

Доклад на тему:  
Использование вихревого эффекта  
в зерновой промышленности

Докладчик: Набережнева Светлана Олеговна

Научный руководитель: Портнов Владимир Васильевич

Вихревая труба является простейшим вихревым аппаратом, предназначенным для получения нагретого или охлажденного газа.

Она состоит из сопла для ввода сжатого газа, камеры разделения, диафрагмы для выхода охлажденного потока и дросселя для выхода нагретого потока.

Главное преимущество вихревых труб – простота их изготовления. В отличие от других термотрансформаторов вихревая труба не содержит подвижных элементов, которые регулируют процесс.

Вихревой эффект был открыт в 1933 г. французским инженером Жоржем Жозефом Ранком, который экспериментально установил различие в температурах потоков воздуха, движущихся у оси и на периферии циклона-пылеуловителя. Это открытие игнорировалось до 1946 г. пока немецкий физик Рудольф Хильш не опубликовал работу об экспериментальных исследованиях вихревой трубы.

# Некоторые области применения вихревого эффекта:

- технология производства листовых материалов (производство стекла);
- технология машиностроения;
- пищевые технологии (при разделении (дроблении) карамели);
- судоремонт (охлаждение массивных капролоновых гильз);
- мебельная промышленность;
- медицина;
- кабина машиниста в поезде метро;
- металлургия;
- ремонтные работы на теплонапряженных энергообъектах (воздухоохладители для теплозащитных костюмов);
- сельскохозяйственное производство (кратковременное охлаждение продукции в ящиках, сушка зерна, хранение зерна, обработка зерна).

# Послеуборочная сушка зерна

В условиях рискованного земледелия послеуборочная сушка зерна имеет важное значение.

Критическая для хранения влажность семян рапса тем ниже, чем выше содержание в них масла.

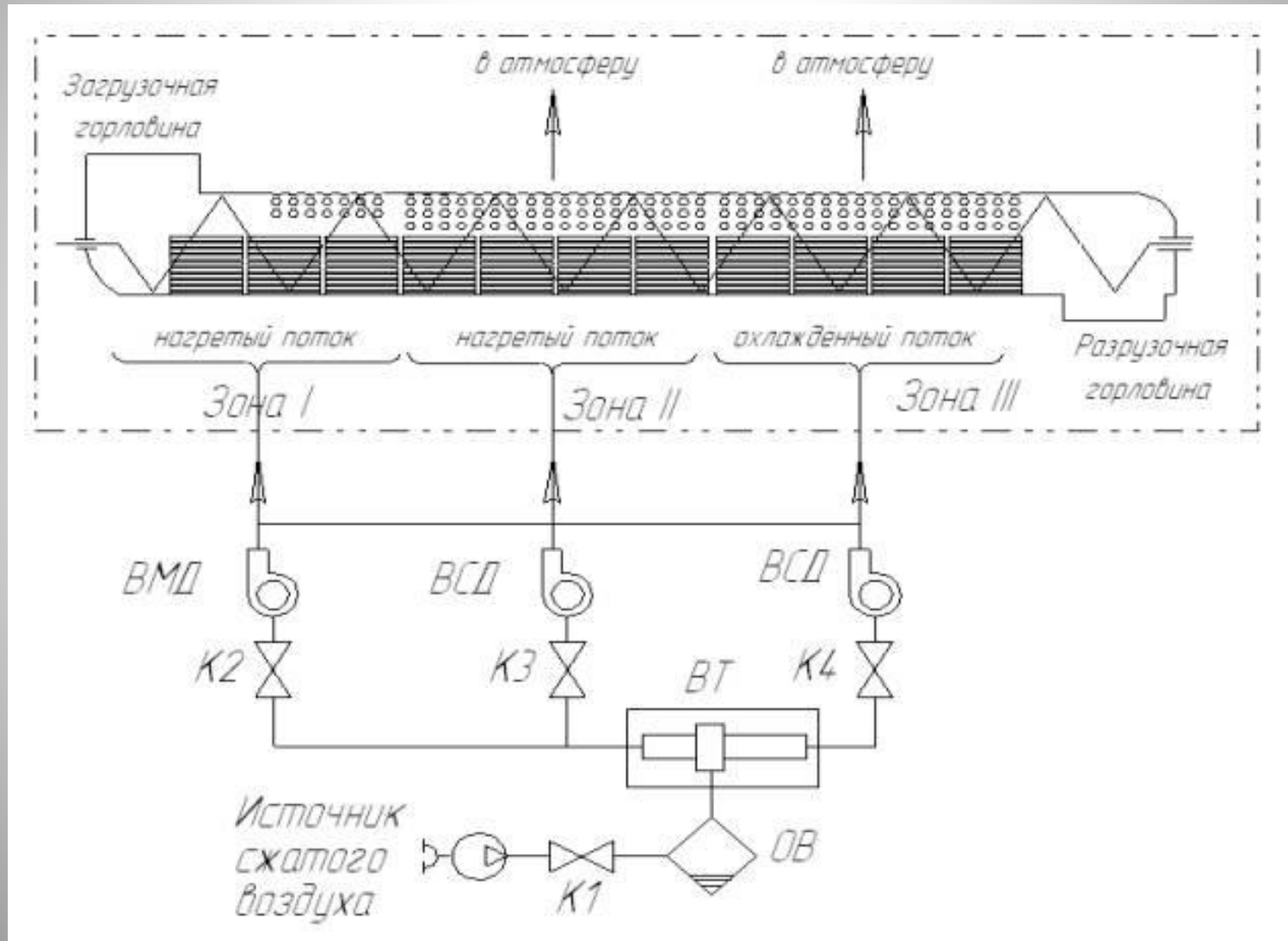
Сохранность посевных и товарных качеств семян рапса тем лучше, чем ниже влажность семян, закладываемых на хранение.

Одним из способов сократить расход энергии является применение вихревой трубы.

Принцип работы вихревой трубы базируется на вихревом эффекте. Сущность вихревого эффекта заключается в снижении температуры в центральных слоях закрученного потока газа (свободного вихря) и повышении температуры периферийных слоев.

При соответствующей конструкции устройства, вихрь газа удастся разделить на два потока: с пониженной и повышенной температурами.

# Принципиальная схема установки для сушки семян рапса



Воздух от источника (компрессор) поступает в осушитель ОВ, а затем в вихревую трубу ВТ, где благодаря процессам энергоразделения формируется нагретый и охлажденный потоки.

Эти потоки воздуха подаются в соответствующие зоны, где винтовым рабочим органом материал перемещается к разгрузочной горловине.

С помощью крана К1 регулируется подача сжатого воздуха, а через краны К1, К2 и К3 осуществляется подача соответственно горячих и холодного потоков.

В зонах I и II материал нагревается сушильным агентом, создаётся псевдооживленный, кипящий слой, который вентилируется нагретым воздухом, происходит дополнительный съём влаги, менее интенсивный, чем в зоне I.

После сушки семена должны быть охлаждены до температуры, превышающей температуру наружного воздуха не более чем на  $10^{\circ}\text{C}$ , поэтому в зоне III происходит охлаждение материала, с последующей разгрузкой.

Так как дробление семян рапса рабочими органами сушилок и транспортирующих механизмов допускается не более 0,5%, особое внимание было уделено кожуху шнека.

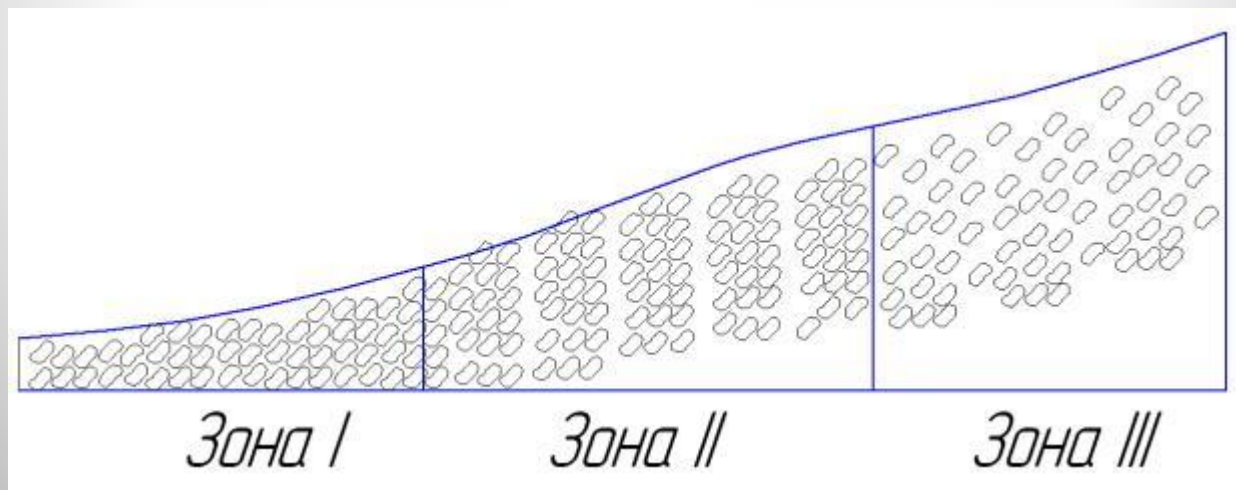
Нижняя часть кожуха шнека в зоне I – сплошная, верхняя – перфорированная. Кожух в зонах II и III выполнен одинаковым: нижняя часть – решето (сито) с щелевидным отверстием  $1,1 \times 12 \text{ мм}$ , а верхняя – перфорированная, аналогично зоне I.

Тепловой поток данной установки увеличивается за счет двух составляющих:

1. Большой поверхности нагрева, так как продуваемый через зёрна воздух создаёт и конвективную составляющую совместно с кондуктивной;
2. Большого времени пребывания частиц в конвейере, что влечёт за собой большой съём теплоты.

Псевдооживленный слой даёт еще одно преимущество – равномерный съём влаги по длине винтового конвейера. В первой зоне за счёт вентилятора малого давления создаём малый оживленный слой, во второй зоне зёрна рапса начинают вылетать из слоя, при этом высушенные зёрна находятся вверху слоя, а недосушенные – внизу слоя.

На рисунке представлен характер изменения структуры зернового слоя в зависимости от влажности зерна и скорости сушильного агента.



зона I – плотный слой, зона II – разрыхленный слой, зона III – псевдооживленный слой



Конструкция предлагаемой установки проста, недорога в изготовлении и не требует обслуживания, за исключением источника сжатого воздуха.

Процесс термообработки на базе вихревой трубы отличается полной пожаро- и взрывобезопасностью, так как в ней отсутствуют горелки, калориферы и т.п. Установка является экологически безопасной, так как не содержит фреона, аммиака и других химически опасных веществ. В качестве рабочего тела вихревой трубы (хладагента) и теплоносителя выступает чистый воздух.

В качестве источника сжатого воздуха в рассматриваемой установке может быть использована обычная компрессорная станция, которая позволяет получить общепромышленное давление нагнетания 6 – 8 бар. Поскольку при сушке сельскохозяйственных культур градиенты температур строго ограничены, общепромышленное давление является избыточным.

При многократно повторяющемся кратковременном нагреве и охлаждении частицы материала отдают влагу циклически - «порциями», не подвергаясь нежелательному перегреву, отрицательно влияющему на качество получаемого продукта, например снижающему всхожесть зерна.

# Производство и хранение зародышей зерна

Одним из перспективных продуктов, уже сейчас нашедший широкое применение в медицинской, косметической отрасли и производстве продуктов питания, являются пшеничные зародыши. Этот побочный продукт мукомольного производства обладает ценным биохимическим составом.

Долговременное хранение пшеничных зародышей невозможно: через месяц начинается активный рост перекисного и кислотного чисел.

Данное явление обусловлено комплексным действием ферментов: липазы, липоксигеназы и каталазы.

Под действием липазы пшеничных зародышей идет гидролиз липидов с образованием свободных жирных кислот и дальнейшее интенсивное окисление последних. При участии липоксигеназы параллельно идет глубокий распад гидроперекисей жирных кислот на продукты кислой природы. Действие каталазы приводит к выделению свободного кислорода, интенсифицирующего окислительные процессы в продукте.

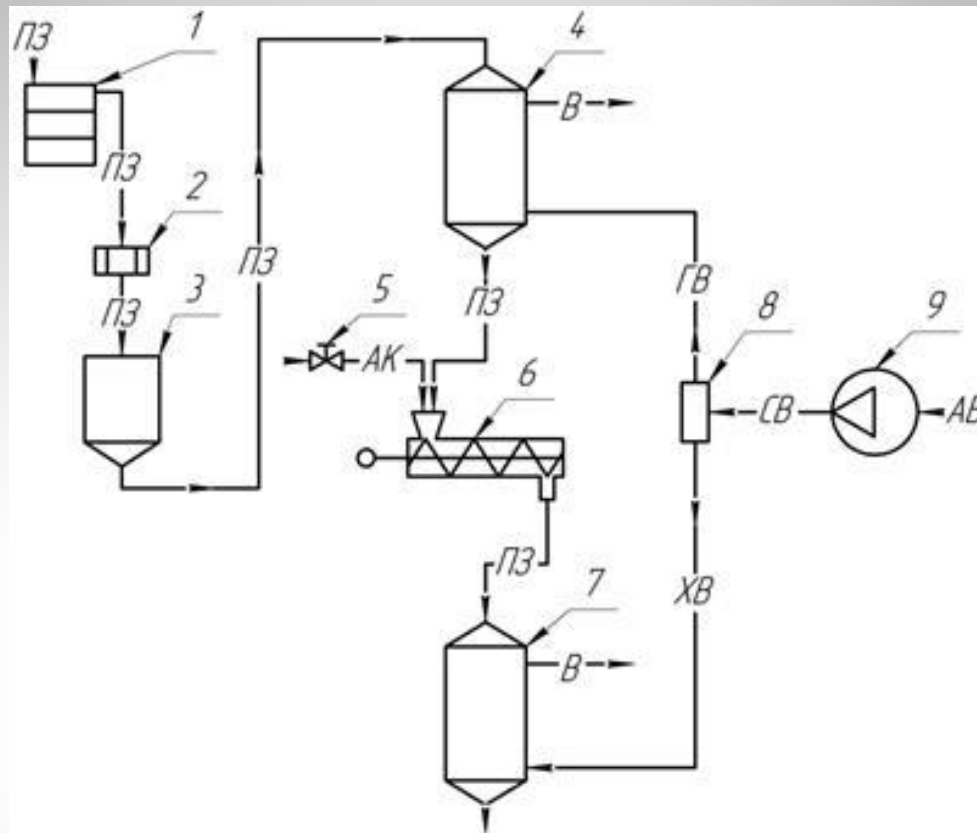
Одним из перспективных методов является комбинированный способ, предусматривающий нагрев до температуры не выше 55-57 °С, смешивание с пищевыми антиокислителями и охлаждение до 3-7 °С перед отправкой на хранение.

Данный комплекс мероприятий позволит с высокой степенью эффективности инактивировать ферменты, чувствительные к температурным режимам и значениям рН, сохранив при этом ценный нутриентный состав.

Особенностью описанного выше метода обработки пшеничных зародышей требует последовательного использования горячего и холодного теплоносителей.

Использование холодильной установки, принцип действия которой основан на эффекте Ранка-Хилша очень выгодно и оправданно. Несмотря на относительно невысокую энергетическую эффективность вихревых труб, их простота конструкции, возможность легкого регулирования, возможность конвективного подвода тепла к обрабатываемому объекту позволили предложить ее качестве источника высоко и низкопотенциального тепла.

Применение вихревой трубы позволило создать способ инактивации ферментативной активности пшеничных зародышей.



Пшеничные зародыши получают при выработке высоких сортов муки сходом с отсева (1) четвертой размольной системы. Полученный продукт очищают от металломагнитных примесей на магнитном сепараторе (2) и направляют в накопительный бункер (3).

Инактивацию ферментативной активности липазы, липоксигеназы и каталазы, которая позволит стабилизировать качество зародышей пшеницы и тем самым увеличить срок его хранения, осуществляли термическим (первоначальный нагрев и финальное охлаждение) и кислотным (ингибирование) способами.

Из накопительного бункера пшеничные зародыши направляют в камеру нагрева (4), где путем обработки горячим воздухом доводят температуру продукта до 56 – 58 °С, поступающим из периферийного потока вихревой трубы 8. Ингибирование пшеничных зародышей аскорбиновой кислотой (9-10 % от массы продукта) на следующем этапе осуществляют в смесителе (6), применяемом для обеспечения равномерного смешивания компонентов смеси.

Итоговой стадией инактивации ферментов перед отправкой на хранение является обработка холодным воздухом, поступающим из центрального потока вихревой трубы (8) в камере охлаждения (7) до температуры продукта 3 – 5 °С.

В данном способе вихревая труба является источником горячего и холодного воздуха на этапах термической инактивации. Атмосферный воздух всасывается компрессором (9), сжимается и направляется в вихревую трубу (8).

При втекании сжатого газа через сопло образуется интенсивный круговой поток, приосевые слои которого заметно охлаждаются и отводятся через отверстие диафрагмы в виде холодного потока температурой  $(-7) - (-5) ^\circ\text{C}$ . Периферийные слои при этом нагреваются и отводятся через дроссель в виде горячего потока температурой  $70 - 75 ^\circ\text{C}$ . Управление температурой потоков осуществляется путем прикрытия дросселя в вихревой трубе, при этом также повышается общий уровень давления и возрастает расход холодного потока при соответствующем уменьшении горячего потока. Отработанный воздух сбрасывается в атмосферу.

Однако сложный и неоднородный состав слоя зародышей требует постоянного контроля и регулирования различных параметров предлагаемой установки.

Таким образом мы рассмотрели способы использования вихревого эффекта применительно к хранению, производству и обработке различного зерна, главным преимуществом использования данного эффекта в установках – простота конструкции установки, отсутствие подвижных частей, невысокие затраты на изготовление

На основе данного доклада так же будет выполнена диссертационная работа.

Исходными данными для расчета являются:

- температура охлаждаемого (нагреваемого) объекта  $T$ , К;
- температурный напор между охлажденным потоком газа и охлажденным объектом  $T_k$ , К;
- потребная холодопроизводительность (теплопроизводительность)  $Q_x$  ( $Q_g$ ), кВт;
- давление и температура сжатого газа  $P_1$ , Па,  $T_1$ , К;
- физическая природа сжатого газа;
- давление среды, в которую происходит истечение  $P_k$ , Па.

Целью расчета является определение основных геометрических параметров вихревой трубы и её элементов, режимных характеристик, обеспечивающих потребные абсолютные эффекты энергоразделения  $\Delta T_x$ , расход исходного сжатого газа  $G_1$  и расходы результирующих охлажденного (подогретого) потоков  $G_x$  ( $G_g$ ).