 10^{-4}\text{м}$

1 -  $n_1=240\text{об/мин}$ ;

2 -  $n_2=480\text{об/мин}$ ;

3 -  $n_3=720\text{об/мин}$ ;

4 -  $n_4=960\text{об/мин}$ ;

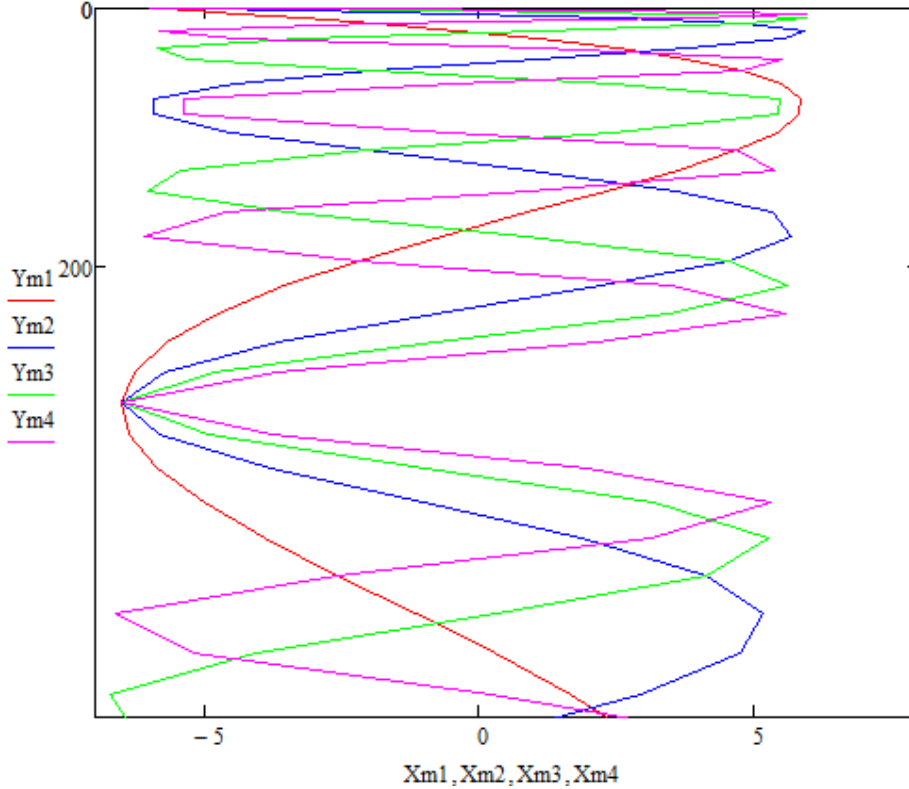


Рисунок 11.-Траектории частиц при разных значениях числа оборотов вала

2)  $f(X_m, Y_m, n)$ ; построим при  $n=480\text{об/мин}$

1 -  $h_5=0,00001\text{ м}$ ; (красный график)

2 -  $h_6=0,0001\text{м}$ ; (синий график)

3 -  $h_7=0,00035\text{ м}$ ; (зеленый график)

4 -  $h_8=0,0007121\text{ м}$ ; (фиолетовый график)

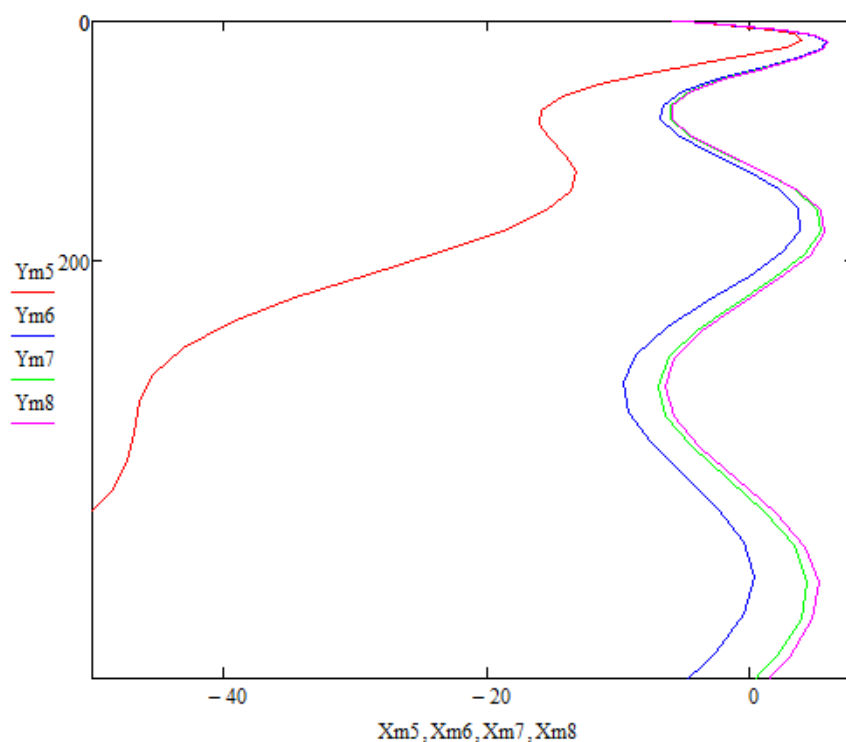


Рисунок 12.-Траектории частиц при их разных линейных размерах

На основании графиков можно сделать следующие выводы:

1) Частота колебаний на эффективность регенерации не влияет, также как и на время регенерации;

2) Линейные размеры частицы при значительном их уменьшении начинают влиять на эффективность регенерации. Так мы видим, что изменение линейного размера в 2 раза, почти не меняет параметров регенерации, но при изменении в 70 раз, изменения уже существенные.

При этом чем меньше частица, тем дольше она оказывается прижатой к фильтру и тем медленнее продвигается к выпуску из фильтра;

На основании всего вышеизложенного можно сделать вывод о том, что предлагаемая система аспирации имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с применяемыми в настоящее время. Она более экономична, а именно:

- уменьшены капитальные и эксплуатационные затраты на закупку монтаж и обслуживание аспирационных трубопроводов;

- за счет изменения конфигурации сети снижены подсосы воздуха и уменьшена величина необходимого разряжения сети;

- применение механической регенерации снижает эксплуатационные затраты пылеочистительной части машины;

С помощью математического моделирования было установлена, что такая регенерация возможна, при заданных кинематических параметрах.

С целью изучения всех особенностей протекающего процесса регенерации в комбинированной машине, его анализа, выдвижения рекомендаций по применяемым фильтрующим материалам а также по уточнению конструкции был разработан экспериментальный стенд (рис. 3)

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОКРОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ В МУКОМОЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

И. А. Белогорцев – Студент гр. ТМиО-1, Терехова О.Н. – к.т.н., доц. каф. МАПП  
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Мукомольное производство наиболее важная отрасль пищевой промышленности для жизнедеятельности человека и продовольственной безопасности страны. Несмотря на то, что принципиальная схема производства муки на протяжении многих лет не меняется, а лишь совершенствуется, имеется ещё ряд важных задач, которые необходимо решить в будущем в этой сфере.

В настоящее время мукомольные заводы имеют непрерывный цикл производства муки, при котором необходимо решать ряд основных задач: зерноочистка, размол зерна, транспортирование и хранение готового продукта. В силу особенности производства муки практически на всех стадиях технологического процесса необходима эффективная система очистки воздуха на производстве. Очистка воздуха одна из важнейших и сложнейших задач производства, в силу физических и химических свойств муки, а также пыли выделяемой в процессе производства.

Пыль оказывает вредное воздействие на здоровье человека (ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»), на оборудование, также почти все пыли пищевой промышленности пожароопасны, а некоторые образуют с воздухом взрывоопасные смеси. Предельно допустимая концентрация (ПДК) пыли в рабочей зоне по ГОСТу 12.1.005-88,а именно концентрация зерновой пыли в воздухе не должна превышать 4мг/м<sup>3</sup>, для мучной пыли 6мг/м<sup>3</sup> [2].

Также при не эффективной очистки воздуха на предприятие в атмосферу выбрасываются вредные вещества, которые наносят невосполнимый вред окружающей среде. Охрана атмосферного воздуха контролируется федеральным законом об охране атмосферного воздуха. Из данного федерального закона следует, что выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух характеризуются следующим:

- предельно допустимый выброс - норматив предельно допустимого выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для стационарного источника загрязнения атмосферного воздуха с учетом технических нормативов выбросов и фоновое загрязнение атмосферного воздуха при условии не превышения данным источником гигиенических и экологических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых нагрузок на экологические системы, других экологических нормативов;
- технический норматив выброса - норматив выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух, который устанавливается для передвижных и стационарных источников выбросов, технологических процессов, оборудования и отражает максимально допустимую массу выброса вредного (загрязняющего) вещества в атмосферный воздух в расчёте на единицу продукции, мощности, пробега транспортных или иных передвижных средств и другие показатели [3].

Поэтому не эффективная воздухоочистка на производстве влечёт за собой штрафы, ограничения производства со стороны контролирующих государственных органов и др., что в свою очередь напрямую отражается на экономике предприятия.

Использование вентиляционной сети на предприятии мукомольного производства позволяет решить следующие задачи:

- улучшения микроклимата в помещении, предотвращения вредных выбросов сверх установленных норм в атмосферу;
- очистка зерна от лёгких примесей и его вентилирование воздушным потоком;
- предохранение от поломок и быстрого износа оборудования вызываемых постоянным воздействием пыли и влаги;
- создание условий для взрыво и пожаробезопасности;
- аспирация оборудования.

Основным оборудованием в вентиляционной сети является пылеуловитель, эффективность которого и обуславливает эффективность работы всей сети в целом. Классифицируются пылеуловители по принципу работы (рисунок 1).

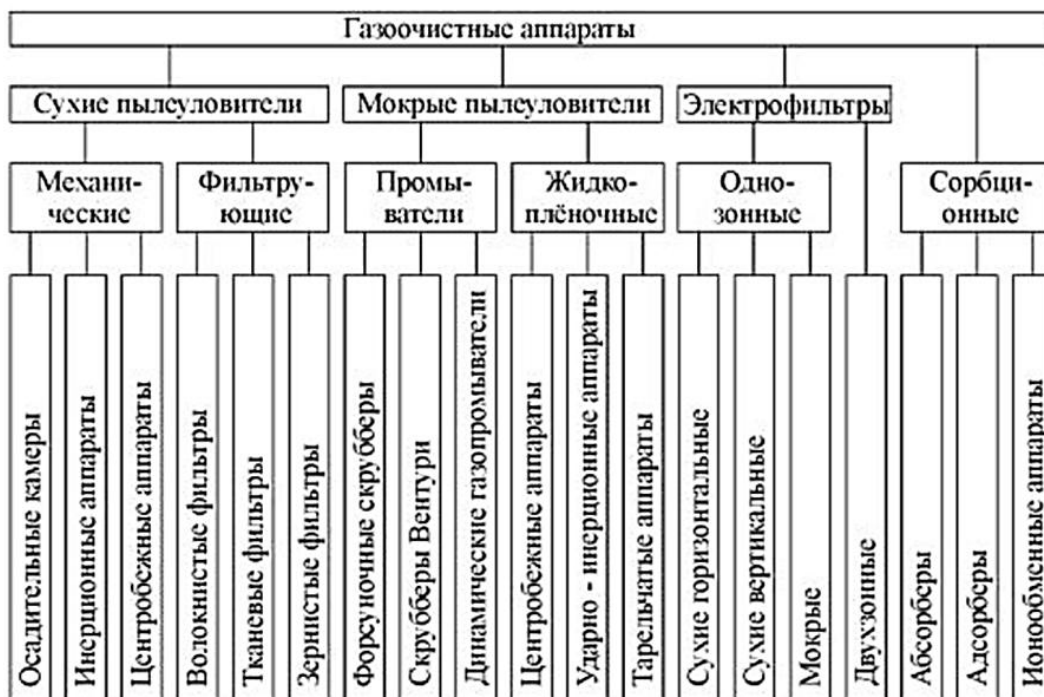


Рисунок 1. Схема классификации пылеуловителей

В настоящее время на мукомольном производстве широко применяются фильтр-циклоны РЦИ, которые относятся к классу сухих пылеуловителей. Основной недостаток данного пылеуловителя перед пылеуловителем мокрой очистки воздуха – это относительно низкая эффективность очистки воздуха от мелкодисперсионной пыли (размер частиц от 1мкм и менее), которая имеет место быть в размольном отделении мельницы. В связи с этим недостатком исключается возможность рециркуляции очищенного воздуха, имеет место потери готового продукта вместе с выбросами воздуха в атмосферу и соответственно загрязнение окружающей среды.

Для выявления возможности очистки воздуха от мелкодисперсной мучной пыли мокрым способом, на экспериментальном стенде (рисунок 2) были проведены ряд опытов.

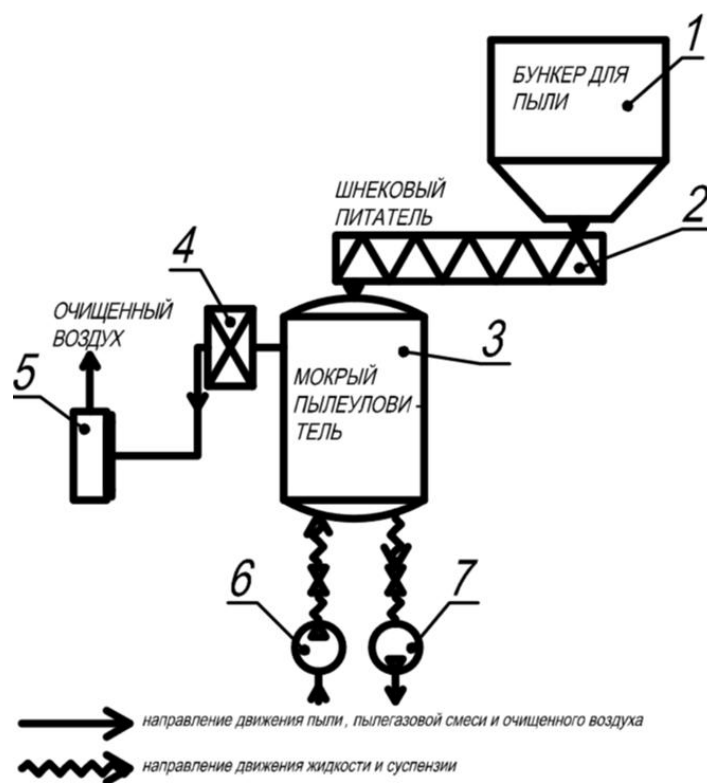


Рисунок 2. Схема функциональная экспериментального стенда

Принцип работы мокрого пылеуловителя аналогичен принципу работы скруббера ударно-инерционного действия. В питающий бункер 1 загружается мучная пыль, самотёком через трубопровод пыль поступает в шнековый питатель (винтовой дозатор). Шнековый питатель 2 дозирует пыль согласно заданным параметрам. Из шнекового питателя пыль с воздухом поступает в пылеуловитель 3. В пылеуловителе контакт пылегазовой смеси с жидкостью осуществляется за счёт удара газового потока о поверхность жидкости с последующим пропусканием пылегазовой смеси через слой жидкости. Проходя слой жидкости, частицы пыли, находящиеся в пылегазовой смеси смачиваются и коагулируются. Благодаря процессу коагуляции происходит осаждение частиц в пылеуловителе, а очищенный газовый поток выводится из пылеуловителя. Далее очищенный поток воздуха проходит через матерчатый фильтр 4 и выбрасывается в атмосферу воздуходувной машиной 5. Система работы стенда основана на принципе всасывания пылегазовой смеси. Подача жидкости в пылеуловитель происходит при помощи насоса 6. Откачка получившийся суспензии из жидкости и пыли из пылеуловителя производится насосом 7.

Задачи эксперимента:

- определение максимального количества пыли, которое может поглотить жидкость с учётом сохранения работоспособности стенда;
- определение оптимальной скорости воздуха на входе и выходе из пылеуловителя с учётом максимальной эффективности очистки воздуха и максимальной производительности;
- определение оптимального соотношения жидкости и газа (в частях) в пылеуловителе для дальнейшего использования этих данных при проектировании пылеотделителя большей производительности.

Исходя из результатов эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. При осаждении мучной пыли в жидкости ( в данном эксперименте вода ) вязкость получающегося раствора увеличивается. Это способствует уменьшению брызг раствора, которые образуются из-за эффекта барботирования. Уменьшение брызг способствует уменьшению каплеуноса потоком очищенного воздуха.

2. При одновременном вбросе в пылеуловитель объёма пыли превышающего объём обычного рабочего режима пылепитателя в 20 раз, наблюдалось образование комков пыли на

поверхности воды, которые дробились при помощи эффекта барботажа в течение короткого времени. Для справки: производительность пылепитателя 22 г/мин. Вывод: резкое увеличение концентрации пыли в воздушном потоке существенно не влияет на эффективную работу пылеуловителя.

3. С повышением концентрации уловленной мучной пыли в растворе наблюдается пенообразование, которое возрастает в геометрической прогрессии, что представляет собой опасность уноса пены воздушным потоком очищенного воздуха. Вывод: определённый объем воды может вместить определённую массу мучной пыли, при условии сохранения работоспособности пылеуловителя.

4. Оптимальное соотношение объема воды и газовой камеры в пылеуловителе в частях 1:4,5 соответственно.

5. При значительном увеличении скорости воздуха на входе в пылеуловитель, увеличивается каплеунос и уменьшается эффективность очистки пылегазовой смеси.

Для достижения эффективной газоочистки данным пылеуловителем, необходимо соблюдение следующих условий: оптимальная скорость воздуха на входе, своевременная выгрузка осадка и замена отработанной жидкости, исключение значительного превышения концентрации пыли в потоке очищаемого воздуха.

Список литературы:

1. Штокман Е. А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности / Е. А. Штокман, В. А. Шилов, Е. Е. Новгородский, И. И. Саввиди, Т. А. Скорик, В. В. Пашков. – М. : АСБ, 1997. - 680 с.

2. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

3. Федеральный закон об охране атмосферного воздуха от 22 апреля 1999 года (в ред. Федеральных законов от 22.08.2004 N 122-ФЗ, от 09.05.2005 N 45-ФЗ, от 31.12.2005 N 199-ФЗ, от 23.07.2008 N 160-ФЗ, от 30.12.2008 N 309-ФЗ, от 30.12.2008 N 313-ФЗ);

4. 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 : АлтГТУ, 2011. – 200с.

5. Швыдкий В. С., Ладыгичев М. Г. Очистка газов : Справочное издание / В. С. Швыдкий, М. Г. Ладыгичев. – М. : Теплоэнергетик, 2005. – 640 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С СИСТЕМОЙ КОСВЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Минакова Д.Э. - студент гр. ТМиО-22, Лукьянченко А.В. – студент гр. 8ТМиО-41

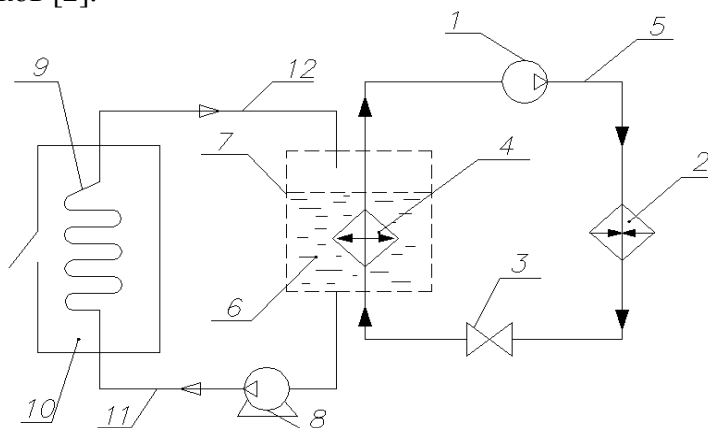
Терехова О.Н. – к.т.н., доц. каф. МАПП

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

Для достижения поставленных целей дисциплины "Холодильная техника и кондиционирование"- развитие профессиональных компетенций, с соответствии с которыми обучающийся должен обладать способностью к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки; умением применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению. Необходимо, чтобы студент обладал не только теоретическими знаниями, а также имел практические навыки по эксплуатации, ремонту и монтажу холодильного оборудования. Это невозможно без развитой лабораторной базы, обеспеченной реальными моделями холодильных установок, их составных узлов и элементов.

В связи с этим студентом кафедры МАПП в рамках дипломного проектирования была разработана холодильная установка с косвенной системой охлаждения.

Холодильный стенд состоит из двух контуров охлаждения (рис.1). Первый контур охлаждения представлен холодильным агрегатом, работающим на хладагенте R12, второй контур состоит из рассольного бака, системы трубопроводов, гидравлического насоса и змеевика-охладителя, соединенных между собой резьбовым трубным соединением. Основная суть холодильного стенда заключается в охлаждении холодильным агрегатом рассола, который в свою очередь, с помощью гидронасоса циркулируя по трубопроводам и змеевику охлаждает специализированную холодильную камеру, надежно защищенную с помощью специальных материалов от теплопритоков [2].



1- компрессор; 2-конденсатор; 3- дросселирующий вентиль; 4-испаритель; 5-трубопровод для холодильного агента; 6-рассол; 7-рассольный бак; 8-насос; 9-змеевик-охладитель; 10-охлаждающая камера; 11- трубопровод для охлажденного рассола, 12- трубопровод для теплого рассола.

Рисунок 1 – Схема функциональная (гидравлическая) лабораторного стенда холодильной установки с косвенной системой охлаждения.

Испытание холодильной установки невозможно без наличия методических материалов для проведения лабораторных работ и экспериментальных исследований, разработка которых и являлась основной задачей.

Для автоматизации проведения испытаний и исследований работы парокompрессионной холодильной машины дополнительно к стенду был разработан и реализован четырехканальный измеритель температуры (рис.2).

Контроллер спроектирован на 8-ми разрядном высокопроизводительном AVR микроконтроллере с малым потреблением и прогрессивной RISC архитектурой ATmega8A. AVR-архитектура объединяет мощный гарвардский RISC-процессор с отдельным доступом к памяти программ и данных, 32 регистра общего назначения, каждый из которых может работать как регистр- аккумулятор, и развитую систему команд фиксированной 16-бит длины. Большинство команд выполняются за один машинный такт с одновременным исполнением текущей и выборкой следующей команды, что обеспечивает производительность до 1 MIPS на каждый МГц тактовой частоты. Базовый набор команд AVR содержит 120 инструкций. Инструкции битовых операций включают инструкции установки, очистки и тестирования битов. Все микроконтроллеры AVR имеют встроенную FLASH ROM с возможностью внутрисхемного программирования через последовательный 4-проводной интерфейс.

Периферия МК AVR включает: таймеры-счётчики, широтно-импульсные модуляторы, поддержку внешних прерываний, аналоговые компараторы, 10-разрядный 8-канальный АЦП, параллельные порты (от 3 до 48 линий ввода и вывода), интерфейсы UART и SPI, сторожевой таймер и устройство сброса по включению питания.

После подачи питающего напряжения на устройство, измеритель начинает непрерывно измерять температуру с интервалом 1с и отображать ее на дисплее (рисунок 3). В каждый момент производится измерение только с одного температурного датчика (текущий датчик). Информация о



текущем датчике отображается индикацией светодиода на передней панели измерителя. Для смены текущего датчика необходимо нажать на соответствующую кнопку, контроллер считывает информацию с клавиатуры и произведет переключение текущего температурного датчика.

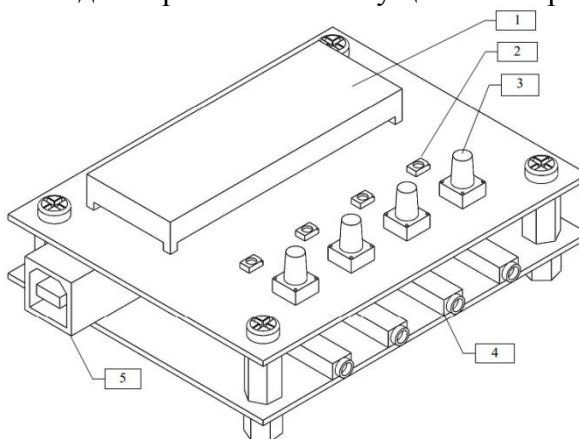


Рисунок 2 – Четырех каналный измеритель температуры: 1 – дисплей; 2 – индикаторы текущего датчика; 3 – кнопки выбора текущего датчика; 4 – разъем подключения датчиков; 5 – USB – разъем.

По разработанной методике с использованием четырехканального измерителя была проведена лабораторная работа "Изучению и испытания паровой компрессионной холодильной установки". С помощью измерителя были сняты параметры температуры в определенных точках установки, что дало возможность построить диаграмму энтальпия- давление. Результаты эксперимента показаны на рисунке 3.

Диаграмма цикла паровой компрессионной машины – графическое изображение процессов, которые претерпевает в ней хладагент. Данная диаграмма является наиболее приемлемой для анализа работы и расчётов холодильных машин.

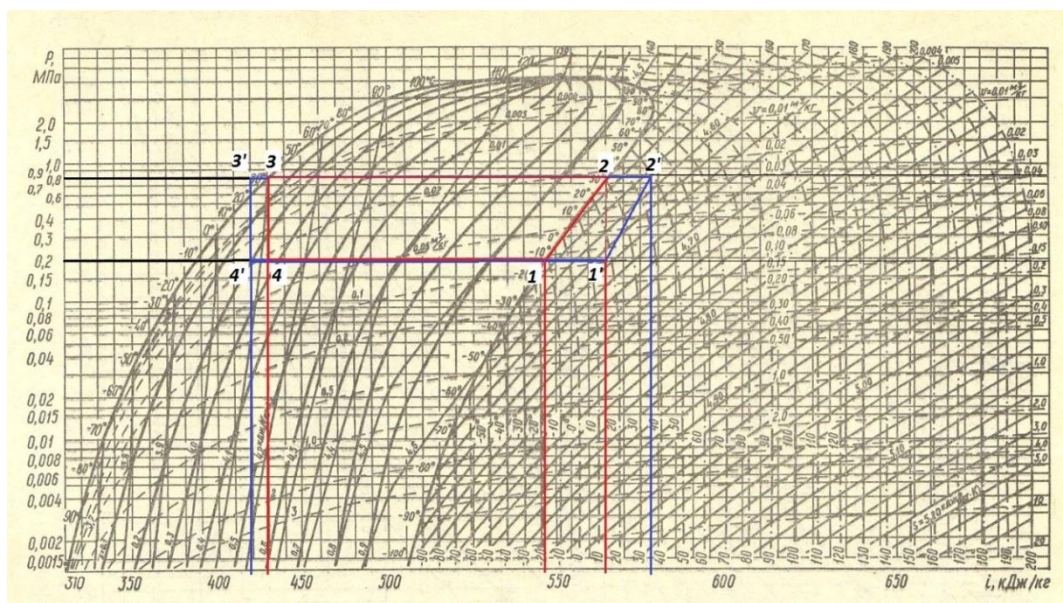
Эффективность работа холодильной машины можно оценить по холодильному коэффициенту:

Холодильные коэффициенты теоретического и действительного цикла соответственно

$$\varepsilon_T = 6,71;$$

равны:

$$\varepsilon_D = 5,21.$$



— теоретический цикл; — действительный цикл.

### Рисунок 3- Диаграмма i-Ig P хладона-12

Для холодильной установки были разработаны следующие методики проведения лабораторных работ:

1. Изучение и испытание паровой компрессионной холодильной установки;
2. Определение холодопроизводительности и устройство поршневого компрессора ХКВ5;
3. Изучение конструкции конденсаторов;
4. Приведен пример расчета теплообменных аппаратов.

Появление в учебной лаборатории еще одного холодильного стенда с разработанной методикой проведения лабораторных работ положительно скажется на знаниях студентов, расширит их кругозор и опыт в области холодильной техники и технологии.

Список литературы:

1. Терехова О.Н. . Методические указания к лабораторным работам по курсу «Холодильная техника и технология пищевых производств» для студентов специальностей 170600 –МАПП и 270800 – ТК. Часть I / Алт. Гос. Тех. Ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2003. – 25 с.
2. Терехова О.Н. Сборник  
2. Горизонты образования, Лабораторный холодильный стенд с косвенной системой охлаждения, 2015.

### ШЕЛУШИТЕЛЬ ДЛЯ ОБРУШИВАНИЯ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА

Корчагина И. В - студент группы 8МАПП-01

Лямкин Е.С - кандидат технических наук, доцент кафедры МАПП

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

В агропромышленном комплексе России масложировая отрасль промышленности занимает ведущее место.

Основной сырьевой базой для производства растительных масел являются масличные семена, выращиваемые в России (подсолнечник, соя, рапс, лен, горчица), ресурсы которых определяют объем производства растительных масел и других видов продукции.

Для России в настоящее время характерна безусловная динамика роста валового сбора трёх основных масличных культур. Валовый сбор подсолнечника за последние 6 лет увеличился с 6 млн тн до 10 млн, рапса с 700 тыс тн до 1500 тыс тн, сои 900 тыс тн до 3000 млн тн.

В Алтайском крае за последние 10 лет среднегодовое производство подсолнечника выросло почти в 2,3 раза (257,3 тыс. тонн против 113,8 тыс. тонн в бункерном весе). Урожайность маслосемян увеличилась на 32%.

Наличие значительных ресурсов масличного сырья для производства растительных масел, высокая потребляемость подсолнечного масла, привело к тому, что в России в последние годы наблюдается тенденция увеличения мощностей действующих крупных масложировых предприятий. Одновременно растет и количество новых цехов средней и малой мощности для переработки масличного сырья в местах наиболее приближенных к месту производства масличных культур.

На сегодняшний день почти все производимое высокотехнологическое оборудование нацелено на крупные масложировые предприятия, с высокой производительностью, в среднем составляющую 100-160 тонн сырья в сутки. Для предприятий средней и малой мощности использование такого оборудования не является выгодным, ввиду многих технико-экономических показателей (высокая производительность, большие энергозатраты и т.д.), что приводит к необходимости создавать специальное и эффективное оборудование.

Одним из основных процессов, оказывающих значительное влияние на выход, качество и себестоимость полученного масла, является процесс обрушивания семян, то есть разрушения

плодовой оболочки с целью ее последующего отделения и получения ядровой фракции, подлежащей дальнейшей переработке, так как подготовка семян масличных культур является одним из самых важных этапов в процессе извлечения масла.

В настоящее время для обрушивания семян существует огромное количество технологического оборудования как отечественного, так и зарубежного производства.

Для обрушивания масличных семян используются различные методы, наибольшее распространение из них получили: методы удара, среза, скалывания и сжатия. Стоит отметить, что наиболее распространенными являются методы однократного и многократного ударов семян.

Выбор метода обрушивания зависит от ряда факторов, основными из которых являются физико-механические свойства семян и их морфологических частей.

Эффективность обрушивания масличных семян зависит от их влажности, температуры, толщины оболочки и др.

Помимо этого, на эффект обрушивания оказывает влияние и ряд других факторов, таких как величина воздушного зазора между ядром и оболочкой, прочность связи оболочки с ядром, направление приложения внешних сил и т.д.

Эти факторы в основном имеют отношение к семенам подсолнечника.

Для обрушивания семян, имеющих хрупкую оболочку (подсолнечник, соя), наиболее приемлем метод удара, под действием которого происходит раскалывание оболочки. Этот метод обрушивания является наиболее распространенным в масложировой промышленности.

Метод многократного удара реализуется в бичевых (РБ, выпускаемая заводом «Машиностроитель», НРХ-4, выпускаемая ОАО «Хорольский механический завод»), а многократного – в центробежных машинах (МРЦ-5м производства «Экотехпром», шелушитель фирмы Бюллер).

При использовании метода многократного удара неоспоримым преимуществом является интенсивность обрушивания, но есть и следующие недостатки:

- неравномерное обрушивание;

- при повторном ударе о бичи, ядро раскалывается и образуется большое количество сечки и масличной пыли, что негативно сказывается в процессе извлечения масла.

Метод однократного направленного удара позволяет более бережно шелушить семена масличных культур, так как основная нагрузка направлена на лозгу, ядро почти не дробится, обеспечивая тем самым высокое качество так называемой «рушанки». Единственным параметром, отрицательно характеризующим данный метод обрушивания, является требовательность к качеству семян, т.к. при несоблюдении наблюдается наличие целостных, необработанных семян, поэтому перед обрушиванием следует подвергать калибровке по совмещенному признаку: толщине и массе.

Таким образом, разработка оборудования для обрушивания семян масличных культур применительно к малым производствам, является очень актуальной темой на сегодняшний день.

После проведенного анализа недостатков в различных конструкциях существующих рушек, было принято решение совершенствовать конструкцию центробежного шелушителя марки «DOSB» (компания «Бюллер»), работа которого основана методом однократного направленного удара.

Основными преимуществами данного шелушителя являются:

- эффективная технология шелушения;

- эксплуатационная надежность.

При эксплуатации машины были выявлены следующие недостатки:

- 1) Обслуживание подшипников рабочего ротора затруднено в результате конструкции корпуса;

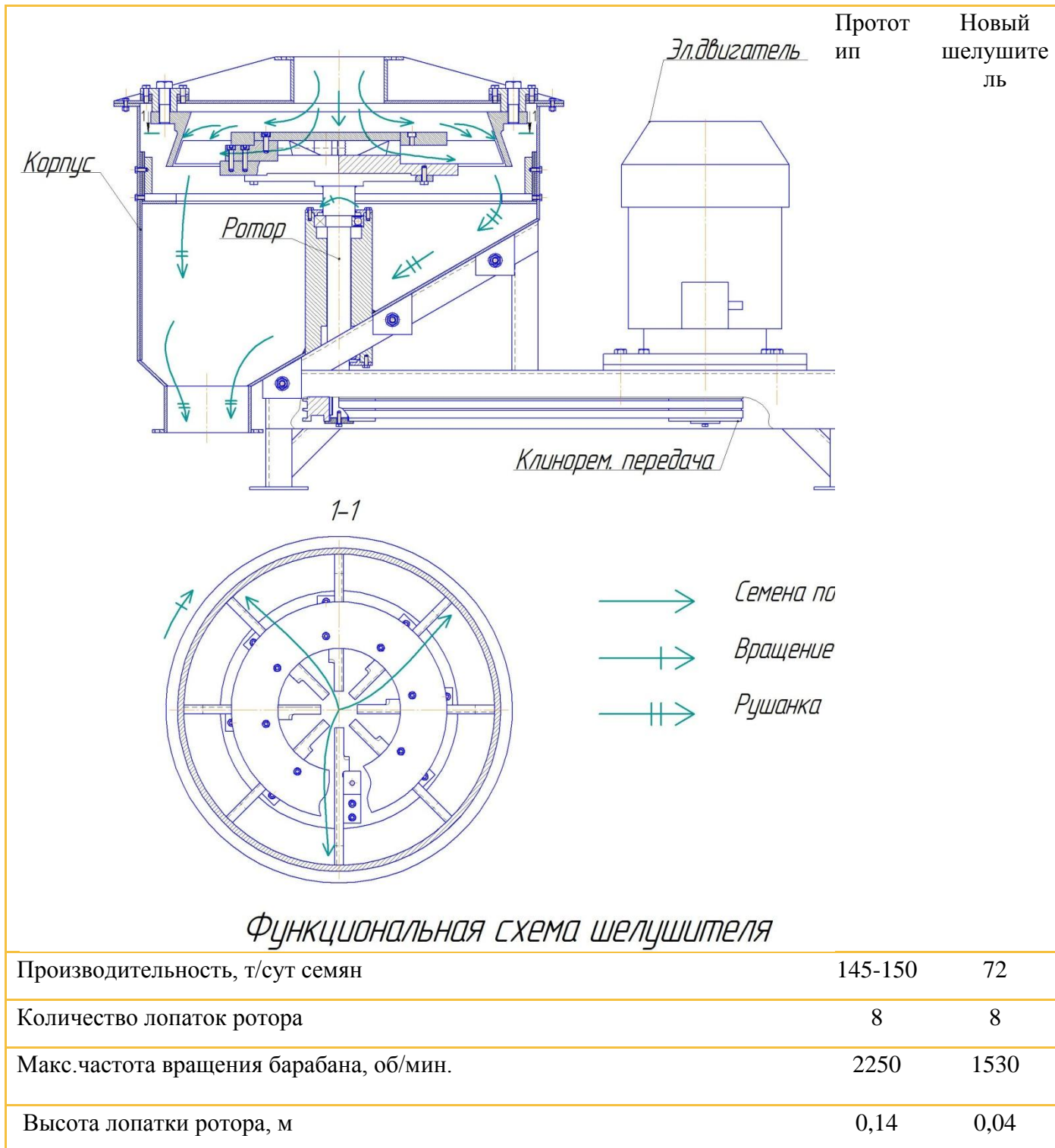
- 2) Налипание масличной пыли на стенки отбойного конуса, что затрудняет вывод продукта из машины;

- 3) В случае попадания на лопатки ротора магнитных примесей, происходит остановка машины для замены поврежденной лопатки, которая является очень дорогостоящей.

Главной целью изменений в конструкции машины является уменьшение производительности до 3 т/ч по перерабатываемому сырью.

Технические характеристики прототипа и измененного шелушителя

В результате выполненной работы, на основе выбранного прототипа шелушителя марки «DOSB», были проведены необходимые инженерные работы и разработан комплект конструкторской документации с учетом исходных требований по технико-экономическим



показателям для изготовления шелушителя.

Таким образом, разработанная конструкция шелушителя, обеспечит потребность предприятий средней и малой мощности масложировой промышленности в региона.

## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ШЛЮЗОВОГО ПИТАТЕЛЯ

Троянов Р.С. – магистрант гр. 8ТМиО – 41, Пикалов К.И. – студент гр. ТМиО -22

Тарасов А.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры МАПП

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

Пневматический способ транспортирования сыпучих материалов является одним из прогрессивных видов транспорта. Благодаря целому ряду преимуществ перед другими видами транспорта, пневматический транспорт широко распространен во многих отраслях промышленности.

Существенной причиной, сдерживающей еще более широкое применение пневмотранспорта, является повышенный расход энергии на единицу массы транспортируемого материала. Режим транспортирования, а значит и технико-экономические показатели пневмотранспортных установок, закладываются на этапе проектирования и расчета. Поэтому одним из способов снижения энергоемкости пневмотранспортных установок (ПТУ) является применение на этапе проектирования и расчета физических и математических моделей, учитывающие не только неустановившиеся периоды ее работы, но и включающие в себя характеристики всего пневмотранспортного оборудования, которые в совокупности обеспечат функционирование ПТУ в оптимальных режимах.

При расчете и проектировании ПТУ принимаются во внимание далеко не все параметры, оказывающие значительное влияние на режим транспортирования. Многие математические модели, несовершенны, не учитывают переходные процессы или могут использоваться только для ограниченного круга условий, в связи с чем, результаты теоретического расчета могут существенно расходиться с фактическими параметрами работы.

На кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета в течение продолжительного времени проводятся теоретические и экспериментальные исследования систем пневмотранспорта. На основе накопленного опыта, предложена физико-математическая модель [2], которая позволяет получить не только дополнительную информацию о параметрах пневмоустановок, но и учитывать неустановившиеся процессы (пуск, остановка, изменение производительности и т.п.).

Анализ модели показал, что одним из основных факторов, определяющих не стационарность процесса пневмотранспортирования сыпучих материалов, является переменная во времени подача материала соответствующими питающими устройствами в материалопровод. Во многих работах экспериментально доказано, что характеристика питателя (изменение производительности во времени) может оказывать существенное влияние на устойчивость процесса при пуске [1, 3]. А это значит, что от его характеристики во многом зависят режимы, характер изменения и величины параметров процесса.

В рамках проверки предложенной модели и уточнения параметров проведено исследование работы питающего устройства ПТУ, в частности, изменение производительности.

Наиболее широкое распространение в системах пневмотранспортирования получили питатели барабанного типа (шлюзовые питатели). Как известно, производительность шлюзового питателя зависит от многих параметров [4], одним из которых является частота вращения рабочего органа – ротора. В общеизвестных выражениях угловая скорость характеризует работу питателя в установившемся режиме, не учитывая переходный режим – период пуска электродвигателя, который играет огромную роль в работе питателя и его электропривода, и часто характер

протекания этого режима предопределяет производительность питателя. Совершенно необходимо уметь определять длительность этих переходных процессов и принимать меры к их сокращению. Поскольку угловая скорость ротора зависит, прежде всего, от передаваемых крутящих моментов кинематических элементов (двигателя, ременной передачи, редуктора, муфты и т.п.), составляющих привод и передачу, а также от инерции движущихся частей привода и передачи, сил трения и аэродинамических сил,

$$\omega_{рот} = f(M_{дв} + M_{ред} + M_{муф}, J_{э.п.}, F_{тр}, F_a),$$

где  $M_{дв}$  - крутящий момент на валу электродвигателя;  $M_{ред}$  - крутящий момент на быстроходном валу редуктора;  $M_{муф}$  - крутящий момент на муфте;  $J_{э.п.}$  - суммарный момент инерции движущихся частей привода;  $F_{тр}$  - силы трения материала о лопадки ротора;  $F_a$  - аэродинамические силы, действующие на частицы материала;

то при пуске электропривода наблюдаются изменения его скорости.

Особенно большие изменения скорости имеются при пуске электропривода. Поскольку этот режим не рабочий, то за его счет удлиняется цикл работы и, следовательно, снижается производительность шлюзового питателя. Анализ периода пуска позволит оценить влияние работы электропривода на производительность и качество работы шлюзового питателя и позволит на сегодняшний день описать работу такого типа питателей при изменении его производительности во время пуска электродвигателя.

Исследование производительности питателя в период пуска электродвигателя происходило с учетом следующих допущений: 1) аэродинамические силы, действующие на частицы материала, значительно меньше сил тяжести; 2) силы трения материала о лопадки ротора не учитываются, т. е. загрузка (опорожнение) ячеек ротора происходит только под действием сил тяжести, действующих на частицы материала.

В ходе теоретических исследований и аналитических расчетов, на основе уравнения для угловой скорости двигателя при пуске [5], предложена математическая модель, описывающая изменение производительности шлюзового питателя в период пуска электродвигателя (на участке нестационарности):

$$G_{II}(t) = \begin{cases} A \cdot e^{\frac{t}{B-0,25}} - A, & 0 < t < t^* \\ A^* \cdot \left( 1 - e^{\frac{-(t-t^*)}{B^*}} \right) + G^*, & t^* < t < t_{ном} \end{cases}$$

где  $A = G^* / e^{\frac{t^*}{B}}$ ;  $A^* = G_0 - G^*$ ;  $G_0$  - номинальная производительность, кг/с;

$t$  - время, с;  $t^*$  - время в точке перегиба (время, когда кривая производительности меняет направление изгиба);  $G^*$  - производительность в точке перегиба  $t^*$ ;  $B, B^* = J_{пр} \omega_0 / M_{ср}$  - электромеханическая постоянная времени.

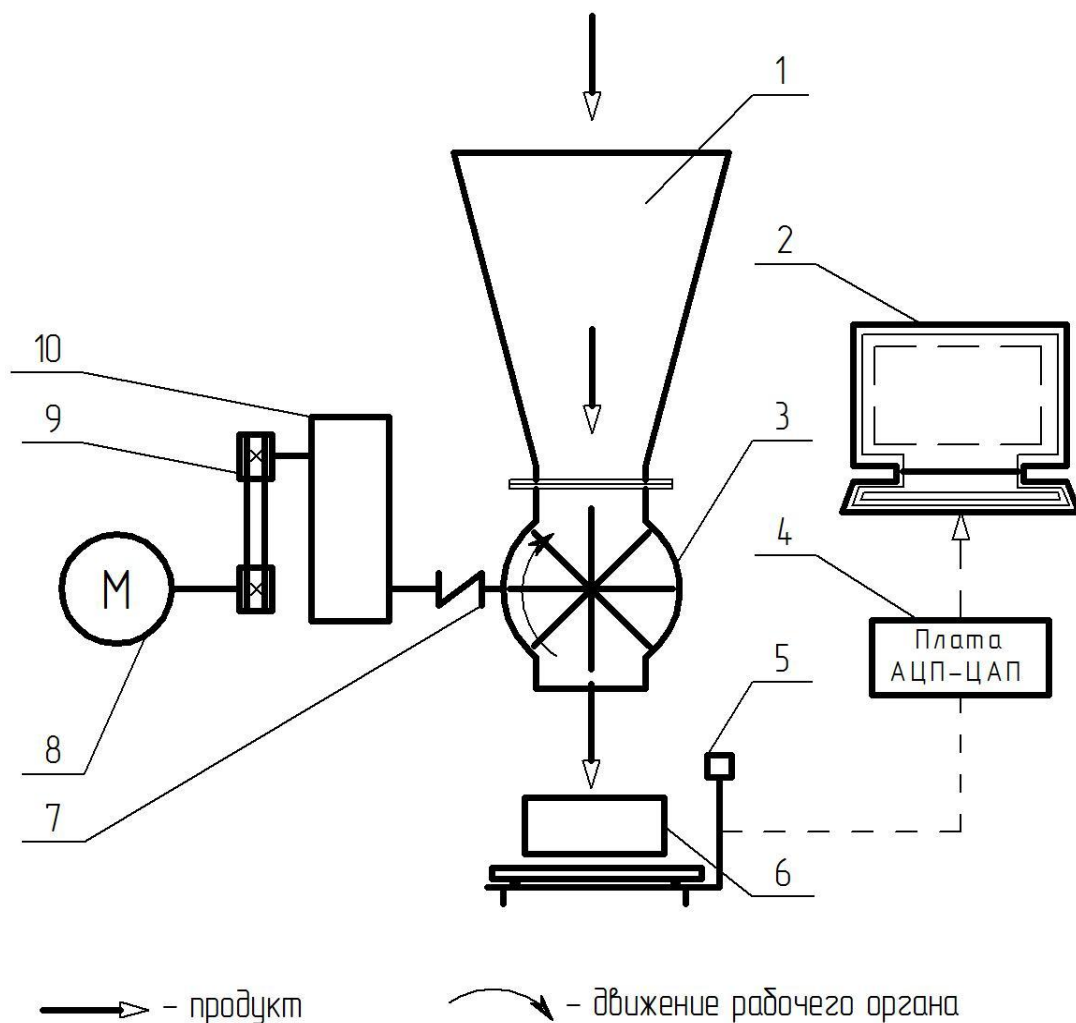
Временной интервал  $0 < t < t_{ном}$  является переходным периодом (время пуска) работы питателя. Время  $t_{ном}$  соответствует моменту, когда производительность питателя достигает 99 % своей номинальной величины. Весь временной интервал кривой производительности питателя в период его пуска можно разбить на два участка. На каждом участке работает своя

функция. Функция  $A \cdot e^{\frac{t}{B-0,25}} - A$  работает на временном интервале  $0 \leq t \leq t^*$ , а функция  $A * \left( 1 - e^{\frac{-(t-t^*)}{B^*}} \right) + G^*$  - на интервале  $t^* \leq t \leq t_{ном}$ .

Для подтверждения, корректировки предложенной математической модели и уточнения значений параметров спланированы и проведены экспериментальные исследования. Эксперименты проводились на экспериментальном стенде в лабораторных условиях, схема которого показана на рисунке 1.

Отличительной особенностью экспериментального стенда является возможность непрерывной регистрации изменения производительности питателя на ЭВМ. Установка работает следующим образом: материал поступает из питающего бункера 1 в шлюзовую питатель 3, который приводится в движение за счет асинхронного электродвигателя 8. Для изменения частоты вращения ротора шлюзового питателя используются клиноременная передача 9, редуктор 10. Крутящий момент от редуктора к ротору передается через муфту 7. Далее материал поступает в емкость для приема продукта 6, находящуюся на тензометрических весах 5. Для определения производительности используются тензометрические весы 5 и регистрирующая изменение массы во времени программа PowerGraph.

Унифицированные выходные токовые сигналы, зависящие от значений измеряемого параметра пропорциональные массе с тензометрических весов 5, поступают на плату АЦП-ЦАП 4. Визуализация, контроль и запись значений изменения массы во времени для последующего анализа осуществляется в программном приложении Power Graph v2.1, инсталлированном на персональном компьютере 2, информация на который поступает с платы АЦП-ЦАП 4.



1 – питающий бункер; 2 – персональный компьютер; 3 – шлюзовый питатель; 4 – аналого-цифровой преобразователь АЦП-ЦАП; 5 – тензометрические весы; 6 – емкость для приема продукта; 7 – соединительная муфта; 8 – электродвигатель асинхронный; 9 – клиноременная передача; 10 – редуктор.

Рисунок 3.1 – Схема комбинированная функциональная экспериментального стенда.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась классическими методами с использованием стандартных программ на ЭВМ. Воспроизводимость опытов проверялась по критерию Кохрена. Оптимальные значения параметров модели получены методом многофакторной регрессии общего вида, при которой обеспечивается минимальная среднеквадратичная ошибка, с использованием разработанного алгоритма в программном пакете MathCAD. Проверка пригодности построенных по экспериментальным данным моделей осуществлялась по критерию Фишера.

Результат графического применения аппроксимирующей модели представлен на рисунке 2.



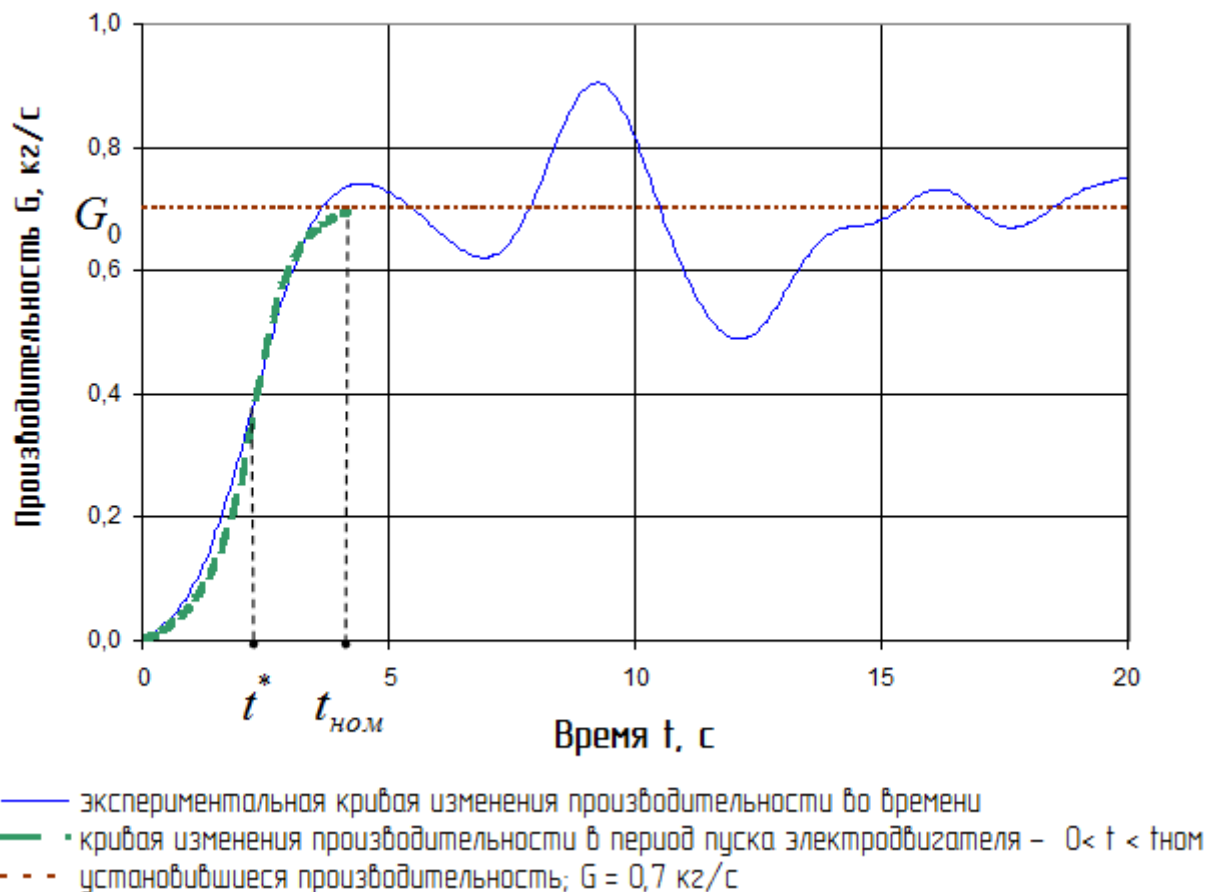


Рисунок 2 – Диаграмма изменения производительности шлюзового питателя во времени

Погрешность расчетной модели по сравнению с экспериментальными данными не превышает 3 %, что можно считать удовлетворительным.

Можно констатировать, что предложенная модель для описания изменения производительности шлюзового питателя в период пуска электродвигателя достаточно точно подтвердилось практическими исследованиями. Таким образом, теоретические и экспериментальные исследования показали, что предложенная модель пригодна для использования в математических моделях, описывающих процессы пневмотранспортирования сыпучих материалов в неустановившихся режимах.

Список литературы:

1. Мухопад К.А., Тарасов В.П. - Влияние характеристик приёмно-питающих устройств на устойчивость транспортирования сыпучих материалов/ Ползуновский вестник №2, 2012. – с. 127-130.
2. Тарасов, В. П. Элементы теории работы однотрубной пневмотранспортной установки / В. П. Тарасов // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2005. – № 5 – 6. – с. 81 – 85.
3. Тарасов В.П. Влияние способа загрузки материалопровода на параметры процесса пневмотранспортирования / В.П. Тарасов, О.Л. Левин // Изв. Вузов.-
4. Тарасов В. П., Тарасов А. В. - Пути снижения размеров барабанных ячеистых дозаторов / Современные проблемы техники и технологии пищевых производств // Сб. докл. 8 научно-практической конференции с международным участием: Алтайский гос. техн. университет им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 2005. – с. 47-52.
5. Андреев В.П., Сабинин Ю.А. Основы электропривода. М.-Л., Госэнергоиздат, 1963. - 772 с.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАНДАРТНЫХ СРЕДСТВ ПО MS OFFICE ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Лукьянченко А. – студент гр. 8ТМИО – 41, Тарасов А.В. – к.т.н., доц. каф. МАПП  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Проектирование системы автоматического регулирования (САР) любого объекта (машины, аппарата, установки, технологической линии и т.п.) заключается в подборе необходимых средств автоматизации, составлении структурной схемы, выборе и расчете передаточных функций звеньев системы.

Определение передаточных функций объектов управления может выполняться как аналитическим, так и экспериментальным методами.

Наибольшее распространение в практике автоматизации получил экспериментальный метод. Это связано с тем, что он требует минимальных сведений об устройстве объекта, о протекающих в нем процессах (в этом случае объект выступает как «черный ящик»), и может быть применен к работающим объектам в реальных, рабочих условиях эксплуатации, обеспечивая приемлемую точность определения передаточной функции.

Суть экспериментального метода заключается в воздействии на вход объекта, фиксации отклика на выходе объекта и обработке экспериментальных данных по принятым в теории автоматического регулирования методикам.

Простейшая система автоматического регулирования (рисунок 1) включает в себя: объект управления; регулятор, состоящий из сумматора и формирователя управляющего сигнала; измерительный преобразователь (датчик) выходной величины объекта управления; исполнительный механизм.

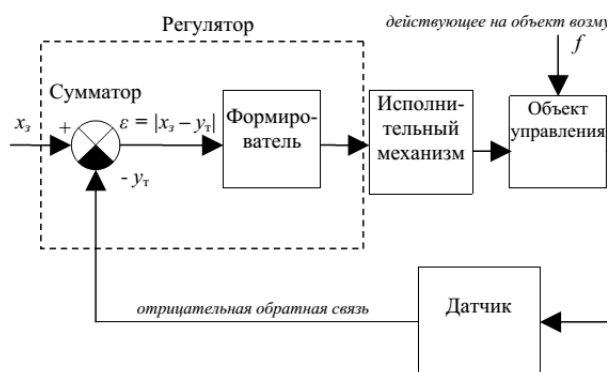


Рисунок 1 – Структурная схема САР

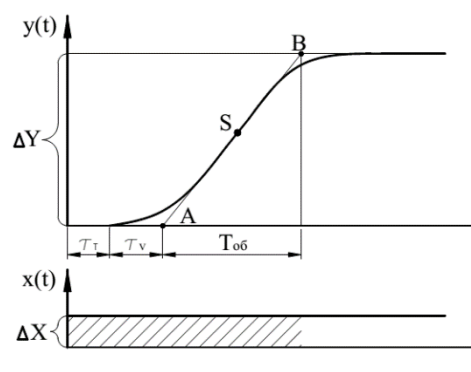


Рисунок 2 – Аппроксимация переходной характеристики объекта регулирования

Определение передаточной функции объекта по его переходной характеристике производится по методике, в основе которой лежит метод аппроксимации. Суть данного метода заключается в замене реального исследуемого объекта на некоторый идеальный, параметры которого заранее известны и их набор минимален и отличающийся от реального объекта на практически допустимую погрешность.

В теории автоматического регулирования принято переходную характеристику описывать типовым звеном или набором типовых звеньев.

Большинство процессов в пищевой промышленности можно описать двумя типовыми звеньями САР: запаздывающее и апериодического первого порядка.

Аппроксимированная переходная характеристика  $y_a(t)$  состоит из двух участков: первый участок от момента нанесения возмущения на объект  $t_0$  до момента  $t = \tau$  представляет собой переходную характеристику запаздывающего звена, второй от момента  $t = \tau$  до момента  $t = \infty$  - переходную характеристику апериодического звена, первый участок - это прямая линия, второй - экспонента.

Для аппроксимации кривой переходного процесса (рисунок 2) в точке S проводится касательная АВ до пересечения  $y(t)$  с  $y(\infty)$ . Практически  $y(\infty)$  определяется при достижении выходной переменной 98%-ного уровня установившегося значения.

По оси абсцисс определяются временные отрезки:  $\tau$  – полное время запаздывания;  $T_{об}$  – постоянная времени объекта (проекция касательной АВ на ось абсцисс).

Наиболее простым, наглядным и широко применяемым в практике методом определения времени запаздывания  $\tau$  и постоянной времени  $T_0$  объекта является графический метод.

Коэффициент передачи объекта определяют расчетом по формуле:

$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta x}, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент передачи, °C/%;  $y(\infty)$  – установившееся значение выходной величины (температуры), °C;  $y(0)$  – начальное значение выходной величины (температуры), °C;  $\Delta x$  – скачок входной величины (воздействие на объект), %.

Реальная экспериментально снятая переходная характеристика  $h_{э}(t)$  названных выше объектов имеет вид, представленный на рисунке 4. После скачка входной величины  $\Delta x$  выходная величина у сначала изменяется замедленно, затем скорость ее изменения возрастает, достигая максимума, после чего изменение выходной величины замедляется и она выходит на некоторое установившееся значение  $y(\infty)$ . В результате эксперимента должны быть получены коэффициенты передаточной функции объекта регулирования  $\tau$ ,  $T$ ,  $K$ , которые подставляя в формулу (1) определяют передаточную функцию объекта. Оценку точности параметров передаточной функции проводят путем сличения аппроксимированной и экспериментальной переходных характеристик. Аппроксимированную переходную характеристику при выражении выходной величины в абсолютном виде - температура  $y_a(t)$  рассчитывают по формуле:

$$\begin{cases} y_a(t) = y(0) & \text{при } 0 \leq t \leq \tau \\ y_a = y(0) + [y(\infty) - y(0)] \cdot \left[1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}}\right] & \text{при } t > \tau \end{cases} \quad (2)$$

для всех значений текущего времени  $t$ .

Полученные значения переходной характеристики также вносят в таблицу.

По полученным значениям  $y_a(t)$  строят график аппроксимированной переходной характеристики, учитывая при этом, что  $y_a(t)$  остается равной начальному значению  $y(0)$  на отрезке времени от нуля до точки В, т.е. в течение всего времени запаздывания  $\tau$ .

По полученным данным рассчитывают приведенную погрешность

$$\gamma = \frac{y_a(t) - y_э(t)}{y(\infty) - y(0)} \cdot 100\% \quad (3)$$

где  $\gamma$  - значение приведенной погрешности, %;  $y_a(t)$ ,  $y_э(t)$  - значения переходных характеристик, соответственно аппроксимированной и экспериментальной, °C.

Точность определения вида и параметров передаточной функции считают удовлетворительной, если максимальное из полученного ряда значение приведенной погрешности не более  $\pm 5\%$ .

Лабораторный стенд состоит из следующих компонентов САР (рисунок 3): модели объекта автоматического регулирования; микропроцессорного измерителя-регулятора; преобразователя интерфейсов; персонального компьютера.

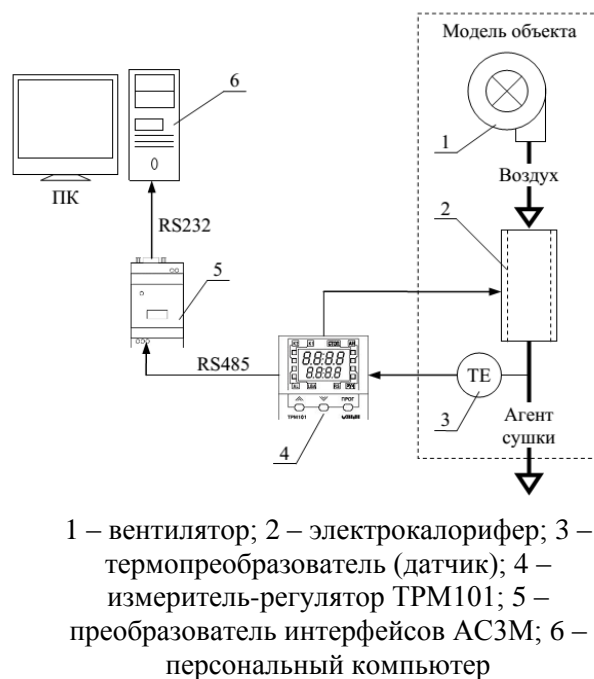


Рисунок 3 – Схема лабораторного стенда

На кафедре МАПП в АлтГТУ при подготовке бакалавров и магистров направления «Технологические машины и оборудование» при повышении квалификации и проведении НИР используется лабораторный стенд.

Для определения коэффициентов передаточной функции необходимо проводить большие по объему вычисления. Например, для определения передаточной функции процесса подготовки агента сушки получаем таблицу значений экспериментальной переходной характеристики (порядка 300 значений). Для каждого значения из таблицы необходимо произвести расчет аппроксимированной переходной характеристики по формуле (2) и далее оценить ошибку аппроксимирования, рассчитав приведенную погрешность по формуле (3). Использовать калькулятор для подобных вычислений трудоемко и нецелесообразно.

Возможности ПО MS Excel позволяют использовать его как средство автоматизации инженерной и научной работы.

MS Excel – универсальная программа, обладающая эффективными средствами обработки числовой информации, представленной в виде электронных таблиц. С помощью Excel можно выполнять сложные вычисления с большими массивами чисел, строить диаграммы и печатать отчёты, а использование встроенного языка сценариев Visual Basic значительно расширяет потенциал программы в автоматизации инженерных и научных расчетов.

В процессе реализации поставленной задачи по автоматизации расчетов был написан макрос на встроенном языке сценариев Visual Basic.

В результате выполнения работы макрос заполнит значения « $Y_p$ » и «Погрешность» в таблице (рисунок 4), рассчитав их по формулам (2), (3).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	$Y_z, ^\circ\text{C}$	$Y_p, ^\circ\text{C}$	Погрешность	Время, с		$Y_z, ^\circ\text{C}$	$Y_p, ^\circ\text{C}$	Погрешность	Время, с		$Y_z, ^\circ\text{C}$	$Y_p, ^\circ\text{C}$	Погрешность	Время, с	
1															
2	23,5	23,5	0,08	2		40,4	41,2	1,39	167		57,7	58	0,52	332	
3	23,5	23,5	0,05	5		40,8	41,6	1,44	170		58	58,3	0,48	336	
4	23,5	23,5	0,05	8		41,2	42	1,46	173		58,3	58,5	0,36	339	
5	23,6	23,5	0,09	11		41,5	42,4	1,49	176		58,5	58,7	0,32	342	
6	23,5	23,5	0,08	14		41,9	42,8	1,51	179		58,8	58,9	0,27	345	

Рисунок 4 – Результат работы макроса (расчет значений  $Y_p$ , «Погрешность»)

время запаздывания	t	60
время объекта	To	280
коэф. передачи	Ko	0,26
начальная температура	yo	23,5
конечная температура	y	79

Рисунок 5 – Ввод коэффициентов передаточной функции

Результаты работы нацелены на сокращение времени выполнения проекта в несколько раз и нивелировать вероятность ошибки при ручном расчете параметров передаточной функции.

Результаты проведенной работы планируется внедрить в учебный процесс, что повысит качество обучения студентов. Данный макрос можно использовать в научно-исследовательских работах магистров и аспирантов при определении передаточных функций различных процессов.

Список литературы:

1. Ключников, В. В. Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам ОПД 10 «Управление техническими системами», ОПД 08 «Системы управления технологическими процессами» Лабораторная работа №3 «Определение передаточной функции объекта регулирования» Лабораторная работа №4 «Выбор типа регулятора. Оценка качественных характеристик систем автоматического регулирования» / В. В. Ключников, А. В. Тарасов ; Алт. гос. техн. ун-т
2. Автоматика и автоматизация пищевых производств / М. М. Благовещенская, [ и др. ] – М.: Агропромиздат, 1991. – 239 с.
3. Шеферд Р. Создание макросов в Microsoft Excel/ Р. Шеферд; пер. с англ. Р.М. Евтеева. – М.: НТ Пресс, 2007. – 352с.: ил.

## ДИАГНОСТИКА КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ ПЛАСТИНЧАТОГО КОМПРЕССОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ AUTOCAD

Лукьянченко А. – студент гр. 8ТМиО – 41

Седешев М.А. – к.т.н., доц. каф. МАПП

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

На пластинчатом компрессоре, установленном на кафедре МАПП АлтГТУ, при обслуживании был сломан болт крепления крышки к корпусу. Тело болта застряло в корпусе и для устранения неисправности компрессор был полностью разобран. Было принято решение исследовать конструкцию пластинчатого компрессора и его работу. Для этого после разборки были произведены измерения деталей с целью дальнейшего выпуска ремонтных чертежей.

Данный компрессор (рисунок 1, 2) состоит из корпуса, двух крышек, в которых эксцентрично относительно корпуса вращается в подшипниках скольжения ротор. В роторе имеются радиально расположенные пазы, в которых установлены текстолитовые пластины. Эти пластины свободно скользят в пазах под действием центробежных сил при вращении ротора и прижимаются под действием этих сил к внутренней цилиндрической поверхности корпуса.

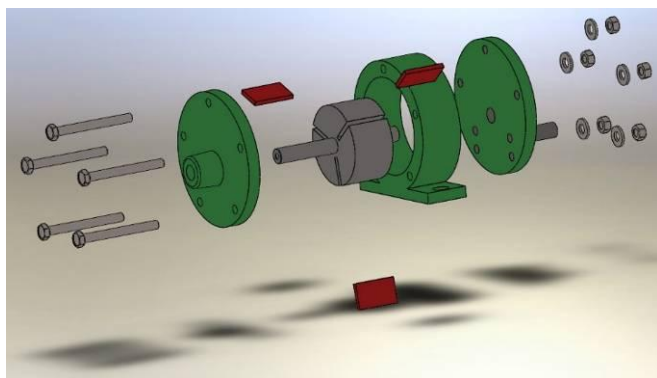


Рисунок 1 – Устройство пластинчатого компрессора

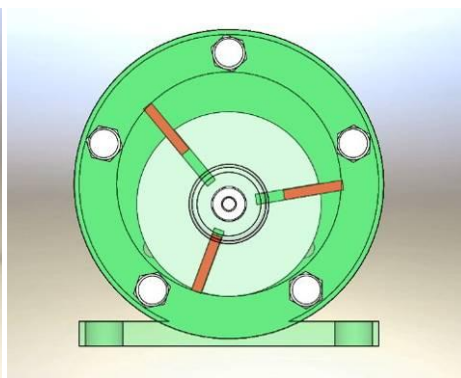
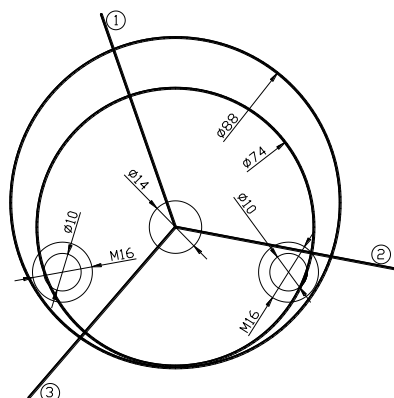


Рисунок 2 – Эксцентричное расположение ротора в корпусе

Эксцентриситет позволяет создавать между ротором и внутренней поверхностью корпуса переменный зазор. Причем данный зазор должен быть организован так, чтобы от зоны всасывания до зоны нагнетания объем, образованный щелью и пластинами ротора, претерпевал только сжатие.

Как показал графический анализ в AutoCAD расположение штуцера, который должен обеспечивать подвод воздуха в компрессор, спроектирован неправильно. Воздушный поток, поступающий в компрессор через отверстие диаметром 10мм практически перекрыт торцом ротора (рисунок 3).



Цифры 1, 2, 3 в окружности – пластины ротора (условно выходят за пределы корпуса), диаметры 88мм и 74мм, соответственно внутренний диаметр корпуса и наружный ротора, штуцера с отверстием диаметром 10мм для подвода воздуха ввернуты по резьбе М16

Рисунок 3 – Схематическое изображение внутреннего устройства компрессора

Воздух имеет возможность поступать из отверстия диаметром 10мм через резьбовое отверстие М16. Поэтому будем считать, что на рисунке 3 показан конец всасывания. Пусть условно в зазоре между пластинами 1 и 2 давление воздуха равно атмосферному.

В программе AutoCAD проведен анализ изменения данного объема воздуха в зависимости от угла поворота ротора. Для этого через 5 градусов подсчитывался объем зазора между ротором, пластинами и корпусом компрессора с помощью команд “boundary” и massprop” программы AutoCAD до момента выталкивания воздуха в выпускной штуцер.

Результаты расчета данного объема через каждые 5 градусов (ширина зазора равна 40мм) приведены в таблице 1. Считая процесс изотермическим, в котором температура рабочей среды постоянна, и, выражая изотермический процесс через уравнение идеального газа  $P_1V_1 = P_2V_2$ , где  $P$  – давление,  $V$  – объем газа (индекс 1 относится к начальному состоянию рабочей среды, а индекс 2 – к конечному), было рассчитано давление в этом зазоре.

На основе этих данных построен график зависимости объема зазора от угла поворота ротора от зоны всасывания до зоны нагнетания (рис. 4) и построен график зависимости давления в зазоре от угла поворота ротора компрессора (рис. 5).

Таблица 1 – Расчетные зависимости объема и давления транспортируемого воздуха от угла поворота ротора

угол поворота, град	площадь сечения рабочей зоны, мм <sup>2</sup>	Объем камеры (L=40мм), мм <sup>3</sup>	Давление в камере, атм	угол поворота, град	площадь сечения рабочей зоны, мм <sup>2</sup>	Объем камеры (L=40мм), мм <sup>3</sup>	Давление в камере, атм
0	959	38360	1,00	45	1119	44760	0,86
5	991	39640	0,97	50	1116	44640	0,86
10	1020	40800	0,94	55	1109	44360	0,86
15	1046	41840	0,92	60	1097	43880	0,87
20	1068	42720	0,90	65	1082	43280	0,89
25	1086	43440	0,88	70	1062	42480	0,90
30	1101	44040	0,87	75	1039	41560	0,92
35	1111	44440	0,86	80	1012	40480	0,95
40	1117	44680	0,86	85	983	39320	0,98

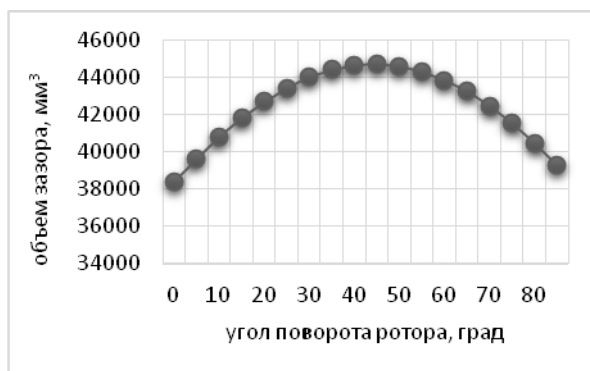


Рисунок 4 – Зависимость объема транспортируемого воздуха от угла поворота ротора

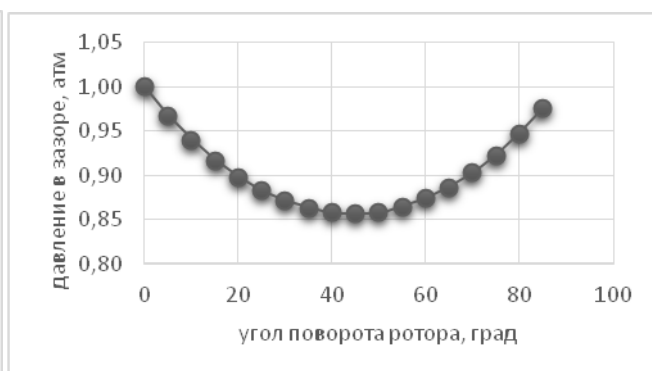


Рисунок 5 – Зависимость давления транспортируемого воздуха от угла поворота ротора

На основании графиков (рис. 4 и 5) можно сделать вывод, что зона подвода на данном компрессоре организована неправильно. Воздух после всасывания сначала расширяется, а затем сжимается. Поэтому предлагается расширить зону всасывания так, чтобы после всасывания воздух, находящийся в зазоре только претерпевал сжатие.

Выводы. На пластинчатом компрессоре должны быть проведены работы по его модернизации с целью обеспечения нормальной работы: изменена зона подвода, которая бы не препятствовала входу воздуха и процесс всасывания должен завершаться в момент достижения максимального объема транспортируемого зазора и при дальнейшем вращении ротора приводило бы только к сжатию воздуха. Эти мероприятия позволят увеличить КПД компрессора и его производительность.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛИНИИ ОТХОДОВ НА ПИВОВАРЕННОМ ЗАВОДЕ

Аншаков П.Н. – студент гр.ТМиО – 41, Глебов А.А. – к.т.н., доц. каф. МАПП  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Одним из следствий научно-технического прогресса в современном обществе является негативное влияние промышленных производств на природную среду, вызывающее ее разрушение. Эта проблема выходит за рамки региональной и приобретает глобальный характер. Таким образом, реальная перспектива выхода из экологического кризиса предопределяется кардинальными изменениями сознания человека, его образа жизни и производственной деятельности. Изменения производственной деятельности предприятий, направленные на создание безотходных или малоотходных экологически безопасных технологий, должны быть одними из актуальных задач каждой специальной инженерной дисциплины и, в частности, пивоваренной инженерии.

Нынешний уровень технического развития отечественных пивоваренных предприятий достаточно высок и продолжает неуклонно повышаться. Уже сегодня многие современные пивоваренные заводы можно причислить к малоотходным производствам, поскольку большая часть отходов их производственной деятельности рекуперируется или утилизируется и либо возвращается в производство, либо реализуется заинтересованным потребителям в качестве побочных продуктов пивоварения.

При этом, помимо собственной экономической выгоды предприятия от внутреннего потребления или реализации сторонним потребителям рекуперированных или утилизированных производственных отходов, решается и одна из наиболее актуальных проблем - повышается экологическая безопасность окружающей среды от техногенных воздействий.

Поскольку пивоваренные предприятия размещают, как правило, в достаточно крупных индустриальных центрах с развитой промышленностью, то не вызывает сомнений, что экологические проблемы в этих регионах будут обостряться. В связи с этим одной из задач технического развития пивоваренных предприятий станет создание полностью безотходных производств с замкнутым технологическим циклом.

При производстве каждого гектолитра пива образуется около 1,5-1,8 кг избыточных пивных дрожжей. Поэтому при объеме производства на предприятии около 10 млн. дал пива в год, количество отработанных пивных дрожжей составляет около 1700 тонн в год. Отработанные дрожжи смывают в канализацию, что тоже невыгодно для предприятия и влечет большие затраты.

Дрожжи являются активными потребителями кислорода - типичное значение ХПК (это показатель химического потребления кислорода – один из важных показателей уровня загрязнённости сточных вод предприятий органическими соединениями) для них очень высокое и составляет около 5,3 г/л, что делает недопустимым с экологической точки зрения их сброс в сточные воды без специальной обработки. Кроме того, это нежелательно еще и потому, что дрожжи богаты белком и витаминами и, следовательно, нерационально безвозвратно терять эти ценные биологические соединения.

Поэтому одним из способов утилизации избыточной биомассы дрожжей является переработка избыточных пивных дрожжей основанная на высушивании их биомассы для получения белковых кормовых добавок для животноводческих хозяйств. Пивные дрожжи на 40-60 % состоят из белка, являясь одним из наиболее ценных его природных источников. Они содержат Белок, Витамин В1(Тиамин), Витамин В2(Рибофлавин), Витамин В3(РР никотиновая кислота), Витамин В4(Холин), Витамин В5(Пантотеновая кислота), Витамин В6(Пиридоксин), Витамин В7(Биотин, Н), Витамин В9(Фолиевая кислота), Витамин Е, незаменимые жирные кислоты, макро и микроэлементы включая кальций, магний, железо, марганец, цинк и другие. Их применяют для поддержания естественного обмена веществ, укрепления иммунитета, улучшения аппетита. Дрожжи улучшают моторику и всасывающую способность кишечника, стимулируют усвоение пищи, активизируют транспортные функции кишечника, стимулируют работу поджелудочной железы, повышают аппетит. Они также оказывают регулирующее влияние на функции центральной нервной системы, стимулируют кроветворение, нормализуют функции печени.

В свежем виде пивные дрожжи представляют собой нестойкий продукт, и разложение их при комнатной температуре начинается через несколько часов, а при температуре 30°C - через 20-30 минут. Наилучший метод консервирования дрожжей - это сушка. В сухом состоянии (при содержании влаги около 10%) дрожжи сохраняются в течение длительного времени. Добавка в рацион корма 50 грамм сухих пивных дрожжей гарантирует стабильный и быстрый прирост веса при откорме животных.

На базе производства целесообразно организовать линию по переработки дрожжей, которые богаты белком, витаминами и другими полезными веществами.

Проведя анализ существующих технологий переработки дрожжей, был скомбинирован лучший вариант, подходящий для данного производства.

Линия состоит из следующего оборудования:

- винтовые насосы;
- вибрационное сито;
- сборник осадочных дрожжей;
- декантер;
- аппарат для автолиза дрожжей;
- сушильная установка;
- вентилятор;
- промыватель испарений;
- винтовой конвейер;
- сборник высушенных дрожжей;
- упаковочная машина;
- ленточный конвейер.



Схема предлагаемой линии представлена на рисунке.

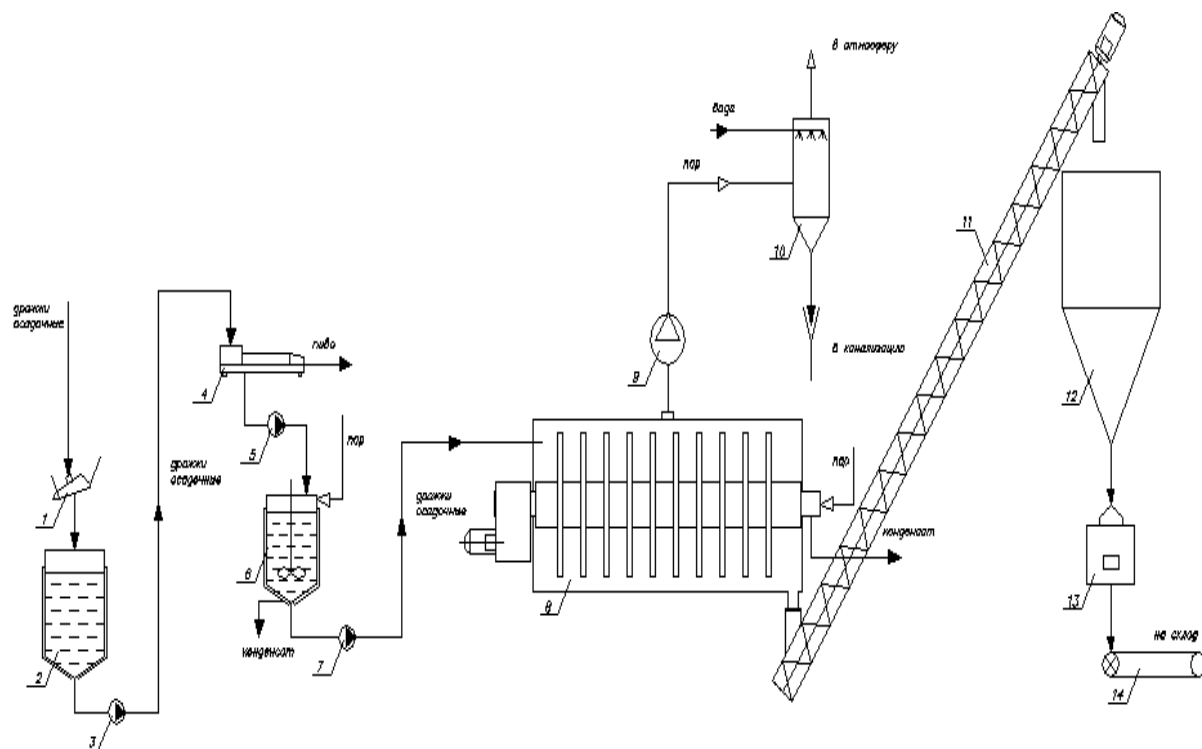


Рисунок. - Схема линии переработки дрожжей 1 — вибрационное сито; 2 — сборник осадочных дрожжей; 3, 5 и 7 — насос винтовой; 4 — декантер; 6 — аппарат для автолиза дрожжей; 8 — сушилка роторно-трубчатая; 9 — вентилятор; 10 — промыватель испарений; 11 — винтовой конвейер; 12— сборник высушенных дрожжей; 13 — упаковочная машина; 14 — ленточный конвейер.

Избыточные пивные дрожжи через вибрационное сито 1, на котором из биомассы отделяют комочки, хмелевые частицы и прочие примеси, подают в сборник 2, где их накапливают перед последующей переработкой. На первом этапе переработки из пивных дрожжей удаляют остатки пива в декантере 4, в который дрожжевую биомассу подают насосом 3 из сборника. Из декантера дрожжи насосом 5 перекачивают в аппарат 6, в котором биомассу подвергают тепловой обработке для ее автолиза. Автолизат пивных дрожжей насосом 7 направляют на роторно-трубчатую сушилку 8. Испаряемую влагу, выделяемую из биомассы дрожжей в процессе сушки, удаляют из сушилки вентилятором 9. Удаляемые из сушилки испарения промывают водой в аппарате 10, из которого нерастворимые газы выбрасываются в атмосферу, а водорастворимые летучие соединения, содержащиеся в испарениях, вымываются в канализацию. Высушенные дрожжи выгружаются из сушилки и винтовым конвейером 11 подаются в сборник 12, из которого высушенные пивные дрожжи расфасовывают в мешки, по 2 кг, и отгружают, при помощи ленточного конвейера 14, на склад.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ДРОБЛЕНИЯ СОЛОДА НА ПИВОВАРЕННОМ ЗАВОДЕ

Деменков В.С. — студент гр. ТМиО – 41, Глебов А.А. — к.т.н., доц. каф. МАПП

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

Технологическая цель дробления солода – расщепление оболочки и измельчение мучнистой части зерна для обеспечения лучшего контакта с водой, вследствие чего ускоряются биохимические и физические процессы, протекающие при затирании, в результате которых экстрактивные вещества солода переходят в раствор. Дробление зернового сырья решающим

образом оказывает влияние на последующие стадии производственного процесса и на качественные показатели получаемого пива, в частности, на процесс затираания, продолжительность осахаривания, фильтрование затора, выход продукции, брожение, фильтруемость пива, цвет, вкус и устойчивость к старению.

Дробление солода может быть организовано различными способами:

1) Сухое дробление – наиболее простой традиционный способ дробления солода, предусматриваемый равномерную подачу солода в дробилку, обработку солода на валках и сбор солода в промежуточном бункере.

2) Кондиционированное дробление – более совершенный способ дробления солода, предусматриваемый предварительное увлажнение солода, выдерживание зерна, равномерную подачу солода в дробилку, обработку солода на валках и сбор дробленого солода в промежуточном бункере.

3) Мокрое дробление – заключается в предварительном увлажнении солода с применением большого количества вода. Продолжительность увлажнения около – 20 мин. Влажность солода при этом повышается до 18-25%. Учитывая, что при влажности солода более 15% для хорошего дробления достаточно однократного сжатия зерна.

На предприятии используется способ мокрого дробления.

Солододробилка для мокрого дробления солода (см. рис. 1) состоит из бункера 2 с оросителем 1, смесителя 11, дозирующего валика 3, корпуса 7 дробилки, пары рифленых валков 4, вентиля 9, 10, дисковых валиков 8, насоса 6 и трехходового крана 5. Оборудование для мокрого дробления солода, как правило, полностью автоматизировано и работает по заданной программе. Зазор между валками составляет 0,35-0,4 мм.

Солододробилка работает следующим образом. Определенное количество очищенного солода, соответствующее единовременной засыпи, загружают в бункер, после чего через вентиль 10 в ороситель и корпус дробилки подают теплую воду с температурой 25-50 °С. Подачу воды в установку прекращают после достижения рекомендуемого соотношения — на 100 кг солода расход воды составляет 75 л.

По мере накопления в нижней части корпуса воды включают насос и валки. Увлажнение солода в бункере осуществляют за счет циркуляции воды с помощью насоса в течении 10 – 20 мин.

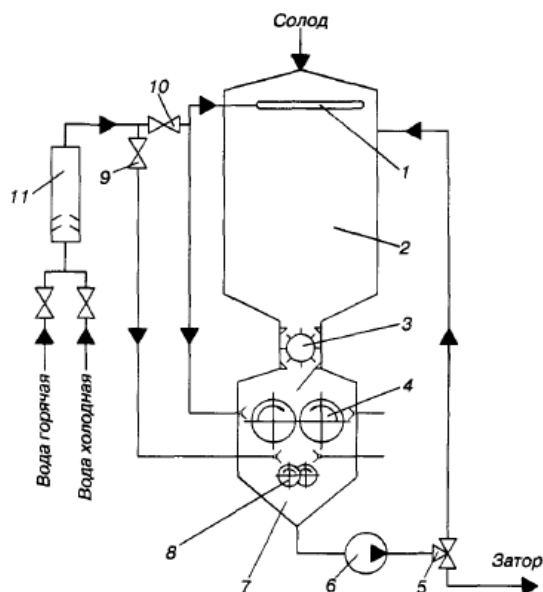


Рисунок 1 - Устройство солододробилки для мокрого дробления солода.

1 – ороситель; 2- бункер; 3 - дозирующий валик; 4— валки; 5 - трехходовой кран; 6 - насос; 7- корпус; 8 - дисковые валики; 9 - вентиль; 10- вентиль; 11 – смеситель

После достижения требуемой влажности валки и насос останавливают, а солод оставляют на некоторое время (5-10 мин) в состоянии покоя для слива остатков воды. В воде накапливается

~1% экстрактивных веществ, поэтому ее насосом перекачивают в заторный аппарат. Для подачи увлажненного солода на валки приводят в движение дозирующий валик. Одновременно начинают вращаться навстречу друг другу валки, осуществляется подача теплой воды через вентиль для орошения размолотого солода, и приводятся в движение дисковые валки, которые способствуют лучшему отделению оболочек от мучнистой части солода. Продолжительность дробления 25-35 мин. Общая продолжительность цикла мокрого дробления составляет около 70 мин. Удельное потребление электроэнергии на мокрое дробление (с учетом работы насоса) составляют 2,5 кВт • ч/т.

Недостатками данного способа являются:

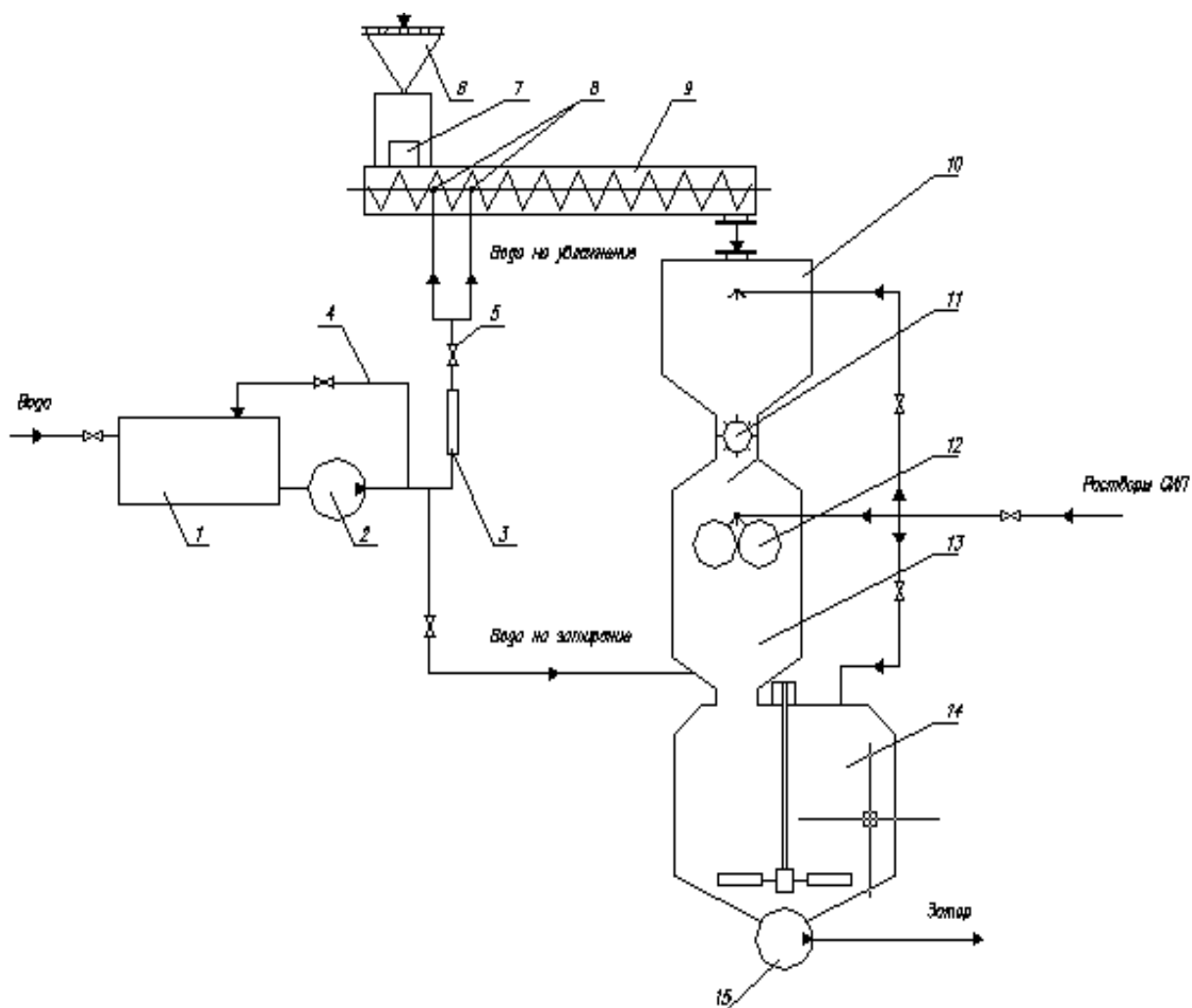
1) При увлажнении зерна эндосперм частично либо полностью набухает, что препятствует оптимальному измельчению, поскольку солод вместо дробления будет сплющиваться. Плохое дробление солода затрудняет осахаривания зернового сырья в процессе затирания.

2) При недостаточном удалении влаги с поверхности зерна во время дробления будут замазываться валки солододробилки.

Еще один фактор, оказывающий влияние на дробление солода, это тип применяемого оборудования для фильтрования затора. Если на предприятии для фильтрования затора используют фильтрационный аппарат, то необходимо так измельчить солод, чтобы его оболочка по возможности максимально сохранилась целой. Это обстоятельство имеет особое значение при фильтровании сусла, поскольку слой дробины используется в качестве естественного фильтрующего материала. Для образования рыхлого, легко проницаемого, пористого слоя необходимо, чтобы оболочки солода как можно меньше разрушались, так как тонко измельченные частички плотнее прилегают друг к другу, что затрудняет фильтрование и снижает производительность фильтрационного аппарата.

При использовании мокрого способа дробления происходит более тонкое измельчение оболочки солода, что оказывает неблагоприятное воздействие на фильтрование затора. Это еще один недостаток данного способа.

Решить данные проблемы можно используя следующую систему дробления солода:



1 – сборник воды; 2 – насос; 3 – расходомер; 4 – байпас; 5 – клапан; 6 – магнитный сепаратор; 7 – дозирующее устройство; 8 – форсунки; 9 – шнек; 10 – приемный бункер; 11 – дозирующий валик; 12 – валки; 13 – корпус дробилки; 14 – смеситель; 15 – насос

Рисунок №2 - Модернизированная схема дробления солода.

Технологическую воду, подогретую до 30 °С в сборнике 1, оснащенном поплавковым клапаном, насосом 2 через расходомер 3 и регулирующий клапан 5 нагнетают через форсунки 8, расположенные на вале шнека 9, по которому в тоже время равномерно перемешают солод, предварительно прошедший через магнитный сепаратор 6 и дозирующее устройство 7. Смоченный солод интенсивно перемешивается лопастями шнека. Расход воды, подаваемой на увлажнение, регулируют с помощью байпаса 4. Увлажнённый солод из шнека поступает в бункер 10, в котором за 1,5-2 мин пребывания с него удаляются остатки капельной жидкости. Для подачи увлажнённого солода на валки приводят в движение дозирующий валик 11. Одновременно начинают вращаться навстречу друг другу дробильные валки 12. Дробленый солод поступает в смесительную камеру 14, предназначенную для смешивания дробленого солода с водой и получения однородной заторной массы – бескомкового затора. В нижней части смесительной камеры укреплен заторный насос центробежного типа. Предназначенный для перекачки заторной массы в заторный аппарат. По завершению процесса дробления производится мойка оборудования.

При использовании данной системы дробления можно отметить следующие преимущества:

- отпадает необходимость в некоторых видах вспомогательного оборудования (бункере для дробленого солода, конвейере для его транспортирования, предзаторнике, предзаторном аппарате и насосе для транспортировки затора);

- сокращается в 2-3 раза продолжительность дробления единовременной засыпи;
- снижаются удельные энергозатраты на дробление;
- сокращается занимаемая дробилкой производственная площадь;
- исключается пылеобразование при дроблении, в результате чего, во-первых, снижаются общие затраты на аспирацию и предъявляются менее жесткие требования к производственному помещению с точки зрения обеспечения взрывобезопасности, а во-вторых, повышается культура производства, благодаря чему появилась возможность устанавливать дробилки этого типа непосредственно в варочном отделении;

- обеспечивается большая целостность оболочки зерна, что способствует улучшению фильтруемости затора за счет повышения проницаемости слоя дробины в фильтрационном аппарате;

- появляется возможность использовать большую единовременную зернозасыпь благодаря лучшей фильтруемости затора либо при одинаковой зернозасыпи появляется возможность использовать фильтрационный аппарат меньшего размера и, следовательно, меньшей стоимости;

- обеспечивается эффективное перемешивание дробленого солода с водой в специальной смесительной камере дробилки, что предотвращает образование комков и способствует равномерному осахариванию затора;

- появляется возможность реализации современной концепции «бескислородной» технологии за счет герметичной конструкции системы и подачи затора в заторный аппарат снизу с помощью насоса с регулируемой подачей при минимизации контакта с кислородом воздуха;

- обеспечивается высокий уровень производственной санитарии как системы дробления, так и транспортирования затора за счет высокоэффективной, автоматизированной, безразборной мойки;

- упрощается монтаж и техническое обслуживание солододробилки благодаря более простому конструктивному устройству (меньше дробильных валков, приводов, механических передач и пр.);

- снижаются капитальные и эксплуатационные затраты на дробление солода.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СУСЛОВАРОЧНОГО АППАРАТА НА ПИВОВАРЕННОМ ЗАВОДЕ

Мартыненко Р.В. - – студент гр. ТМиО – 41, Глебов А.А. – к.т.н., доц. каф. МАПП  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Пивное сусло - это водный раствор экстрактивных веществ солода и хмеля. Экстрактивными (или экстрактом) называют вещества, которые могут раствориться и перейти в сусло при затирании. В современном пивоваренном производстве этап варки сусла занимает одно из центральных мест. На пивоваренном заводе этот этап проходит в варочном отделении, которое в свою очередь состоит из дробилки, заторного аппарата, фильтрационного аппарата, сусловарочного котла и гидроциклона. Именно на этом этапе происходит варка отвара с добавлением хмеля.

При кипячении сусла с хмелем приходится сталкиваться с проблемами, оказывающими негативное влияние как на технологические, так и технико-экономические показатели процесса. К числу таких проблем, в частности, следует отнести:

- 1) повышенные затраты энергии;
- 2) повышенную термическую нагрузку на сусло (поскольку в качестве греющего агента используют пар с температурой до 150 °С), которая, в свою очередь:
  - негативно влияет на качество сусла вследствие разрушения ценных компонентов;
  - способствует пригоранию сусла;
- 3) большое количество образующихся испарений, создающее проблемы:
  - экологии при выбросе вторичного пара в атмосферу;
  - переизбытка горячей воды (80 °С);
  - увеличения сточных вод, образующихся при конденсации вторичного пара;
- 4) недостаточное удаление нежелательных летучих веществ, в том числе диметилсульфида (ДМС);
- 5) недостаточное сохранение азотистых соединений, оказывающих в дальнейшем позитивное влияние на пенообразование.

В связи с этим совершенствование сусловарочных агрегатов различных типов, очевидно, будет направлено, прежде всего на:

- сокращение энергопотребления;
- снижение термической нагрузки на сусло;
- сокращение количества испаренной влаги;
- оптимизацию концентрации ДМС;
- сохранение азотистых соединений в сусле.

Таким образом, цель работы направлена, в первую очередь, на повышения эффективности сусловарочного процесса.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучить современное положение сусловарочных систем на «ОАО БПЗ»
2. Изучить технологию варки сусла
3. Предложить методы, направленные на улучшение процесса варки сусла

### Цели и задачи кипячения сусла

Сусло из фильтрчана поступает в сусловарочный котел. В сусловарочном котле сусло будет кипятиться около 1-1,5 часов, при этом в него добавят хмель. Сусло кипятят для того, чтобы: довести его до нужной концентрации (вода в процессе варки выпаривается) простерилизовать его и инактивировать ферменты заставить выпасть в осадок (коагулировать) нестабильные протеины извлечь из хмеля важные для продукта горькие вещества удалить нежелательные ароматические вещества.

Сусловарочный аппарат с внутренним нагревателем

На предприятии в настоящее время используется сушварочный аппарат с внутренним кипятивником. В нём сусло кипятят 60-70 минут при 103-106°C. Степень испарения при кипячении с использованием низкого избыточного давления составляет около 6%.

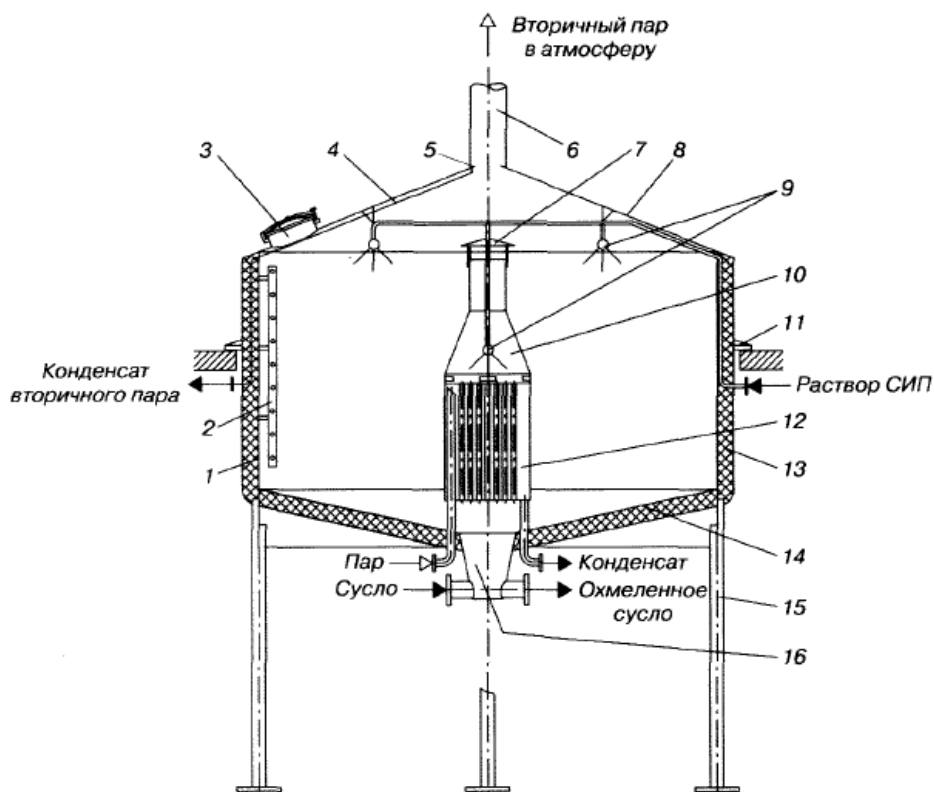


Рисунок 1- Сушварочный аппарат с внутренним нагревателем.

1- корпус; 2- лестница; 3— люк; 4- конденсаторовод; 5- желоб кольцевой; 6- вытяжная труба; 7- колпак отбойный; 8— крышка; 9- мощная головка; 10- конический диффузор; 11- кольцо декоративное; 12— теплообменник (перколятор); 13 - теплоизоляция; 14 - днище; 15— опора; 16— чаша сливная.

#### Процессы происходящие во внутреннем кипятивнике

Данный кипятивник представляет собой кожухотрубный теплообменник, расположенный в сушварочном котле. Через вертикальные трубы кипятивника поднимается сусло, нагреваемое паром, подводимым сверху в межтрубное пространство. При этом пар охлаждается и конденсируется. В сужающемся конусе кипящее сусло ускоряется и, поднимаясь над уровнем поверхности сусла в котле, распределяется по этой поверхности широким веером с помощью распределительного экрана, что способствует хорошему испарению и в то же время обеспечивает постоянство уровня сусла в котле.

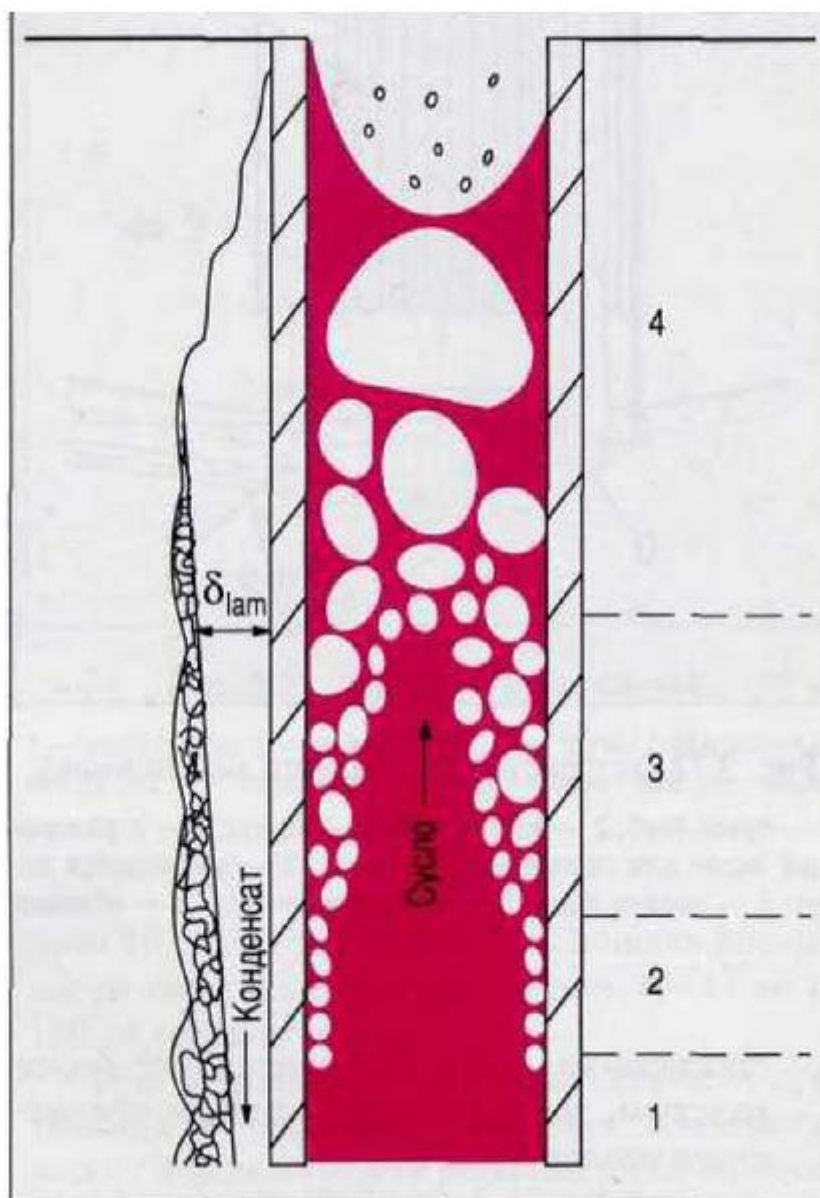


Рисунок 2- Образование пара в нагревательных трубах внутреннего кипятивника.

1-горячее сусло, 2- зона начала образования пузырьков пара, 3- зона неполного парообразования, 4- парообразование во всём объёме сусла.

В нагревательных трубах кипятивника сусло движется снизу с температурой ниже  $100^{\circ}\text{C}$  и по мере подъема оно нагревается (рис. 2). При этом очень скоро на внутренней стенке труб образуется зона начала образования пузырьков пара (2), которая при дальнейшем подъеме переходит в зону неполного парообразования (3). И, наконец, в более широкой зоне происходит парообразование во всем объеме сусла (4), тогда как снаружи пар отдает свою энергию парообразования (энтальпию) и конденсируется, слой конденсата, стекающего вниз, становится все более толстым, все в большей степени препятствуя теплопередаче.

Очень высокая разность температур способствует хорошему кипению, но создает и проблемы. При нагреве сусло втягивается в трубы кипятивника из самых нижних слоев котла и после нагрева в кипятивнике оно распределяется на поверхности сусла. Из-за этого в котле возникает расслоение сусла с температурным перепадом до 20 градусов, которое выравнивается лишь через 15-20 мин (рис. 3). Из-за этого имеет место неравномерная обработка сусла, включая неравномерную изомеризацию горьких веществ и неравномерное испарение ДМС (диметилсульфид является летучим сернистым соединением, которое привносит в пиво ароматы вареной кукурузы или сельдерея).

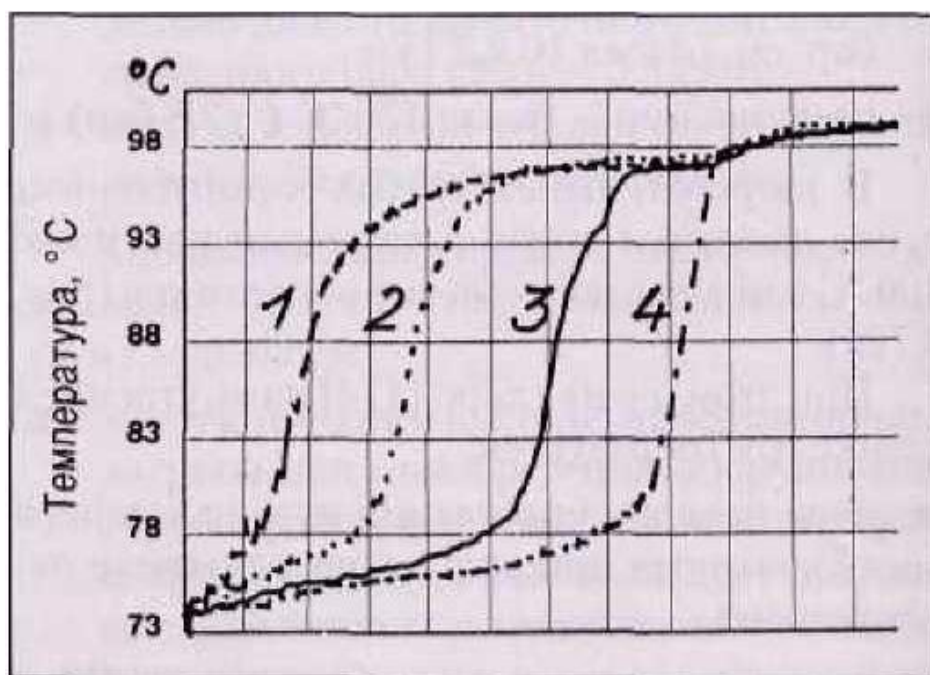


Рисунок 3 – Неравномерность температур при нагреве.

Точки измерения: 1- под поверхностью сусла; 2- в верхней трети уровня сусла; 3- в нижней трети уровня сусла; 4- над дном котла.

При нагреве сусла до температуры кипения еще очень велика разность температур между паром и выходящим суслом. Из-за этого в данной области происходит сначала карамелизация и затем пригорание. Более холодное сусло постоянно поступает в кипятильник снизу, и выходит вверху лишь тогда, когда оно начинает кипеть. Но при парообразовании объем жидкости существенно увеличивается. Из-за этого объемный расход сусла временно тормозится, и возникает сильная пульсация закипающего сусла в ходе его нагрева до температуры кипения.

К негативным последствиям неравномерной циркуляции сусла через трубы нагревателя следует отнести:

- пригорание сусла на внутренних стенках труб, что ограничивает период эффективной работы сусловарочного аппарата максимум до 8 варок (чаще всего мойку кипятильника осуществляют через каждые 3-4 варки);
- более широкий диапазон колебаний значений коэффициента теплопередачи;
- тепловое расслоение сусла. Причем разница температур в верхнем и нижнем слоях может достигать 20°C; лишь спустя 15-20 мин после начала нагревания сусла температура в аппарате выравнивается и начинается фаза кипения.

Неравномерность температуры в сусловарочном аппарате сказывается на ухудшении физико-химических показателей сусла;

- опережающий нагрев и более ранний переход к кипячению верхних слоев сусла способствует преждевременному уменьшению содержания коагулируемого азота, оказывающего положительное влияние на пенообразование;

- отставание в нагревании нижних слоев сусла ведет к ухудшению процесса изомеризации первой порции хмеля.

В настоящее время существует хорошая альтернатива внутреннему кипятилнику - это кипячение при низком избыточном давлении с выносным кипятилником. У сусловарочных котлов с выносным кипячением сусло циркулирует через кипятильник, расположенный вне котла, оборачиваясь при этом 7-8 раз в час. При этом сусло постоянно отбирается из нижней части сусловарочного котла и перекачивается насосом через выносной кипятильник (рис. 5). В качестве выносного кипятильника применяется чаще всего кожухотрубный теплообменник, реже - пластинчатый теплообменник. Через трубы пропускают сусло, с наружной стороны труб противотоком движется пар. Когда сусло нагревается, то пар охлаждается и конденсируется.



Выносной кипятыльник устанавливают вертикально или горизонтально, в последнем случае его устанавливают с легким наклоном для лучшего стекания конденсата.

Этот способ имеет ряд преимуществ перед внутренним кипячением:

- циркулирующий объем сусла допускает точную регулировку и может быть легко приспособлен к объему суслотварочного котла;
- температура сусла на выходе из выносного кипятыльника может точно устанавливаться;
- имеется возможность использования строго контролируемого выдерживания сусла при повышенных температурах с помощью дополнительного буферного танка;
- возможно использование для обогрева предельно низкого избыточного давления насыщенного пара ( $P_{изб} = 0,3 \text{ бар}$ );
- можно устанавливать любую нужную величину поверхности теплообмена.

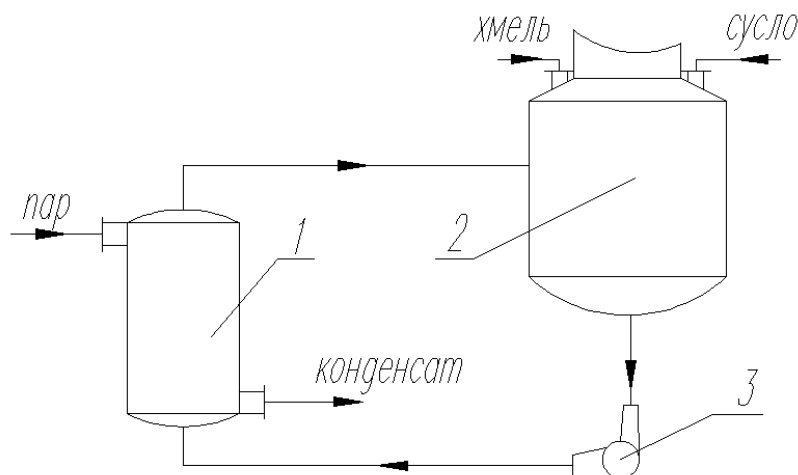


Рисунок 4 – Схема суслотварочного котла с выносным кипятыльником.

1 - выносной кипятыльник; 2- суслотварочный котёл; 3 – насос.

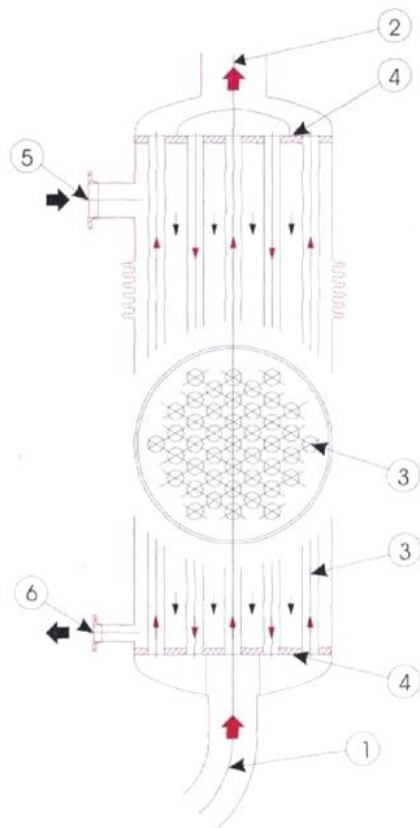


Рисунок 5 – Выносной кипятыльник.

1 – вход сусла; 2 – выход сусла; 3 – трубы для прохождения сусла; 4 – торцевые плиты; 5 – вход пара; 6 – выход конденсата.