

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Восьмая научно-практическая конференция
с международным участием
(15-16 декабря 2005 года)

Сборник докладов

г. Барнаул 2005 г. УДК 663/664

Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: Сборник докладов восьмой научно-практической конференции с международным участием (15-16 декабря 2005 года). Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова - Барнаул; 2005 г. - 138 с.

Сборник содержит доклады, представленные на восьмую научно-практическую конференцию с международным участием "Современные проблемы техники и технологии пищевых производств".

В докладах отражены результаты исследований в области прогрессивных технологий, применяемого технологического и транспортного оборудования, а также физико-механических и химико-биологических процессов, имеющих место при хранении и переработке зерна. Освещены вопросы создания новых продуктов питания повышенной ценности из традиционных и новых видов сырья. Затронуты проблемы оценки качества зерна и муки.

© Кафедра Машины и аппараты пищевых производств Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПНЕВМОТРАНСПОРТА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

К.А. Мухопад, В.П. Тарасов

Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова

Пневматический транспорт является одним из прогрессивных видов транспорта, т.к. обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с другими системами перемещения сыпучих материалов. В настоящее время применение пневмотранспорта в различных технологических процессах сдерживается рядом объективных причин. Во-первых, основным недостатком таких систем является высокий удельный расход электроэнергии на единицу перемещаемого материала. На данный момент это весомый фактор для отечественных предприятий. Во-вторых, отсутствие единого научного обоснования процесса пневматического транспортирования и, как следствие, отсутствие общей методики расчета и конструирования пневмоустановок.

Исследование процесса пневматического транспортирования, как процесса перемещения многофазной среды, основывается на четырех основных физических моделях:

- 1) чисто феноменологическая модель;
- 2) феноменологическая с включением элементов статистики;
- 3) статистическая, содержащая элементы механики сплошной среды;
- 4) чисто статистическая модель, основанная на введении функций распределения как для частиц, так и для молекул газа и получения соответствующих кинетических уравнений.

В большинстве работ, исследующих пневмотранспортирование материалов, в основе физической модели принято ламинарное течение двухфазной среды, для которого характерно организованное движение частиц. Такие модели, как правило, используются для описания установившихся режимов. Физические модели, в которых учитывается турбулентность потоков и нестационарность исследуемого процесса, в

большей мере отражают явления, происходящие в материалопроводе. Применение таких моделей позволяет исследовать характеристики движения двухфазной среды в режиме пуска пневмотранспортной установки, исследовать возможность выхода установки на необходимый стационарный режим, проследить влияние различных возмущающих факторов на устойчивость системы и т.д.

Одними из первых, кто предложил теорию движения твердых частиц в горизонтальном потоке газа, были И. Гастерштадт и Е. Трефф. Их теория основывалась на прямолинейном движении частиц под действием только одной силы потока без учета веса частиц и других факторов, осложняющих движение частиц. Дальнейшее усовершенствование данной теории позволило учесть влияние подъемной силы на движение твердых частиц. При этом, одни авторы считали, что "... главной причиной возникновения взвешенного состояния частиц является подъемная сила, возникающая из-за разницы скоростей газа над и под частицей" [3]. Другие авторы предполагали, что "... основной причиной взвешивания и переноса частиц являются турбулентные пульсации ..." [3]. К середине 70-х годов двадцатого столетия сложились три подхода, описывающих двухфазный поток "газ – твердые частицы".

Первое направление характеризуется тем, что основные зависимости, полученные для движения одиночной частицы в ламинарном или турбулентном потоке жидкости, тем или иным способом распространяются на движение дисперсной среды двухкомпонентного потока [13]. К работам этого направления можно отнести работы Б.И. Броунштейна [8], И.М. Разумова [11], О.М. Тодеса, В.А. Шваба и др. Основными ограничениями в этих работах являются следующие:

- 1) распределение частиц по сечению материалопровода равномерное;
- 2) концентрация твердого компонента исключает взаимодействие между частицами;
- 3) влияние частиц на движение несущей среды не учитывается.

В частности, в работе [8] автор приводит выражение, определяющее общий перепад давления на стационарном участке вертикального материалопровода:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 + \Delta P_n, \quad (1)$$

где ΔP_1 - потеря напора, обусловленная трением транспортирующего потока о стенки пневмоподъемника;

ΔP_2 - статический напор транспортирующего потока;

ΔP_3 - статический напор, необходимый для удержания транспортируемого материала во взвешенном состоянии;

ΔP_4 - потеря напора, обусловленная трением транспортируемого материала о стенки подъемника;

ΔP_5 - потери напора в разгонном и тормозном участках;

ΔP_n - другие потери напора.

Данное выражение для определения общего перепада давления можно встретить во многих работах [6, 11 и др.]. Оно является основой для расчета систем пневмотранспорта. Однако, формулы, определяющие потери напора, не учитывают нестационарность процессов, протекающих при пневмотранспорте, а именно:

- 1) изменение скорости материала и его концентрации по длине материалопровода;
- 2) изменение скорости воздуха и его плотности по длине материалопровода;
- 3) влияние частиц на транспортирующий поток.

Упрощенную модель движения твердой частицы в газовом потоке для определения потерь давления предлагает использовать Михаелидис в работе [9]. Данная модель основывается на том, "... что именно соударения с ограничивающими стенками являются причиной замедления частиц, скольжения и дополнительных потерь давления" [9]. Исследуя скачкообразное движение частиц в потоке, автор приводит итоговое соотношение для расчета потерь давления в пневматических транспортных системах:

$$\Delta P_t = \Delta P_0 \cdot \left(1 + k \cdot m^* \cdot \frac{\sqrt{D \cdot g}}{U} \cdot \frac{1}{c_f} \right), \quad (2)$$

где ΔP_0 - потери давления, обусловленные перемещением потока без частиц.

Отличие данного соотношения от аналогичных корреляционных зависимостей состоит в том, что оно содержит только одну эмпирическую постоянную k . Этот параметр характеризует конкретную дисперсную фазу, переносимую в системе. Однако, как указывает автор, это соотношение неприменимо в случае осаждения частиц или при движении слоев частиц. Применение полученного Михаелидисом соотношения невозможно при большой концентрации материала в газо-

вом потоке, т.к. не учтена возможность образования агломератов частиц и, как следствие, изменение влияния частиц на несущий поток.

Наиболее полно влияние факторов, осложняющих движение материала в потоке, учтено Ф.Г. Зуевым [13]. Полученная им система дифференциальных уравнений, описывающих движение одиночной частицы, имеет вид:

$$\begin{aligned} m \frac{d\mathbf{u}}{dt} &= \mathbf{P}_x + \mathbf{\Pi}_1 + \mathbf{\Pi}_2 + m\mathbf{g} + \mathbf{P}_1; \\ J \frac{d\omega}{dt} &= M; \quad \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{r}; \quad \frac{d\alpha}{dt} = \omega. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь \mathbf{P}_x - сила аэродинамического сопротивления, $\mathbf{\Pi}_1$ и $\mathbf{\Pi}_2$ - силы, смещающие частицу в направлении, перпендикулярном направлению движения, обусловленные градиентом скорости потока и вращением частиц, \mathbf{P}_1 - сила сопротивления, возникающая при движении частицы перпендикулярно движению потока. Учитывая действующие на частицу силы, была получена система нелинейных дифференциальных уравнений, которая решалась численными методами на языке ФОРТРАН. Проведенные вычислительные эксперименты выявили, что "... на изменение скорости частицы при движении ее по материалопроводу наибольшее влияние оказывают такие параметры, как диаметр материалопровода, скорость воздушного потока, размеры и упругие свойства частицы" [13]. Проведенные Ф.Г. Зуевым эксперименты по транспортированию различных материалов показали, что данная модель может применяться при массовой расходной концентрации материала в потоке менее 0,5 - 0,6, в противном случае необходимо учитывать дополнительные факторы, например, взаимное влияние частиц друг на друга и на транспортирующий поток и т.д.

Второе направление исследования динамики двухкомпонентного потока, которое в большей мере отражает процессы, происходящие в пневмотранспортных системах, основано на гомогенной теории. Основным ее допущением является то, что дисперсный поток рассматривается в виде квазинепрерывной однородной среды с осредненными параметрами ($\rho_{см}$, $v_{см}$, $\mu_{см}$ и т.д.).

Широкую известность по данному направлению получили работы ученых АН Армянской ССР под руководством А.М. Гаспаряна. Основное допущение в данных работах состоит в равенстве скоростей воздуха и транспортируемых частиц. В работе [5] авторы предлагают для расчета скорости частиц использовать формулу:

$$u = u_1 \cdot \left[\frac{(1 - \phi_1) \cdot P_H}{P} + \phi_1 \right], \quad (4)$$

где u_1 – начальная экспериментально установленная скорость частиц;
 ϕ_1 – объемная концентрация аэросмеси на входе в материалопровод;

P_H – давление на входе в материалопровод.

Для определения P_H авторы используют уравнение Бернулли, основываясь на гомогенности аэросмеси. Недостаток модели А.М. Гаспаряна состоит в том, что коэффициент скольжения скорости

$i = \frac{u}{u_c} \neq 1$, что подтверждают эксперименты. Использование же урав-

нения Бернулли для получения расчетных зависимостей в данном случае неправомерно, т.к. вывод этого уравнения сделан для установившегося течения однородных смесей [6]. Транспортируемый дисперсный поток таким свойством не обладает.

Исследованиями пневмотранспорта материалов на основе гомогенной модели занимались также В.Н. Коншин, Ф.И. Франкль и др. Однако, во всех случаях решение полученных систем уравнений даже для стационарного режима течения двухфазного потока представляло большие трудности. Полученные решения не давали полного представления о движении твердого компонента дисперсного потока.

Интересным примером математической модели, основанной на гомогенной теории движения дисперсного потока, является модель, предложенная группой ученых из ВНИИЗа [14]. Отличительной особенностью этой модели является то, что двухкомпонентный поток рассматривается как точка переменной массы, совершающая одномерный вертикальный подъем и преодолевающая сопротивление на начальном и последующих участках материалопровода. Движение точки описано уравнением Мещерского:

$$m \frac{dV}{dt} + (V - U) \cdot \frac{dm}{dt} = F, \quad (5)$$

где $m = m(V, t)$ – масса точки;

V – скорость точки;

U – скорость присоединяемой массы точки;

F – равнодействующая сил, приложенных к точке.

Равнодействующая сила F определяется выражением

$$F = F_{дв} - F_c, \quad (6)$$

где $F_{дв}$ – сила движения двухкомпонентного потока;

F_c – сила сопротивления двухкомпонентного потока.

Несмотря на то, что выражение $(F_{дв} - F_c)$ в дальнейшем определяется через потери давления при транспортировании газодисперсного потока, в модели не учтено влияние частиц и их концентрации на параметры движения газового потока, а также не учтено изменение плотности воздуха и скорости материала по длине материалопровода. Эти доводы указывают на ограниченность применения данной модели в практических расчетах.

В настоящее время разработаны и более совершенные модели транспортирования сыпучих материалов, которые во многом лишены недостатков, отмеченных ранее. Одни из них основаны на феноменологическом подходе, когда газодисперсный поток представляется в виде совокупности взаимопроникающих континуумов, обладающих определенными свойствами. Другие модели опираются на статистический подход.

Достаточно полное описание статистических моделей изложено в работе [7], где, в частности, проведена не только классификация статистических моделей, но и определены преимущества и ограничения на применение данных моделей. Например, в работе [12] взвешивание и перенос каждой отдельной частицы рассматривается как случайный процесс, а взвешивание и перенос совокупности частиц – как одновременная реализация большого числа таких процессов.

Существует мнение, и оно находит все больше сторонников, о том, что полное описание двухфазных газодисперсных потоков возможно лишь при раздельном описании жидкой и твердой фаз. Т.е. утверждается, что уравнения континуума могут быть составлены только для жидкой фазы, а для твердой – уравнения дискретного типа [3]. В сравнительно недавних работах [1, 10] авторы делают вывод о том, что применение моделей, основанных на смешанном эйлерово-лагранжевом описании движения газодисперсного потока, требует значительных затрат вычислительного времени на определение нескольких тысяч траекторий отдельных частиц, что затрудняет применение таких моделей в практических расчетах. В данных работах изложены математические модели, использующие эйлерово представление уравнений движения для обеих фаз. А.Ю. Варакин делает вывод о том, что "... с ростом концентрации частиц и уменьшением их инерционности использование континуального эйлерового представления для описания динамики дисперсной примеси оказывается предпочтительным" [7], а применение статистических моделей наиболее рационально при

изучении турбулентных газодисперсных потоков, содержащих крупные частицы малой концентрации.

В связи с тем, что статистические модели, описывающие движение газодисперсного потока, используют достаточно сложные системы дифференциальных уравнений, решение которых может быть получено только численно и то при определенных допущениях, их применение для описания процесса пневмотранспорта достаточно проблематично. Кроме того, исследование процесса пневмотранспортирования сыпучих материалов не сводится к исследованию движения отдельно взятых частиц перемещаемого материала.

В последнее время появляется все больше работ, в которых высказывается мнение об эффективности пневмотранспортных установок, перемещающих дисперсные потоки с большим содержанием дисперсной фазы. В связи с этим "... при решении прикладных задач используются в основном феноменологические модели двухфазных сред, описываемые уравнениями в частных производных" [2]. В основу феноменологических моделей положено предположение о том, что дисперсный поток может быть представлен в виде двух взаимодействующих и взаимопроникающих континуумов. Такая модель была предложена Х.А. Рахматулиным, а затем развита Р.И. Нигматулиным, Г.М. Островским и др. Отличительной особенностью, и в какой-то мере преимуществом, феноменологических моделей является то, что для описания движения газовой и дисперсной фаз используются практически одинаковые уравнения. А это в значительной степени упрощает реализацию составленных систем дифференциальных уравнений на ЭВМ, т.к. алгоритм расчета параметров несущей среды и транспортируемых частиц будет одинаков.

Основные уравнения теории взаимопроникающих континуумов для газовой и дисперсной фаз можно записать так:

$$\left. \begin{aligned} & \text{уравнения неразрывности} \\ & \left. \begin{aligned} \frac{\partial(\varepsilon\rho_B)}{\partial t} + \frac{\partial(\varepsilon\rho_B v_B)}{\partial x} = 0, \\ \rho_M \frac{\partial(1-\varepsilon)}{\partial t} + \rho_M \frac{\partial(1-\varepsilon)v_M}{\partial x} = 0, \end{aligned} \right\} (7) \\ & \text{уравнения движения} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} & \frac{\partial(\varepsilon\rho_B v_B)}{\partial t} + \frac{\partial(\varepsilon\rho_B v_B v_B)}{\partial x} = -\varepsilon \frac{\partial P}{\partial x} - \varepsilon\rho_B g - f_{12} - f_{BC}, \\ & \rho_M \frac{\partial(1-\varepsilon)v_M}{\partial t} + \rho_M \frac{\partial(1-\varepsilon)v_M v_M}{\partial x} = -(1-\varepsilon) \frac{\partial P}{\partial x} - (1-\varepsilon)\rho_M g + f_{12} - f_{MC}, \end{aligned} \right\} (8)$$

где ε - объемная доля воздуха;

f_{12} - сила межфазного взаимодействия;

f_{BC} - сила сопротивления, обусловленная трением газа о стенки материалопровода;

f_{MC} - сила сопротивления, обусловленная трением частиц материала о стенки материалопровода.

Дополнительно к этим уравнениям может быть добавлено уравнение энергии, а для замыкания системы уравнений, как правило, записывается уравнение состояния газа:

$$P = \rho_B R T. \quad (9)$$

Существует большое количество работ, использующих данные уравнения в качестве основы при составлении математических моделей. Можно выделить следующие отличительные особенности в работах:

- 1) для получения аналитического решения данной системы уравнений или упрощения численного решения некоторые исследователи вносят ограничения, считая процесс транспортирования установившимся;
- 2) некоторые исследователи считают, что потери давления на трение при пневмотранспорте незначительны, следовательно, силами f_{BC} и f_{MC} пренебрегают;
- 3) несмотря на огромное количество экспериментальных данных и теоретических работ, общепринятого выражения для силы межфазного взаимодействия f_{12} нет;
- 4) система уравнений в ряде случаев может быть дополнена вязкостными слагаемыми;
- 5) при описании движения потоков с большой объемной концентрацией частиц материала в некоторых моделях учитываются силы, действующие в локальной группе частиц из-за их уплотнения, как например в [4].

Несмотря на сложность системы уравнений (7), (8), ее решение с учетом нестационарности процесса возможно получить численными методами. Проведение вычислительного эксперимента позволяет получать необходимые для исследования зависимости, такие как $P(t)$,

$P(x)$, $\rho(t)$, $v(t)$ и др. Особое внимание при численном решении уделяется заданию начальных и граничных условий. Постановка различных начальных условий (работа воздуходувной машины на входе, дискретность или равномерность подачи материала и т.д.) позволяет в большей мере проследить влияние различных параметров на процесс транспортирования и выявить "узкие места", а также определить пути улучшения работы пневмотранспортных систем.

Таким образом, анализ моделей пневмотранспорта сыпучих материалов позволяет сделать следующие выводы:

- 1) для описания процесса транспортирования дисперсных потоков (особенно при высокой концентрации материала в аэро-смеси) предпочтительны феноменологические модели;
- 2) современное развитие вычислительной техники и методов решения дифференциальных уравнений позволяет решать системы уравнений, описывающих нестационарные процессы пневмотранспорта, а это, в свою очередь, дает возможность составлять более точные математические модели;
- 3) полученные численные решения позволяют подбирать рациональные параметры и режимы работы пневмотранспортных установок.

Литература

1. А.А. Винберг, Л.И. Зайчик, В.А. Першуков
Модель расчета турбулентных газодисперсных струйных течений. ИФЖ, 1991, т. 61, №4, с. 554 – 557.
2. А.Д. Рычков
Математическое моделирование газодинамических процессов в каналах и соплах. Новосибирск, Наука, сибирское отделение, 1988.
3. А.И. Голобурдин, Е.В. Донат
Пневмотранспорт в резиновой промышленности. М.: Химия, 1983.
4. А.М. Бубенчиков, А.В. Старченко
Численное исследование характеристик неоднородного псевдооживленного слоя. ИФЖ, 1993, т. 65, №2, с. 178 – 184.
5. А.М. Гаспарян, Р.Е. Акопян
Пневмотранспорт мелкодисперсных материалов в плотном слое. Химическая промышленность, 1965, №7, с. 35 – 41.
6. А.Ф. Заборсин, Т.К. Васильева
Пневмотранспорт сахара в пищевой промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1979.

7. А.Ю. Варакин
Турбулентные течения газа с твердыми частицами. М.: Физматлит, 2003.
8. Б.И. Броунштейн
Метод расчета потери напора в промышленных пневмоподъемниках. Труды гос. ин-та прикладной химии. М.: госхимиздат, 1960, вып. 46, с. 274 – 284.
9. Е.Е. Михаелидис
Движение частиц в газовом потоке. Средняя скорость и потери давления. ТОИР, 1988, №1, с. 276 – 288.
10. И.В. Деревич
Статистическое описание турбулентного потока газозвеси крупных частиц, соударяющихся со стенкой канала. ИФЖ, 1994, т. 66, №4, с. 387 – 397.
11. И.М. Разумов
Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов. М.: Химия, 1972.
12. С.Л. Соу
Гидродинамика многофазных систем. М.: Мир, 1971.
13. Ф.Г. Зуев
Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 1976.
14. Экспресс – информация. Оборудование для мясо – молочной, рыбной и мельнично – элеваторной промышленности. Математическая модель процесса пневмотранспортной сети мукомольного завода. Москва, 1981, вып. 4, с. 23 – 34.

ПНЕВМОСЕПАРИРОВАНИЕ ЗЕРНА НА КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

О.Н. Терехова, И.А. Ерёмкина

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

Очистка зерна от примесей является одной из важнейших операций на всех зерноперерабатывающих предприятиях. Степень очистки

основной культуры и точность классификации во многом влияют на стабильность зерна при хранении, а также на качество готовой продукции.

Технологическое оборудование промышленных мельниц является эффективным и высокопроизводительным, что обеспечивает необходимое качество получаемой продукции, но и требует больших энергозатрат.

В настоящее время идет энергичное развитие и внедрение мельниц малой производительности, которые в свою очередь предъявляют к технологическому оборудованию такие требования как компактность, многофункциональность, малая энергоемкость при неизменно высоком качестве готовой продукции. Поэтому появилась необходимость создания оборудования отвечающего заданным требованиям.

В современных зерноочистительных машинах, особенно в машинах для очистки зерновых культур часто применяют принцип воздушной сепарации. Объясняется это сравнительной простотой пневмосепарирующих устройств и различными аэродинамическими признаками примесей и зерновок.

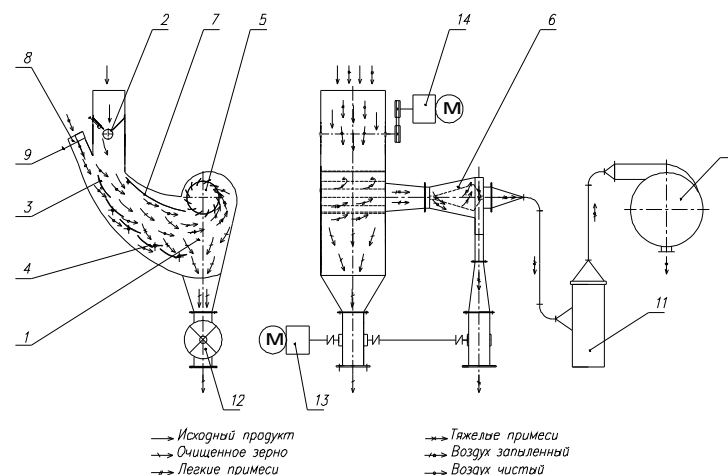
Основным недостатком всех воздушных сепараторов является их высокая энергоемкость и недостаточная эффективность при очистке зерна от легких примесей. Это связано с ограниченным временем воздействия воздушного потока на зерновую смесь, в результате чего часть легкой примеси уносится с продуктом.

Устранить данный недостаток и повысить эффективность очистки зернового материала поможет пневмосепарирующая установка, разрабатываемая на кафедре МАПП (на основе патента 7В 07В 4/00, 7/04 Способ аэромеханического разделения зерновых материалов).

Данная установка предназначена для очистки зернового материала от примесей отличающихся массой, аэродинамическими свойствами и коэффициентом трения.

Пневмосепарирующая система состоит из рабочей камеры 1, горизонтального циклона 6, вентилятора 11 и фильтра 10. Рабочая камера включает в себя: приемно-питающее устройство 2 для равномерного распределения зернового материала по ширине канала; канал для подачи чистого воздуха 8; регулирующие поверхности 3, которые разделяют воздушный поток на струи, что способствует лучшему разрыхлению и продуванию воздухом зерновой смеси; подвижную стенку 7, определяющую ширину канала и предотвращающей унос зерна воздушным потоком; регулируемые сборники 4, где собирается тяжелая примесь; жалюзийный барабан 5, через него проходит воздушный по-

ток с легкой примесью на пути в горизонтальный циклон 6 и далее в фильтр 10.



1- рабочая камера; 2- приемно-питающее устройство; 3- регулирующие поверхности; 4- регулируемые сборники; 5- жалюзийный барабан; 6- горизонтальный циклон; 7- подвижная стенка; 8- воздухопровод; 9- задвижка; 10- фильтр; 11- вентилятор; 12- шлюзовой затвор; 13,14- мотор-редуктор;

Рисунок 1 – Схема пневмосепарирующей системы

Пневмосепарирующая установка работает следующим образом. Зерновой материал подается через приемно-питающее устройство 2, через воздухопровод 8 подается воздух. Он пронизывает зерновую смесь посредством регулирующих поверхностей 3, смесь разрыхляется и под действием аэродинамических сил, силы тяжести и силы трения происходит разделение смеси. Тяжелая фракция, имея больший коэффициент трения, перемещается вниз и оседает на небольших сборниках 4, очищенное зерно проносится дальше, теряет скорость и, ударяясь о стенки корпуса, выводится с помощью шлюзового затвора 12. Воздушный поток с легкой фракцией попадает в жалюзийный барабан 5, где он дополнительно закручивается, и далее в горизонтальный циклон 6. В горизонтальном циклоне легкие примеси под действием центробежной и гравитационной сил отбрасываются к стенкам, скатываются и выводятся посредством второго шлюзового затвора.

Режим сепарации и скорость воздуха регулируются подвижными регулировками 3, стенкой 7 и задвижкой 9. Запыленный воздух на-

правляют в фильтр 10, где он достигает той степени очистки, которая позволяет направлять его после фильтрации в помещение.

Преимуществами данной пневмосепарирующей установки, по сравнению с машинами, которые используют в производстве, являются более эффективное использование воздушного потока, за счет того, что воздух пронизывает зерновую смесь по ходу движения зернового материала, тем самым увеличивается зона взаимодействия воздуха на зерно, что способствует лучшему разделению зерна на фракции и в целом повышает качество очистки зернового материала. Использование горизонтального циклона позволяет более эффективно отделить легкую примесь от воздушного потока. Небольшая скорость воздуха определяет меньшие энергозатраты по сравнению с существующими машинами.

Описание рабочей поверхности

Криволинейная поверхность сепаратора, по которой движется продукт, состоит из трех участков: предварительного, основного и направляющего. Частицы со скоростями витания, большими скорости воздушного потока, попадая в канал, движутся по нисходящей поверхности с увеличивающейся крутизной по мере удаления от места поступления.

Предварительный участок, с помощью которого улучшается эффективность сепарирования, так как он способствует лучшему разделению смеси описывается следующим уравнением:

$$n(y0)=R - \frac{R+1}{h^2} \cdot y0^2, \quad (1)$$

где R – радиус предварительного участка; h – высота участка;

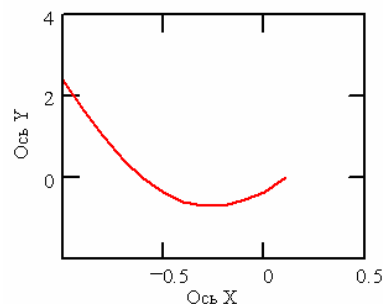


Рисунок 2 – График участка разгона

Далее смесь поступает на основной участок, где происходит непосредственное разделение смеси на фракции. Тяжелая фракция осаж-

дается в сборники для минеральной примеси, которые находятся непосредственно в рабочей плоскости, а зерно в выпускной конус.

Его уравнение имеет следующий вид:

$$y1(x) = -\sqrt{(R_0)^2 - x^2}, \quad (2)$$

где R_0 – радиус основного участка.

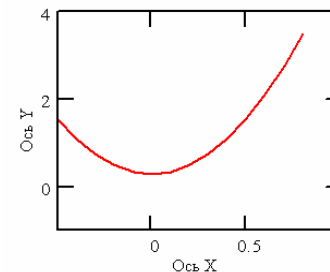


Рисунок 3 – График основной части рабочей поверхности

Легкая примесь под действием воздушного потока поступает в горизонтальный циклон по направляющему участку рабочей поверхности, где и происходит ее отделение. Направляющий участок строится по уравнению:

$$y2(x) = \frac{h}{\sqrt{R_0 + a}} \cdot \sqrt{R_0 - x}, \quad (3)$$

где R_0 и h – соответственно радиус и высота направляющего участка.

Совместив данные поверхности, получим график рабочей поверхности:

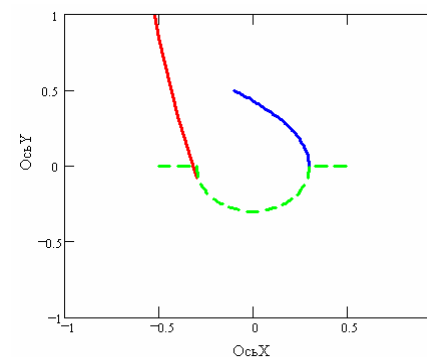


Рисунок 4 – График рабочей поверхности

Анализ движения частицы по криволинейной поверхности

Проведем анализ движения материальной частицы в рабочей камере. Теория движения частицы по криволинейной поверхности была взята из научных трудов Злочевского В.Л. профессора, д.т.н.

Будем рассматривать движение частицы по криволинейной поверхности, не учитывая свободное движение вне рабочей поверхности сепаратора. Данная методика сравнительно проста и позволяет построить траектории различных частиц.

Рассмотрев движение твердой частицы (зерновки, части оболочки и т.п.), как материальной точки по рабочей поверхности построены графики скоростей частиц и их траекторий.

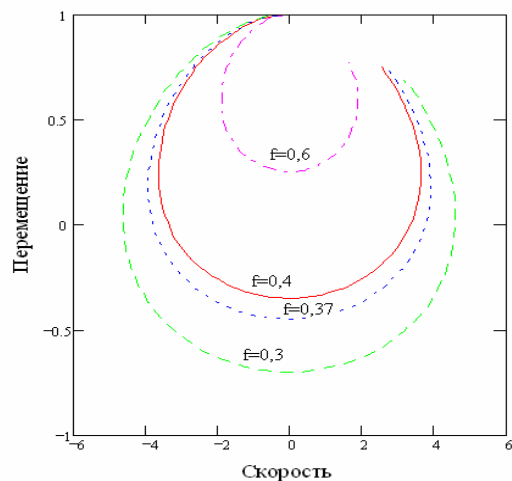


Рисунок 5 – Зависимость перемещения и скорости частиц от коэффициента трения

Полученный график движения частиц по криволинейной поверхности показал, что чем меньше сила трения частицы о поверхность, тем по большему радиусу кривизны она будет перемещаться.

Построим графики скорости и перемещения для легкой примеси и зерновки, совместим их с графиком рабочей поверхности для определения места отбора данных частиц.

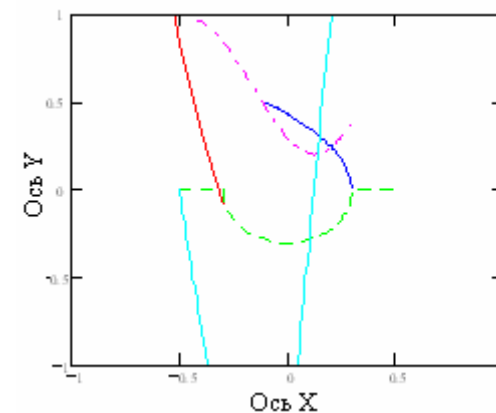


Рисунок 6 – График скорости и перемещения легкой примеси

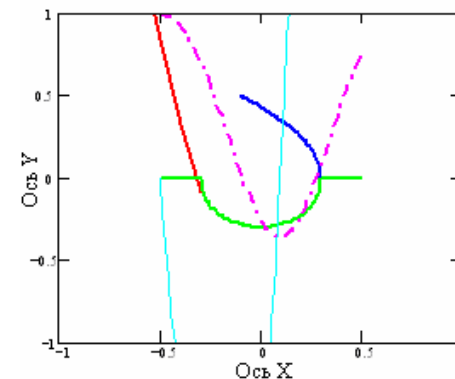


Рисунок 7 – График скорости и перемещения зерновки

Из данных графиков видно, что зерновки, имеющие большую массу и коэффициент трения, при попадании на рабочую поверхность будут тормозиться под действием силы трения, а когда их скорость будет равной нулю, они под действием силы тяжести попадут в выпускной конус.

Легкая примесь с меньшим коэффициентом трения и меньшей массой пройдет больший путь, и далее перемещаясь по вынужденной траектории, осядет в горизонтальном циклоне.

Траектории и величины скоростей зерновок влияют на эффективность и четкость сепарирования. Поэтому предусмотрены регулировки

траекторий с помощью жалюзей, из которых состоит рабочая поверхность, и скоростей с помощью задвижки.

Такой подход позволяет моделировать процесс воздушной сепарации при различных начальных условиях и выявлять оптимальные технологические и конструктивные параметры, на основе которых ведется разработка экспериментальной модели сепаратора.

ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНЫЙ КЛАССИФИКАТОР

В.Г. Плотников, В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова

ОАО «Алейскзернопродукт»

**Алтайский государственный технический
университет им. И.И.Ползунова**

Процесс сепарирования продуктов размола зерна является важным технологическим этапом технологии получения муки, от грамотного проведения этого процесса зависит качество и выход готовой продукции, а так же эффективность производства в целом.

Производство муки, осуществляемое на мельзаводах, связано с подъемом продуктов размола посредством пневмотранспортных систем. При этом возможно осуществлять снижение энергозатрат за счет разработки и установки в технологических линиях пневмоцентробежных классификаторов.

Потенциальные технологические ресурсы, заложенные в зерне технологического назначения, весьма велики. И эти ресурсы в значительной степени превышают технологический эффект, который достигнут на передовых мельзаводах.

Разрыв между теоретическими возможностями и их практической реализацией усиливается энергетическими показателями. Они определяются процессом размола, пневмотранспортирования и отделения продуктов размола от транспортной системы в совокупности с очисткой отработанного воздушного потока.

Так, например, на мельнице ОАО "Алейскзернопродукт", работающей на итальянском оборудовании, общая нагрузка по зерну составляет 18,24 т/ч. При этом состав относков пневматической сети №I

составляет: мука – 224 кг/ч, отруби – 6,01 кг/ч, дунсты – 5,79 кг/ч.; пневматической сети №II составляет: мука –7,9 кг/ч. Такая организация работ приводит к снижению эффективности фильтра-циклона и к значительному повышению энергозатрат и обороту продукта.

Продукты измельчения зерновых материалов состоят из частиц различной дисперсности и неправильной геометрической формы. Разделение таких частиц, их поведение в аппаратах, взаимодействие с рабочими органами неодинаково. Поэтому для обоснованного выбора и правильной оценки работы разделительных устройств необходимы сведения о дисперсном составе продуктов размола. По данным исследований, способ разделения муки на фракции в диапазоне частиц величиной 0-100 мкм находится за пределами возможного сортирования на ситах.

Задача получения высококачественной, высокобелковой муки, в условиях производства, не может быть решена с помощью ситового разделения продуктов помола. Для этой цели приемлемы сепараторы, работа которых основана на других принципах, например, центробежные, пневмоцентробежные. Важной особенностью работы классификаторов такого типа является возможность выделения весьма тонкой фракции с размерами частиц от 1 до 17 мкм, характеризующиеся высоким содержанием белка. Особенно интенсивно идет разделение фракций в том случае, если они имеют различную плотность (например, у частиц белка она составляет 1,3 г/мл, у крахмала 1,5 г/мл).

По конструктивному выполнению классификаторы можно разделить на модели с вертикальной и горизонтальной осью вращения ротора (вентилятор является составной частью ротора и находится с ним на одной оси).

По способу подачи продукта, подлежащего сортированию на фракции, и вывода полученных фракций различаются рассеивающие и струйные сепараторы. В рассеивающих сепараторах (циркуляционных и спиральных) продукт подается механическим рассеиванием в зоне сепарации. Обычно в таких сепараторах поток воздуха создается непосредственно в их корпусе и они работают с замкнутым циклом. К этой группе относятся также модели, в которых циркулирующий поток воздуха создается вне сепаратора, при этом выделение тонких фракций из воздушного потока может быть как внутренним, так и наружным.

В струйных сепараторах продукт поступает в струе воздуха, а тонкие фракции выносятся воздушным потоком и осаждаются в специальных уловителях – циклонах, фильтрах.

Центробежные и центробежно-гравитационные классификаторы выгодно отличаются от гравитационных по четкости разделение продукта на фракции вследствие возможности изменять скорости вращения ротора, изменять напряженность поля центробежных сил в зоне сепарирования и тем самым регулировать величину сил, действующих на частицы.

В центробежных сепараторах действуют силы, 100-1000 раз превышающие силы тяжести, а скорости воздуха достигают 50 м/с и выше, что позволяет достаточно четко и в широких пределах регулировать дисперсность готовых продуктов.

По данным зарубежных исследователей, мука наиболее четко разделяется на фракции в диапазоне частиц размером от 0 до 100 мкм, т.е. за пределами возможного сортирования на ситах.

Центробежное пневматическое сепарирование представляет большой интерес, как новый для мукомольного производства способ сортирования продуктов измельчения зерна.

Применение таких сепараторов на отдельных этапах технологического процесса при сортовом помоле может обеспечить более высокий эффект по сравнению с просеивающими машинами (рассевами) в части достижения высокой производительности агрегатов при достаточно четком разделении продуктов размола зерна по крупности фракций.

Следует отметить, что при пневмосепарировании достигается сортирование не только по размерам частиц, но и по плотности. Последнее выдвигает в перспективе возможность значительного сокращения технологического процесса на мельницах в том случае, если удастся совместить в этих машинах три операции: дополнительное измельчение наиболее крупных частей, сортирование продукта по величине и его обогащение без применения ситовечных машин.

В настоящее время под руководством профессора Злочевского В.Л. разработан экспериментальный стенд пневмоклассификатора для разделения продуктов размола. Разделение происходит за счет центробежной силы, обусловленной вращением ротора классификатора, и аэродинамической силы, увлекающей частицы потоком воздуха. Схема стенда показана на рисунке 1.

В данной установке этот метод реализован следующим образом. Из дозатора 2 материал подается механическим способом в патрубок, где происходит его смешивание с воздушным потоком. Движение воздушного потока создается за счет создания постоянного по величине разрежения на выходе из установки, с помощью центробежного венти-

лятора. Имеется возможность регулирования расхода воздуха при помощи специальных задвижек.

Аэросмесь, проходя через впускной патрубок, попадает в рабочую камеру центрифуги 3, образуемую ротором и корпусом центрифуги. Центрифуга приводится во вращение через клиноременную передачу, двигателем с регулируемым числом оборотов. Здесь происходит закручивание аэродисперсного потока. Под действием совокупных сил, основной из которых является центробежная, происходит отжатие к наружной стенке корпуса более тяжелых частиц, которые через выходной патрубок попадают в бункер приема крупнодисперсной фракции.

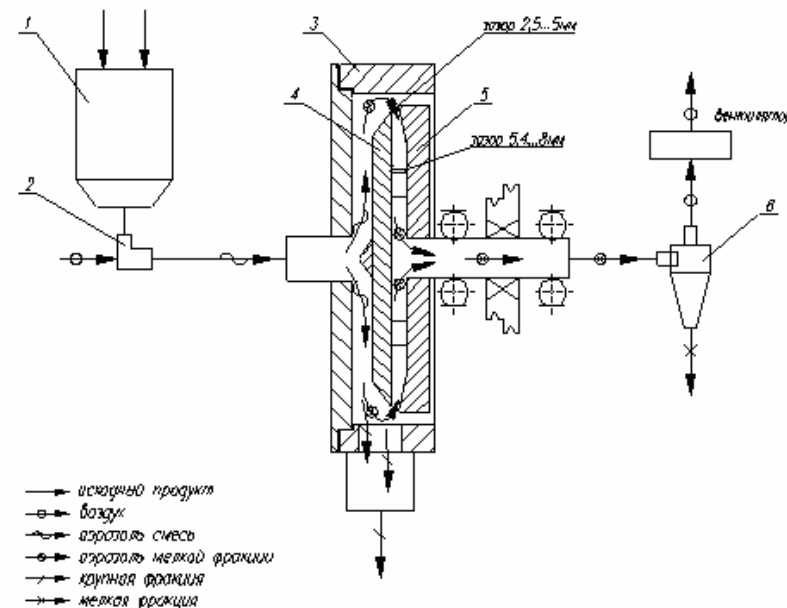


Рисунок 1- Схема работы пневмоклассификатора
1- загрузочный бункер; 2- шнековый дозатор; 3- корпус центрифуги; 4- диск; 5- шпindel; 6- циклон;

Мелкие частицы с потоком воздуха проходя по полуму валу центрифуги попадают в циклон и осаждаются в бункере легкой фракции.

Разработанная установка позволяет в лабораторных условиях провести исследование по разделению продуктов при различных режимах, меняя число оборотов центрифуги, разрежение воздушного потока. При этом достигаются показатели высокой степени однородности разделенного продукта. Как показали предварительные экспери-

менты, отделимость крупной фракции полидисперсной аэросмеси составляет 75%, мелкой около 5%.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В КОЛЬЦЕВОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПНЕВМОКЛАССИФИКАТОРА

В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова, И.А. Еремина

Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова

В настоящее время, на кафедре МАПП ведется моделирование процесса сепарации продуктов размола зерна и пыли в центробежном поле скоростей, образованном коническими поверхностями. Смоделирован процесс осаждения частиц на поверхности конуса, их перемещения и вывода с этой поверхности. В основном изучается процесс выделения частиц и последующее их вибротранспортирование на поверхности оседания. В предыдущих работах были сформулированы дифференциальные уравнения движения отдельной частицы в воздушном вращающемся кольцевом пространстве, а также на поверхности оседания, совершающей виброколебания.

Задача нахождения параметров частицы решалась численно, причем на тех этапах, где необходимо было решить систему уравнений, применялся классический метод Рунге-Кутты четвертого порядка точности.

Входными параметрами для численного решения являются:

- безразмерная высота усеченного конуса, то есть отношение высоты к радиусу внешнего усеченного конуса в его нижнем сечении;
- безразмерная скорость воздушного потока вдоль вертикальной оси, то есть отношение скорости к произведению радиуса основания внешнего усеченного конуса в его нижнем сечении и угловой скорости конуса;

- безразмерные коэффициенты \tilde{k}_v , $\tilde{k}_{ин}$;
- безразмерное время моделирования равно произведению угловой скорости конуса и размерного времени моделирования;
- отношение угловой скорости дисбаланса к угловой скорости конуса;
- коэффициент трения скольжения частицы по поверхности конуса;
- точность, то есть величина, начиная с которой модули скоростей и ускорений считаются нулевыми;
- угол конусности, измеряемый в радианах;
- безразмерная амплитуда вибрационной силы инерции;
- начальные безразмерные положения и скорости частиц;
- сдвиг фаз по умолчанию предполагается равным нулю;
- отношение радиуса основания внешнего усеченного конуса к радиусу основания внутреннего усеченного конуса в их нижнем сечении;
- шаг интегрирования.

На рисунках 6-12 показаны результаты расчетов для различных значений постоянных параметров:

$r_1=0,1\text{м}$; $r_0=0,097\text{м}$; $0,087 \leq \alpha \leq 0,785\text{рад}$; $V_{внт} \geq 0,05 \text{ м/с}$; $100 \leq \omega \leq 300 \text{ рад/с}$; $0 \leq f \leq 3$; $\omega \leq \rho \leq 10\omega$; $u_z=3 \text{ м/с}$

Заметим, что $\tilde{k}_n = \frac{g \cdot r_1}{v_{внт}^2}$. Поэтому задание величины \tilde{k}_n одно-

значно определяет $v_{внт}$ и наоборот. Так, например, для $v_{внт} = 0,05 \text{ м/с}$, коэффициент $\tilde{k}_n = 392$, при $v_{внт} = 0,1 \text{ м/с}$ коэффициент $\tilde{k}_n = 98$, при $v_{внт} = 0,2 \text{ м/с}$ коэффициент $\tilde{k}_n = 24,5$.

На всех рисунках все параметры безразмерные и, как и в предыдущих параграфах, знак тильда над ними опускается. Кроме того, опускается знак тильда над коэффициентами на подписях в рисунках.

Для сепарации частиц из воздуха основное значение имеет параметры: a , w ,

r_1 , u , $v_{внт}$ и начальное расстояния r частицы от оси вращения. Примеры расчетов траекторий частиц при ее сепарации показаны на приведенных ниже рисунках. Так, в частности, на рисунках 1,2 для угла конусности $\alpha=0,26 \text{ рад}$, приведены зависимости безразмерных величин z от r , которые являются весьма типичными по своему виду. Предполагается, что в начальный момент времени частица находится на нижнем основании в непосредственной близости от внутреннего конуса, причем ее скорость совпадает со скоростью воздуха. Рисунок 1

соответствует угловой скорости вращения $\omega = 100$ рад/с, а рисунок 2 – значению $\omega=150$ рад/с.

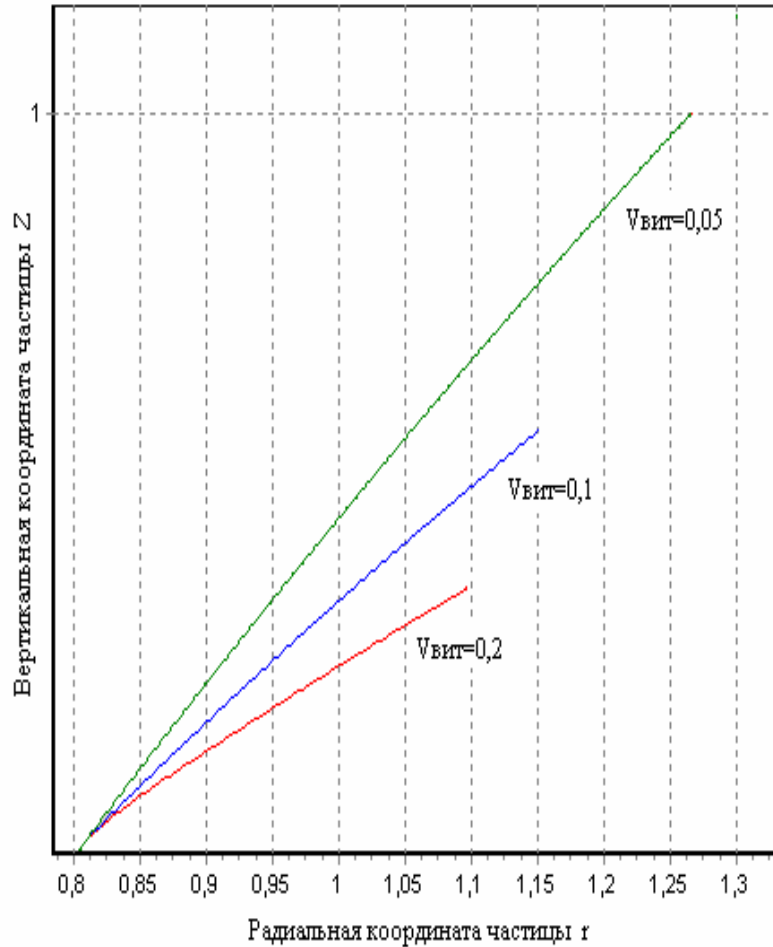


Рисунок 1- Зависимость $z(r)$ для $r_1=0,1$ м; $f=1$; $\alpha=15^\circ$; $\omega=100$ рад/с

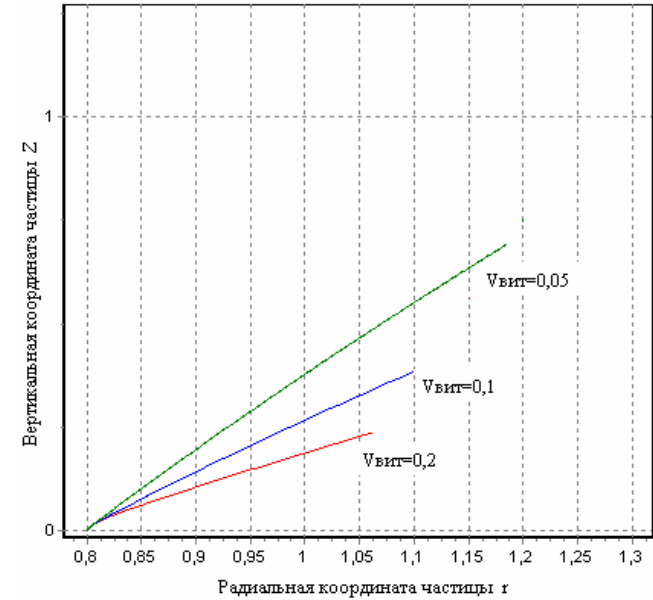


Рисунок 2- Зависимость $z(r)$ для $r_1=0,1$ м; $f=1$; $\alpha=15^\circ$; $\omega=100$ рад/с $r_1=0,1$ м; $f=1$; $\alpha=15^\circ$; $\omega=150$ рад/с

Из рисунков видно, что более «крупные» частицы с малыми скоростями витания достигают поверхности внешнего конуса на меньшей высоте, чем «мелкие».

На рисунке 3 приведен пример зависимости r от t также для частиц с различной скоростью витания, причем промежуток времени выбран относительно небольшим. При этом система характеризуется следующими параметрами: $\omega=100$ рад/с, $f=1$, $\alpha=15^\circ$.

Из графиков видно, что различия в поведении частиц присутствуют на стадии разгона, то есть до момента достижения частицей стенки внешнего цилиндра и в некотором промежутке после оседания на стенку. Затем, независимо от скорости витания частицы ведут себя одинаково. Они как бы «забывают» о предыстории движения. Участки, где частицы практически неподвижны, чередуются с участками перемещения вдоль стенки. Поэтому в дальнейшем, изучая виброперемещение, можно ограничиться рассмотрением частиц какого-нибудь одного размера и не рассматривать движение частицы в воздушном потоке.

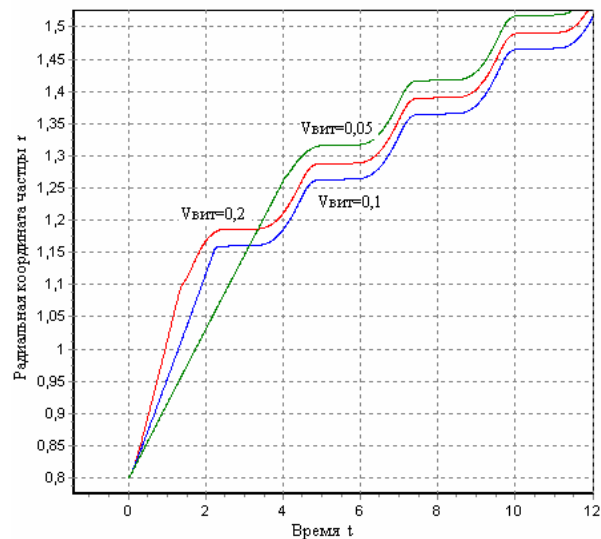


Рисунок 3- Зависимость $r(t)$ для $r_1=0,1$ м; $u=3$ м/с; $\omega=100$ рад/с
Аналогично ведут себя частицы при различных скоростях транспортирующего их воздуха (рисунок 4).

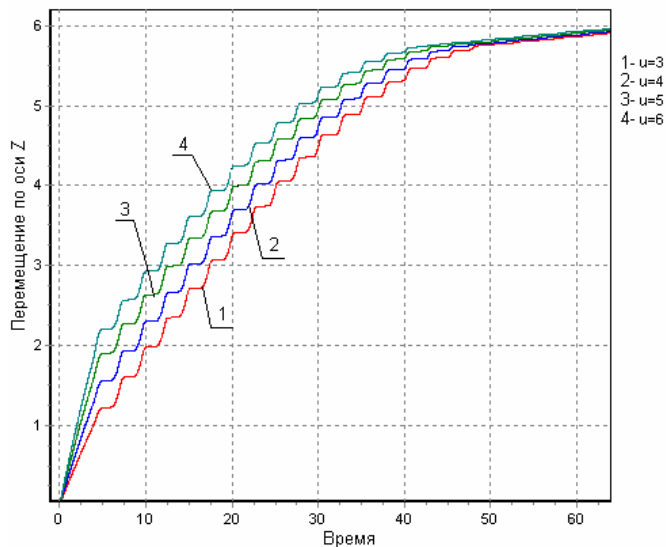


Рисунок 4- Зависимость $z(t)$ для $r_1=0,1$ м; $f=1$; $\alpha=15^\circ$; $\omega=100$ рад/с

Так как поведение частиц различно лишь до момента достижения стенки внешнего конуса и далее частицы движутся одинаково независимо от скорости воздуха, то нет необходимости выдерживать строго определенную скорость воздуха, нужно придерживаться диапазона скоростей $u=[3\dots6]$ м/с, при этом перемещение частицы по образующей внешнего конуса будет в диапазоне $[1,27\dots2,29]$. Кроме того, на координаты точки оседания частицы на стенку существенное влияние оказывает угловая скорость вращения (рисунок 5,6).

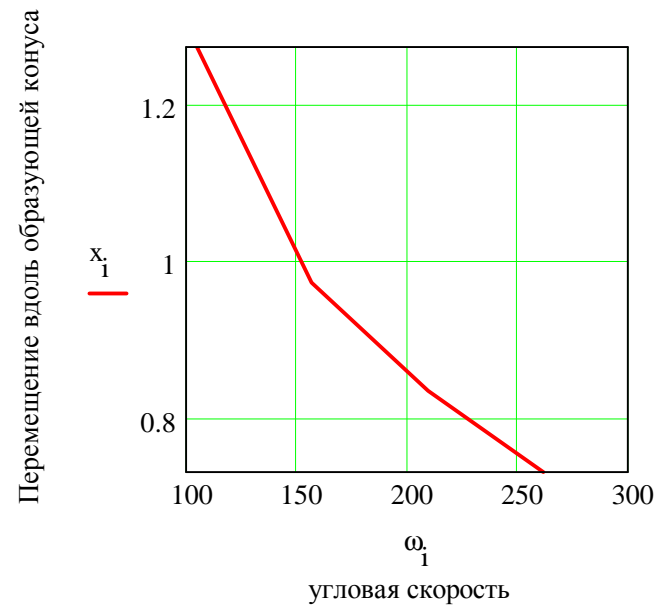


Рисунок 5- Зависимость $X(\omega)$ для $r_1=0,1$ м; $f=1$; $\alpha=15^\circ$; $u=3$ м/с
(Это связано с тем, что при $\omega = 75$ рад/с центробежная сила инерции частицы $F_u = m\omega^2 r$ примерно в 46 раз больше ее силы тяжести в то время как для $\omega = 40$ рад/с - всего в 13 раз.) Траектории показывают, что для оседания частицы на поверхность в пределах рабочей области необходимо большое значение центробежной силы инерции частицы. Для этого нужно получить достаточно большую угловую скорость ω вращения конусов и воздуха. Чем больше угловая скорость, тем чаще и на большее время частица будет «отскакивать» от поверхности цилиндра, тем самым увеличивая время и качество сепарирования.

Кроме этого, если взять расстояние между конусами является относительно малым, то частицы уже в начале сепарации окажутся вблизи поверхности оседания. При этом удастся сепарировать более легкие частицы с малыми скоростями витания.

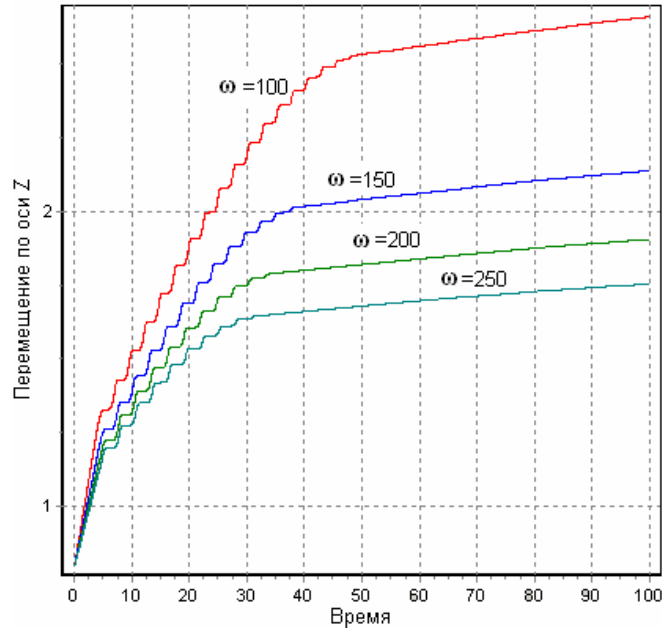


Рисунок 6- Зависимость $z(t)$ для $r_1=0,1$ м; $f=1$; $\alpha=15^\circ$; $u=3$ м/с

Но при построении графиков мы задаемся безразмерными параметрами и высоту конуса берем в десять раз большей, чем внешний радиус нижнего основания, для того чтобы лучше был виден процесс перемещения частицы. Но при переходе к размерным параметрам соотношение высоты конуса и его внешнего радиуса в нижнем сечении не должно превышать трех. Поэтому, угловую скорость принимаем наименьшую из представленных на графиках, иначе в размерных параметрах частица будет вылетать из конуса еще на участке разгона.

Для траекторий характерным является также практически линейная зависимость z от r вдоль вертикальной оси. Это связано, прежде всего, с тем, что радиальная скорость очень быстро возрастает, а затем практически не меняется (см. рисунок 7). Скорость изменения $\dot{k}(t)$ на

начальном участке увеличивается с ростом числа k_n , что требует особой тщательности проведения здесь расчетов.

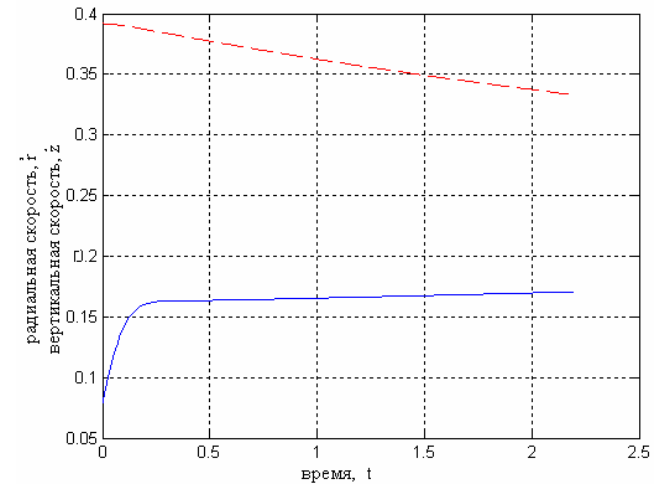


Рисунок 7- Зависимость $\dot{k}(t)$ (нижняя кривая) и $\dot{z}(t)$ (верхняя кривая) при $\omega=75$ рад/с, $a = 0,2$, $k_n = 98$.

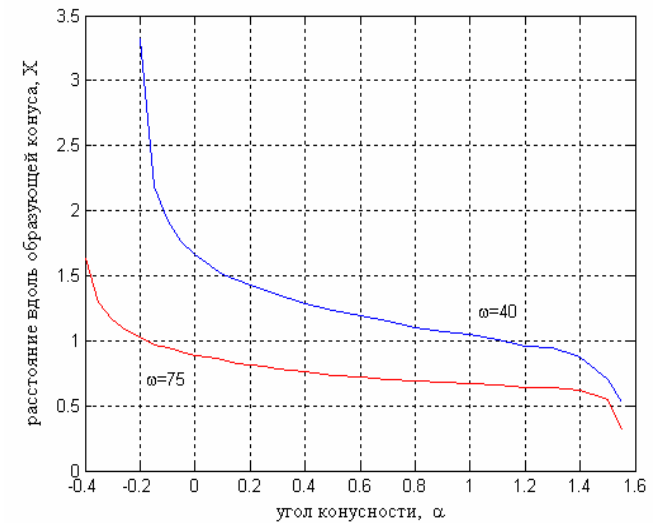


Рисунок 8- Зависимость X от a при ω равном 40 и 75 рад/с.

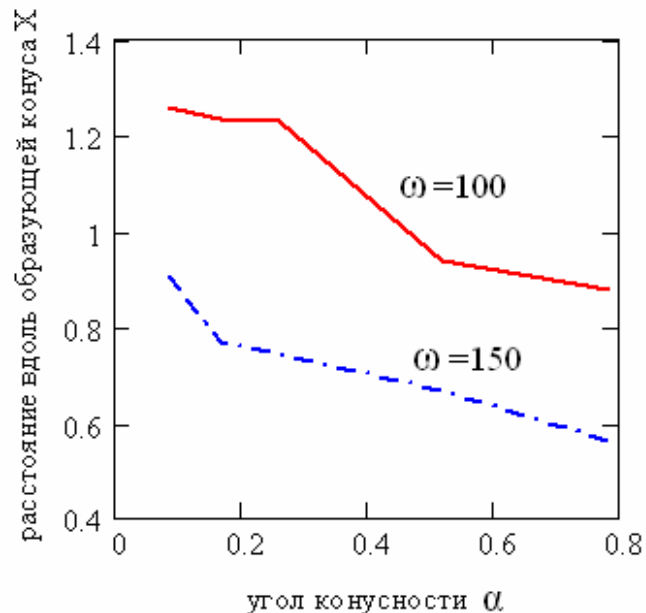


Рисунок 9- Зависимость $X(\alpha)$ при $\omega=100$ рад/с и $\omega=150$ рад/с

Пусть X – безразмерное расстояние, измеряемое вдоль образующей внешнего конуса от его нижнего основания до точки, где частица впервые коснется поверхности этого конуса. Для частицы со скоростью витания 0,1 м/с на рисунке 10 показаны зависимости X от угла конусности α для случаев угловых скоростей вращения конуса равных 40 и 75 рад/с. Предполагается, что в начальный момент времени частица находилась на нижнем основании вблизи стенки внутреннего конуса. Заметим, что при отрицательных углах α безразмерная высота усеченного конуса ограничена сверху. Ее наибольшее, возможное значение определяется значением угла α (в предположении фиксированного отношения радиусов нижнего основания внутреннего и внешнего конусов).

При расчетах задавалась высота усеченного конуса равной ее наибольшему, возможному значению. При α несколько меньшем, чем – 0,4 для $\omega=75$ рад/с и $\alpha < -0,2$ для $\omega=40$ рад/с частицы вылетали через верхнее основание, не осаждаясь на стенку внешнего конуса. Это связано с тем, что центробежная сила инерции недостаточно велика,

чтобы препятствовать движению частиц в направлении к оси конуса, причем, по мере приближения к оси центробежная сила инерции уменьшается, а абсолютная величина радиальной скорости газа, а вместе с ней и частицы, растет.

При уменьшении модуля угла α с одной стороны увеличивается возможная высота конуса, с другой – уменьшается модуль радиальной скорости газа и частицы, однако, растет вертикальная скорость. Теперь, поскольку скорость движения по направлению к оси меньше, влияние центробежных сил инерции становится более весомым, вследствие чего частица осаждается на стенку. Следует отметить монотонно убывающий характер зависимости, причем в довольно широком диапазоне углов от 0 до 1,4 скорость убывания кривых не очень велика. Это означает, что влияние угла конусности на процесс осаждения частиц в указанном диапазоне относительно мало.

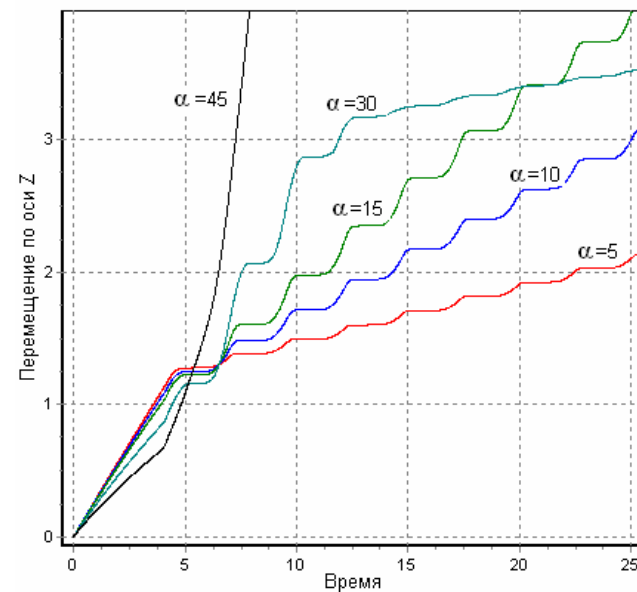


Рисунок 10

На рисунке 10 представлена зависимость $Z(t)$ для диапазона угла $\alpha=[0,26-0,745]$. Хорошо видно, что при $\alpha > 30^\circ$ частица вылетит через верхнее основание, не осаждаясь на стенку внешнего конуса.

На рисунке 11 приведена зависимость r от t для различных значений коэффициента трения f .

На рисунке 11 явно выделяются участки относительно большой скорости изменения функций ($t < 100$) и область ($t > 150$), где скорость изменения функции практически постоянна. Здесь речь идет об изменении сглаженных (отфильтрованных) функций, то есть функций без учета колебаний. Сглаженные функции получаются возрастающими и выпуклыми. При уменьшении a до значения $a_0 > 0$ область быстрого изменения сглаженных функций и скорость изменения функций уменьшаются, что соответствует тому, что уменьшается максимум второй производной. Поэтому при малом значении a скорость изменения сглаженных функций практически постоянна во время всего движения вдоль стенки. Величина a_0 зависит от параметров системы.

Так, для $\omega = 75 \text{ рад/с}$, $f = 1$, $\tilde{H} = 2$, $P/W = 2$ значение $a_0 \approx 0,012$.

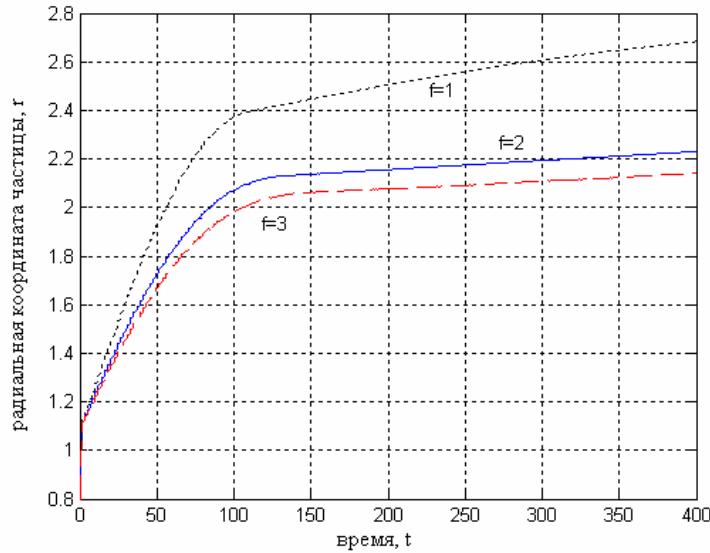


Рисунок 11 Зависимость $r(t)$ для $\omega = 75 \text{ рад/с}$, $a = 0,2$, $\tilde{H} = 2$, $P/W = 2$.

При $0 < a < a_0$ частицы скользят вдоль стенки вниз. Поэтому функции $r(t)$ и $z(t)$ после достижения частицей стенки убывают. Если же $a < 0$, то $r(t)$ растет, а $z(t)$ убывает.

Заметим, что при других значениях параметров картина движения частиц может быть несколько иной.

Главная характеристика виброперемещения частицы по поверхности есть средняя скорость v_x ее движения вдоль образующей конуса $v_x = x/t$.

Здесь x - перемещение частицы вдоль образующей, начиная с момента времени, когда она впервые коснулась поверхности конуса; t - время виброперемещения. Эта величина зависит от времени изучения процесса виброперемещения. Однако, как следует из рисунка 12 скорость v_x в некоторых случаях может быстро достигать своего постоянного предельного значения, которое зависит от основных параметров частицы и всей системы. При получении графиков считалось, что в начальный момент времени частица находится на стенке внешнего конуса в его нижнем основании, а ее скорость относительно конуса равна нулю. Время движения равно 100.

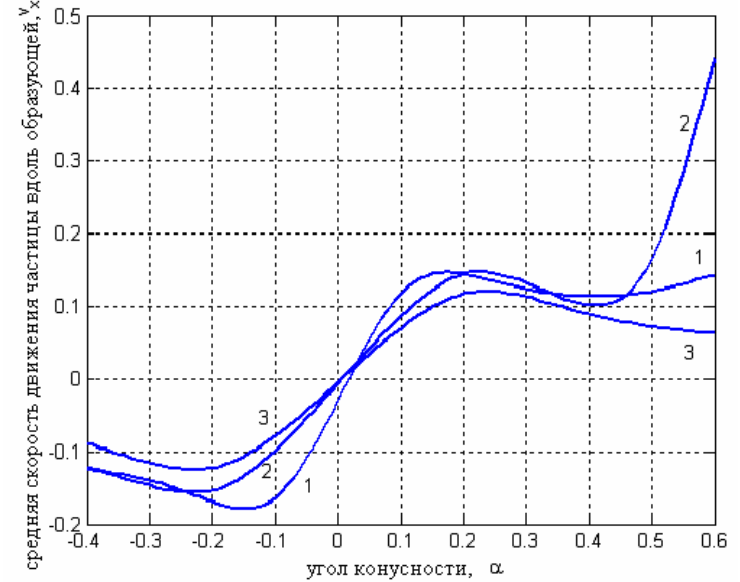


Рисунок 12 Зависимости средней скорости v_x от угла a .

На рисунке 12 показаны графики зависимости средней скорости v_x виброперемещения частиц вдоль образующей конуса от угла a при различных значениях других параметров. Положительное значение

V_x соответствует движению частиц вверх, а отрицательное - движению вниз. Кривая 1 соответствует увеличенным в 10 раз значениям скорости для следующих значений параметров $\omega=75\text{рад/с}$, $f=1$, $\tilde{H}=1$, $P/W=1$. Кривая 2 соответствует $\omega=75\text{рад/с}$, $f=1$, $\tilde{H}=4$, $P/W=2$. Для кривой 3 – $\omega=75\text{рад/с}$, $f=2$, $\tilde{H}=4$, $P/W=2$.

Начиная с определенного значения угла (для первой кривой это приблизительно 0,7, для второй кривой – 0,65, для третьей – 1) графики функций начинают резко возрастать. Движение становится похожим на случай, когда коэффициент трения обращается в ноль. Это связано с тем, что при больших углах нормальная к поверхности составляющая центробежной силы становится малой, в то время как радиальная составляющая этой силы растет. Следовательно, частица меньше прижимается к поверхности и ее скорость вдоль образующей быстро возрастает.

На основе этих рисунков можно сделать ряд качественных выводов о возможности виброперемещения частиц вверх или вниз с необходимой скоростью. Однако, в основном они будут иметь ограниченный характер, так как поведение частиц зависит от многих параметров. Поэтому приведенные здесь результаты можно рассматривать для общего обзора как ориентиры. Поведение частиц в каждом конкретном случае можно получить путем детальных расчетов на ЭВМ.

ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ ПОСЛЕ УДАРА О СТЕНКУ ПНЕВМОСЕПАРАЦИОННОГО КАНАЛА В ЦЕНТРОБЕЖНОМ ПОЛЕ СИЛ

М.А. Седешев, В.Л. Злочевский

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

Ранее [1] была построена модель пневмосепарации зерновой смеси в поле инерционных сил, где в качестве пневмосепарационного ка-

нала была выбрана вращающаяся цилиндрическая труба с внутренним радиусом R . Для выявления влияния ударов зерновых частиц на работу пневмосепарационного процесса в соответствии с положениями [1] нами создана модель движения частиц зерновой смеси после удара о стенку пневмосепарационного канала. Моделировался в трехмерном пространстве косой удар частицы зерновой смеси в виде материальной точки с поверхностью произвольной формы. В этом случае удар происходит к касательной плоскости в точке удара [2] и вектор скорости материальной точки лежит в соприкасающейся плоскости, то есть в плоскости, образованной касательной и главной нормалью в точке удара. Для цилиндрической поверхности пневмосепарационного канала главной нормалью будет радиус цилиндра, проведенный к точке удара. Процесс движения частиц зерновой смеси рассматривался в проекциях на оси r, j, z цилиндрической системы координат. В момент встречи с пневмосепарационным каналом частица имеет следующие составляющие вектора относительной скорости: радиальную скорость вдоль главной нормали $V_{r1} = \dot{r}_1$, трансверсальную скорость $V_{\varphi1} = R \cdot \dot{\varphi}_1$ и касательную составляющую $V_{z1} = \dot{z}_1$. Считая поверхности частицы и канала гладкими, можно принять, что после удара составляющие \dot{r}_2 и $\dot{\varphi}_2$ остаются неизменными ($\dot{r}_2 = \dot{r}_1$, $\dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_1$). При этом, следуя допущением высказанным для общего случая соударения двух тел Ньютоном, радиальная составляющая вдоль главной нормали \dot{r}_2 изменяет направление на обратное, а ее новое значение определяется соотношением

$$\dot{r}_2 = -k \cdot \dot{r}_1,$$

где k – коэффициент восстановления при ударе [3], который определяется опытным путем и может изменяться в пределах от 0 до 1.

Здесь индексы 1 и 2 соответственно обозначают скорости до и после удара, а точки над переменными – первые производные по времени.

Решение задачи состоит в том, чтобы найти уравнение движения частицы после удара о поверхность пневмосепарирующего канала $r = r(t)$, $\varphi = \varphi(t)$, $z = z(t)$, которые бы соответствовали начальным условиям $r_2 = r_1$, $\varphi_2 = \varphi_1$, $z_2 = z_1$, $\dot{r}_2 = -k \cdot \dot{r}_1$, $\dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_1$, $\dot{z}_2 = \dot{z}_1$,

полученным из решения по движению частицы в воздушном потоке в момент соприкосновения с поверхностью канала [1]. После отскока частица вновь попадает в воздушный поток и процесс ее движения рассчитывается по модели изложенной в статье [1]. Таким обра-

зом, можно проследить движение частицы с ударами о стенку пневмосепарационного канала пока она его не покинет.

Численное решение дифференциальных уравнений движения частицы в цилиндрической системе координат производилось на ЭВМ с помощью метода Рунге- Кутты в математической системе MathCAD, что позволило найти табличные зависимости координат и скоростей частицы в зависимости от времени. В качестве примера задача была решена с цилиндрическим воздушным каналом с внутренним радиусом $R = 30$ мм.

Для графического анализа траекторий движения частиц был выполнен по известным формулам пересчет данных из цилиндрической системы координат в трехмерную декартовую. На рисунке 1 изображены траектории движения частиц в трехмерной декартовой системе координат с тремя ударами о стенку пневмосепарационного канала. Третий (последний) удар показан без дальнейшего продвижения частиц. Стрелкой показано направление воздушного потока, скорость которого вдоль оси Z составляла $U = 20$ м/с. Рядом с траекториями нанесены значения скоростей витания частиц в м/с. Остальные параметры процесса таковы: угол наклона трубки $\alpha = 60^\circ$, частота вращения $n = 240$ оборотов в минуту, точка ввода частиц происходит с поверхности пневмосепарирующего канала с координатами $x = 25$ мм, $y = -(R^2 - x^2)^{0.5} = -16,58$ мм, $z = 26$ мм. Начальная скорость частиц в направлении оси OX составляет $V_{ox} = -0,5$ м/с, в направлении других осей принято $V_{oy} = V_{oz} = 0$. Коэффициент восстановления удара для зерновых культур имеет максимальное значение около 0,3-0,4. Поэтому для всех частиц он был принят одинаковым и равным 0,3. По кривым рисунка 1 можно сказать, что четко наблюдается процесс разделения зерновой смеси при заданных параметрах. «Легкие» частицы со скоростями витания 3, 4, 5, 6 м/с относятся к фракции, удаляемой воздухом, а «тяжелые», со скоростями витания 7, 8, 9 м/с, относятся к фракции, удаляемой силами инерции в направлении, противоположном направлению воздушного потока. Видно существенное влияние сил инерции на аэродинамическое разделение: в поле сил тяжести при данной скорости воздуха все рассматриваемые в примере частицы были бы увлечены потоком воздуха в одну сторону. Решение по движению частиц с ударом по поверхности пневмосепарирующего канала позволило более полно выявить характер движения частиц.

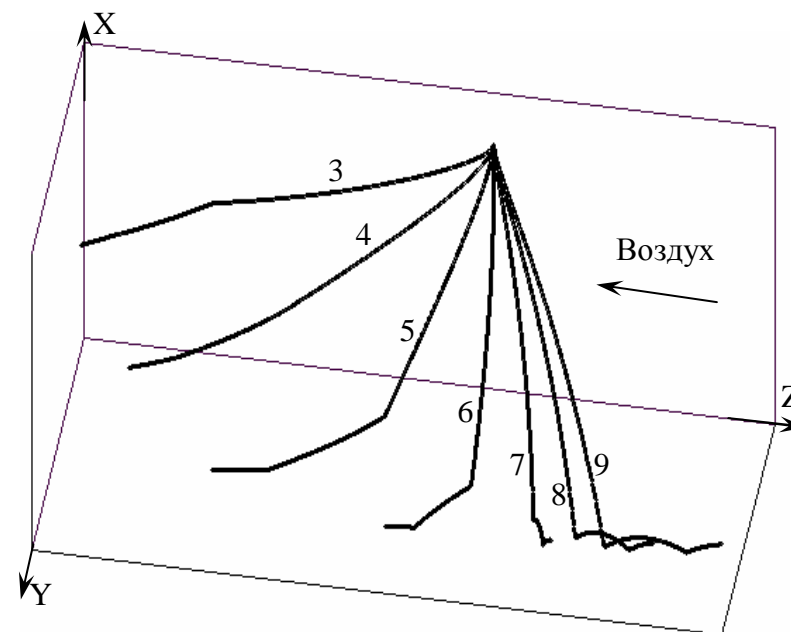


Рисунок 1 – Траектории движения зерновых частиц с ударами о стенку пневмосепарационного канала

Литература

1. Злочевский В.Л., Седешев М.А. Интенсификация аэродинамического разделения зерновой смеси в инерционном поле сил. Хранение и переработка сельхозсырья, №5, 2004, с. 26-30.
2. Вильке В.Г. Теоретическая механика: Учебник. 3-е изд., испр. и доп. – СПб: Издательство "Лань", 2003.-304 с.
3. Воронков И.М. Курс теоретической механики. М.: "Наука", 1966. – 596 с.: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕПАРИРОВАНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА НА РЕШЕТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СО СЛОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

В.Л. Злочевский, С.В. Тарасевич

Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова

Одной из важнейших технологических операций в процессах приема, хранения и переработки зерна является процесс сепарирования, т.е. разделение сыпучих материалов на фракции, отличающиеся свойствами частиц. Анализ статистических данных показывает, что существующая техника сепарирования по четкости разделения смесей не удовлетворяет возросшим требованиям промышленности. В настоящее время существует два подхода к решению этой проблемы: первый – многократная очистка зернового материала на одной и той же конструкции сепарирующей машины, что нарушает непрерывность технологического процесса и снижает эффективность работы оборудования при последующих стадиях обработки; второй – создание новых технологических схем, позволяющих получить заданные параметры качества разделяемых материалов. В последнем случае является актуальным применение систем с прохождением материала практически по той же части поверхности решета с некоторым регулируемым сдвигом его в область схода. Тем самым реализуется эффект умножения качества процесса сепарирования при неизменной площади сепарируемой поверхности и, как следствие, уменьшение площади оборудования при повышении удельной производительности машины.

В данной работе создан, испытан и теоретически проанализирован вид сепарирующего устройства, позволяющий повысить эффективность сепарирования материала на основе одновременного применения различных схем сепарирования на сравнительно небольшой площади устройства.

В настоящее время достаточно хорошо исследованы методы сепарирования материалов по наклонной вибрирующей поверхности, обеспечивающей движение материала, описывая его как упруго-пластическую среду при малом уровне вибраций решета, так и при высоком уровне вертикальных колебаний, когда материал представля-

ется псевдокипящей жидкостью. Поскольку вибрация основания слоя с ускорением, большим g , отрывает зерновые частицы друг от друга и от решета, коэффициент трения между отдельными частицами в момент их отрыва становится равным нулю, то становится неприемлемым для описания процессов движения использовать традиционные фрикционные характеристики.

Кроме того, известны способы сепарирования на качающихся поверхностях различной конфигурации с относительно малой частотой и большой амплитудой.

Раздельно эффекты сепарирования, основанные на указанных принципах, достаточно хорошо изучены. В данной работе предпринята попытка соединить оба этих, взаимноусиливающих, эффекта в условиях одной установки. Основой работы является вибрационно-качающийся принцип колебаний рабочего органа сепаратора с использованием регулирования скорости движения материала в область схода. При этом вибрационные колебания осуществляются в вертикальной плоскости с параметрами, превышающими уровень порога псевдокипания материала. Принципиальная схема подобного устройства представлена на рисунке 1.

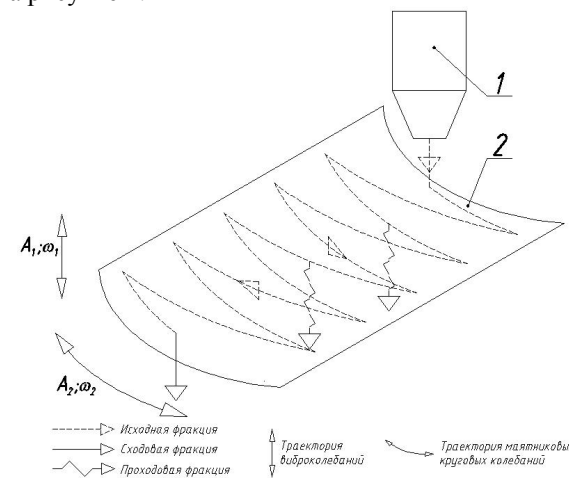


Рисунок 1. Принципиальная схема сепаратора со сложным принципом действия.

Неподвижный питатель 1 дозированно подает исходную смесь на вогнутое цилиндрическое решето 2, совершающее маятниковые круговые колебания и находящееся в состоянии высокочастотной вертикальной вибрации. Последняя ожигает исходный материал и усилива-

ет его виброподвижность. При круговых колебаниях решета с частотой, отличной от резонансной, наблюдается относительное окружное движение материала по решетной поверхности. При некотором регулируемом горизонтальном уклоне оси колебаний решета, в свою очередь, наблюдается постепенное движение материала в область схода.

Такой подход к решению вопроса создания и разработки модели сепаратора позволил:

1. За счет эффекта виброоживления значительно увеличить подвижность слоя и как результат – увеличить скорость движения зернового материала по качающейся решетной поверхности.

2. Вертикальные вибрационные ускорения обеспечивают эффективную самоочистку решета, а вертикальная скорость значительно смещает предельную тангенциальную скорость, при которой прекращается процесс сепарации, в область больших значений. Кроме того, круговое движение решета позволяет производить очистку решета традиционными неподвижными очистителями.

3. Новое псевдоагрегатное состояние зернового материала, не имеющее критических реологических параметров, позволяет исследовать закономерности его движения с позиций теории сплошных сред с привлечением, для описания процесса, известных классических законов физики, т.е. применить высокоинформативный детерминированный подход.

4. Параллельное использование концентрических систем решет, с противофазным движением, позволяет создать компактную, механически инерционно сбалансированную, конструкцию сепаратора.

Известно, что процесс сепарирования функционально зависит от скорости движения зернового материала (V) по решетной поверхности, поэтому динамика перемещения материала по решетку лежит в основе исследований данной работы.

Используя традиционную реологическую модель движения материала, представляя его как жидкость ньютоновского типа, было получено соотношение, позволяющее связать среднюю скорость движения материала по решетку, совершающему гармонические колебания, с конструктивными, технологическими и физическими параметрами.

$$\frac{dy}{dt} = \frac{r h^2}{m 3} \left[a_0 r w^2 \sin wt - g \sin \left[a_0 \sin wt + \frac{y(t)}{r} \right] \right], \quad (1)$$

где y - окружное перемещение материала относительно решета;
 t - время процесса;
 ρ - плотность смеси;

μ - вибровязкость;
 h - высота слоя;
 a_0 - амплитуда угловых колебаний;
 r - радиус колебаний;
 ω - угловая скорость;
 g - ускорение свободного падения.

Обоснование возможности принятия исходной физической модели состояния материала, близкого к ньютоновской жидкости, в данных условиях, при небольшой толщине слоя, подтверждено нами [1] и рядом исследователей [2,3].

Решение последнего дифференциального уравнения (1) движения осуществлялось с использованием численных методов и применением ПК.

Анализ показал, что источником движения служит инерционно-гравитационный механизм, причем силы создаваемые этими механизмами, являются конкурирующими.

Если решето движется с большим периодом окружных колебаний, инерционные силы, действующие на материал незначительны. Материал «стекает» с поверхности под действием тангенциальной составляющей гравитационной силы. При этом интенсификация процесса может быть обеспечена большими углами наклона решетной поверхности к горизонту. Это предполагает использование решет с малым радиусом кривизны.

В случае равенства силового воздействия обоих указанных источников движения, материал находится в покое относительно решетной поверхности. Такой режим, с точки зрения сепарирования является нежелательным, а при отсутствии оживления материала – невозможным.

При малом периоде колебаний, а, следовательно, и больших окружных ускорениях, инерционные тангенциальные силы значительны. Именно они теперь являются источником движения. В последнем случае возможности получения больших скоростей движения материала по решетку теоретически не ограничены, хотя практически, возрастающие окружные динамические нагрузки, будут диктовать предельные нижние значения периодов окружных колебаний. Интенсивность относительного движения материала, в этом случае, увеличивается с увеличением радиуса кривизны решетной поверхности.

Вторым, не менее важным вопросом, является создание модели самого процесса сепарирования, эффективность которого определяется множеством факторов.

Проанализировав материальный баланс проходовой фракции в слое движущегося материала, используя кинетический подход, нами получено выражение, определяющее эффективность сепарирования от комплекса физических параметров.

$$e = 1 - \exp\left(-\frac{A_{(v)}}{h} t\right) \quad (2)$$

где $A_{(v)}$ – постоянная, зависящая от формы, расположения отверстий, свойств зернового материала и технологических параметров движения решета, определяемая экспериментальным путем.

Некоторые параметры указанных уравнений (такие как $A_{(v)}$ и комплекс ρ/μ) следует определять экспериментально, поскольку на данном этапе развития, и, в условиях сложности происходящих процессов, их теоретическое описание невозможно и практически нецелесообразно. Расчетно-экспериментальная методика их определения нами разработана и обоснована.

Объединение указанных выше моделей (процессов движения и сепарирования) позволило нам создать общую модель работы сепараторов нового типа. Она позволяет, на основании экспериментальных базовых данных, прогнозировать эффективные параметры сепараторов и решать задачи создания их конструкций по заданным выходным характеристикам машины.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение созданной модели работы сепаратора со сложным принципом действия, с целью исследования оптимальных режимов их работы и наибольшей эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Злочевский В. Л., Баранов А. В., Тарасевич С. В. Моделирование движения зернового материала на сепараторах со сложным движением рабочих органов // Матер.11-й Междунар. научн.- практ. Конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-11-2005)». – Томск: ТГУ, 2005. – С. 139-141.
2. Членов В. А., Михайлов Н. В. Виброкипящий слой. М., «Наука», 1972. – С. 34.
3. Урьев Н. Б., Михайлов Н. В., Ребиндер П. А. Исследование реологических свойств высокодисперсных порошков в процессе вибрации. – Докл. АН СССР, 1969, т. 184, № 2.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ

В.В. Савинков

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Технологический процесс в машинах с псевдооживленным слоем до настоящего момента представлял собой систему, показанную на рисунке 1.

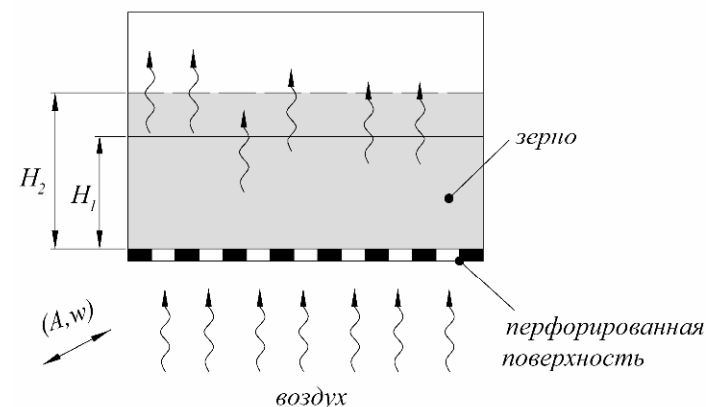


Рисунок 1 – Схема процесса псевдооживления.

Условно на перфорированную поверхность помещается зерновой материал и продувается потоком воздуха с присущими ему параметрами давления и расхода. В результате чего происходит разрыхление слоя зернового материала, т.е. увеличение его толщины с величины H_1 до H_2 , также увеличится порозность в соответствии с формулой 1:

$$e = \frac{V_{сл} - V_{ме}}{V_{сл}} = 1 - \frac{V_{ме}}{V_{сл}}, \quad (1)$$

где $V_{сл}$ - объем взвешенного слоя, $м^3$;

$V_{ме}$ - объем твердых частиц в слое, $м^3$.

Приложение к этой системе вибрации позволяет ввести понятие многократного упругого удара зерновки о жесткую стенку и зерновки

о зерновку при действии коэффициента восстановления, что приведет в результате к расслоению зернового слоя по его толщине.

варианты:

$$P_z = G$$

$$P_z > G$$

$$P_z < G$$

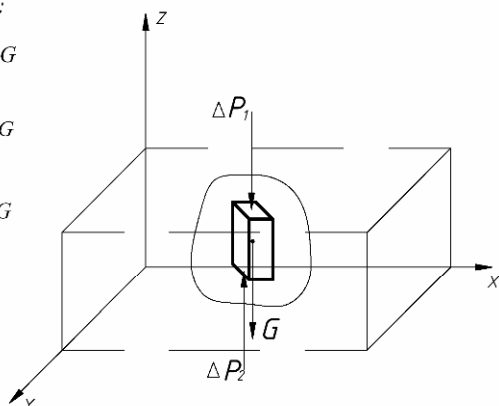


Рисунок 2 – Схема действия сил на зерновку в слое.

Более плотные частицы под действием результирующей сил опустятся вниз, а менее плотные – поднимутся вверх. Или возможны три случая (рисунок 2): а) результирующая сил по оси z будет больше чем сила тяжести, тогда зерновка поднимется вверх; б) результирующая сил будет равна силе тяжести – зерновка зависнет; в) результирующая сил будет меньше силы тяжести – зерновка опустится вниз.

Параметры, тормозящие процесс псевдооживления по толщине слоя (вдоль оси z) - это сопротивление слоя материала аэрации и наличие коэффициента восстановления после упругих ударов (энергия передачи вибрации будет уменьшаться от перфорированной поверхности по толщине слоя). В среднем толщина слоя зернового материала на действующих машинах составляет 20 мм. Эта толщина наиболее оптимальна для процесса псевдооживления, поэтому следует создать условия перекрытия (напряженное состояние) данного размера.

Новая система представляет из себя деку с перфорированными трубками (рисунок 3) к которой равномерно снизу подводится воздух и вибрация.

Подобная система позволит равномерно по объему распределить воздух. Создастся возможность увеличения толщины псевдооживленного слоя, в соответствии с формулой 1 возрастет объем взвешенного слоя – увеличится порозность. Увеличение порозности повлечет за собой снижение сопротивления аэрации слоя.

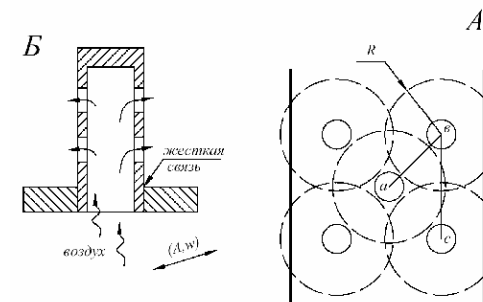
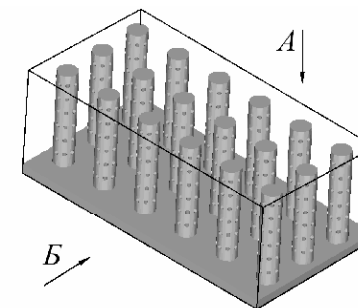


Рисунок 3 – Дека с перфорированными трубками.

С другой стороны, введенные в слой, жестко закрепленные с основанием трубки будут передавать энергию вибрацию по всей толщине слоя. При этом расположение в плане трубок может быть шахматным, главное условие – создать перекрытие линий действия оптимального размера слоя ($R=20\text{мм}$), т.е. расстояния av и bc должны быть меньше чем $2R$.

Увеличение порозности и распределение энергии вибрации по всей толщине слоя повлечет за собой снижение сопротивления слоя зернового материала (формула 2) и как следствие ускорит процесс псевдооживления (расслоения):

$$H_{сл} = r_n \cdot h_{сл} \cdot g \cdot (1 - e), \quad (2)$$

где r_n - плотность продукта, кг/м^3 ;

$h_{сл}$ - толщина слоя продукта, м;

e - порозность слоя.

Однако нужно помнить, что вместе с уменьшением сопротивления зерна в подобной конструкции увеличится сопротивление самой

деки, что повлияет отрицательно (увеличит) на потребление электроэнергии в итоге. Вместе с тем подобная конструкция позволит увеличить нагрузку на рабочий орган машины, тем самым, увеличив производительность (формула 3):

$$Q = q \cdot F, \quad (3)$$

где q – удельная нагрузка на рабочий орган (деку, перфорированную поверхность), т/ч·м²;

F – площадь рабочего органа машины, м².

ПУТИ СНИЖЕНИЯ РАЗМЕРОВ БАРАБАННЫХ ЯЧЕЙСТЫХ ДОЗАТОРОВ

В.П. Тарасов, А.В. Тарасов

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Барабанные ячейстые дозаторы широко распространены во многих отраслях промышленности, в строительстве, в сельскохозяйственном производстве. В зерноперерабатывающей отрасли они применяются для дозирования зерна и продуктов его переработки, используются в качестве питающих и выпускных устройств, служат герметизирующими устройствами машин и аппаратов, работающих под избыточным давлением или разрежением. Только на одной, средней производительности, мельнице их может быть более ста единиц. Поэтому снижение размеров, массы и стоимости дозаторов может существенно повлиять на себестоимость выпускаемой продукции.

В свою очередь эти параметры (размеры, масса, стоимость) зависят от коэффициента заполнения и частоты вращения ротора, поскольку их величиной определяется производительность G дозатора.

$$G = \frac{\rho D^2}{4} L \omega r_{нас} K_{зан}, \quad (1)$$

где D, L, ω – соответственно диаметр, длина и частота вращения ротора;

$r_{нас}$ – насыпная плотность материала;

$K_{зан}$ – коэффициент заполнения.

При этом следует иметь в виду, что коэффициент заполнения и частота вращения ротора взаимосвязаны друг с другом. Ниже предпринимается попытка теоретического обоснования этой связи и выявление факторов позволяющих повысить производительность питателя.

В коэффициенте заполнения можно выделить две составляющие.

Коэффициент K_1 – отражающий величину относительного объема элементов конструкции барабана.

$$K_1 = 1 - \frac{V_K}{V}, \quad (2)$$

где V_K – объем элементов конструкции барабана;

V – общий объем барабана.

И коэффициент K_2 , учитывающий собственно степень заполнения ячеек барабана.

$$K_2 = \frac{V_{mat}}{V_{яч}} = \frac{V_{mat}}{V \cdot K_1} = \frac{V_{mat}}{V - V_K}, \quad (3)$$

где V_{mat} – объем материала разгрузившегося из ячейки;

$V_{яч}$ – объем ячейки барабана.

При этом

$$K = K_1 \times K_2 \quad (4)$$

В дальнейшем речь пойдет о путях увеличения коэффициента K_2 . Здесь лишь отметим, что для современных барабанных ячейстых дозаторов, в том числе и для выступающих в качестве питателей нагнетающих пневмотранспортных установок величина коэффициента K_1 находится в пределах $K_1 = 0,75 \div 0,85$.

Коэффициент заполнения ячеек ротора зависит от многих параметров, в том числе: от физико-механических свойств материала; частоты вращения ротора, условий загрузки, размеров выпускных (выпускных) окон. Последнее связано с тем, что размеры выпускных окон могут оказаться недостаточными для полного заполнения ячейки, а выпускных для ее полного опорожнения, за время прохождения под (над) ними ячейки. С точки зрения степени заполнения ячеек барабана худши-

ми будут условия, когда в качестве предшествующего оборудования будет бункер или другое устройство, при котором скорость движения материала, в сечении впускного окна, будет минимальной (близкой к нулю). Поэтому в дальнейшем рассматривается именно этот случай.

Если считать, что заполнение (разгрузка) ячеек происходит в условиях свободного падения (под действием только сил тяжести), то за время Δt с момента совмещения ячейки с впускным (выпускным) окном до момента выхода ее за пределы границ соответствующего окна возможны два случая:

1) время Δt достаточно большое для того, чтобы материал достиг дна ячеек при ее заполнении (или полностью из нее вышел при разгрузке);

2) время Δt недостаточно большое и материал не достигнет дна ячейки при ее заполнении (не полностью выгрузится). В этом случае можно условно считать, что материал в барабане примет вид кольца толщиной h , рис. 1. $h \leq (D - d_{cm})/2$. Здесь d_{cm} – диаметр ступицы барабана.

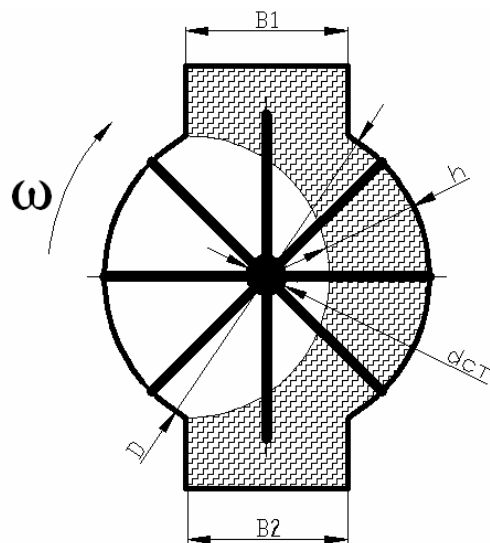


Рис. 1 Схема загрузки (выгрузки) ячеистого барабана

Поскольку время нахождения ячейки барабана над впускным (выпускным) окном определяется частотой его вращения и длиной

дуги B , то за один оборот объем материала поступившего в дозатор (разгрузившегося из него) будет равен объему кольцевого пространства толщиной h

$$V_{mat} = \frac{pD^2}{4}L - \frac{p(D-2h)^2}{4}L. \quad (5)$$

Так как, диаметр ступицы значительно меньше диаметра барабана ($d_{cm} \ll D$), то далее принимается $(D - d_{cm}) \approx D$.

После несложных преобразований получим:

$$V_{mat} = pLDh(1 - \frac{h}{D}). \quad (6)$$

Толщина кольца материала h будет определяться высотой его падения за время Δt . Если считать вращение барабана равномерным, и иметь ввиду, что $h = \frac{gt^2}{2}$, а скорость движения поверхности $u = pDw$, то пренебрегая толщиной лопаток

$$h = \frac{gB^2}{2p^2w^2D^2}, \quad (7)$$

где B - длина дуги меньшего из окон.

Тогда с учетом (7) выражение (5) примет вид:

$$V_{mat} = \frac{LgB^2}{2pDw^2} (1 - \frac{gB^2}{2p^2D^3w^2}). \quad (8)$$

При этом всегда следует учитывать, что толщина кольца материала не может быть больше радиуса барабана ($h \leq D/2$). Это означает что имеется критическая частота вращения барабана при которой материал при загрузке будет достигать дна ячейки, а при выгрузке полностью опорожняться,

$$w_{kp} = \frac{B}{2pD} \sqrt{\frac{g}{D}}. \quad (9)$$

Коэффициент заполнения K_2 ячеек барабана при $w \leq w_{кр}$ равен 1 ($K_2 = 1$). С учетом (8) выражение для определения коэффициента заполнения ячеек барабана (при $w > w_{кр}$) будет иметь вид:

$$K_2 = \frac{2gB^2}{p^2 w^2} \left(1 - \frac{gB^2}{2p^2 D^3 w^2}\right). \quad (10)$$

Если частота вращения барабана выше критического значения, то производительность следует определять из выражения:

$$G = L \frac{gB^2}{2pD} \left(1 - \frac{gB^2}{2p^2 D^3 w^2}\right) r_{nac} K_1. \quad (11)$$

При $w \leq w_{кр}$

$$G = \frac{pD^2}{4} L w r_{nac} K_1 \quad (12)$$

Анализ выражения (11) позволяет сделать вывод, что имеет место такая частота w^* вращения ячеистого барабана при которой производительность дозатора максимальная. Ее (w^*) нетрудно определить, исследовав выражение (11) на максимум:

$$w^* = \frac{B}{pD} \sqrt{\frac{3g}{2D}}. \quad (13)$$

Дальнейшее увеличение частоты вращения барабана не только не приведет к повышению производительности, а, вследствие уменьшения коэффициента заполнения ячеек, снизит ее. Максимальная производительность дозатора будет зависеть от его геометрических размеров,

$$G_{max} = \frac{1}{3} L B r_{nac} \sqrt{2/3 g D} \quad (14)$$

Учет влияния размеров окон становится особенно значимым применительно к ячеистым дозаторам, выполняющих функции питающих устройств нагнетающих пневмотранспортных установок поскольку размеры выпускного окна B у них определяется диаметром материалопровода $D_{mp} = (0,1 \div 0,15)D$. В этом случае согласно (14) производительность может существенно отличаться от производительности по загрузке. Частота вращения ротора должна быть снижена (относительно w^* рассчитанной загрузочному окну) Следует еще раз

подчеркнуть, что реальные процессы заполнения, опорожнения ячеек барабана могут значительно отличаться от принятых условий. Это в большей степени относится к барабанным дозаторам для мелкодисперсных материалов и питающим устройствам нагнетательных пневмотранспортных установок, у которых действующие на материал аэродинамические силы сопоставимы или превышают силы тяжести. Несмотря на это полученная модель, даже в этом случае может оказаться полезной с точки зрения поиска путей увеличения производительных барабанных ячеистых дозаторов, снижения их размеров, массы, стоимости.

Полученные для расчета максимальной производительности и соответствующей ей частоте вращения барабана выражения (13) и (14) позволяют определить рациональные режимы работы дозаторов, а также основные размеры рабочих органов.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАГРУЗОЧНОЙ КАМЕРЫ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ШНЕКОВОГО ПИТАТЕЛЯ

В.П. Тарасов, Е.С. Лямкин, А.В. Тарасов

**Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова**

На кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета разработана конструкция шнекового питателя ПШС (в дальнейшем питателя) для нагнетательных пневмотранспортных установок. В настоящее время на различных предприятиях пищевого производства работают десятки питателей этой конструкции. Их применение позволяет повысить технико-экономические показатели всей системы пневмотранспортирования. Однако проведенные экспериментальные исследования позволили установить что, фактическая производительность питателя значительно ниже теоретической.

Анализ конструкции и опыт эксплуатации показывают, что одной из сдерживающих причин повышения производительности шнекового питателя является загрузочная камера и процессы протекающие в ней.

Под загрузочной камерой понимается приемный патрубок, часть шнека и корпуса расположенного под ним.

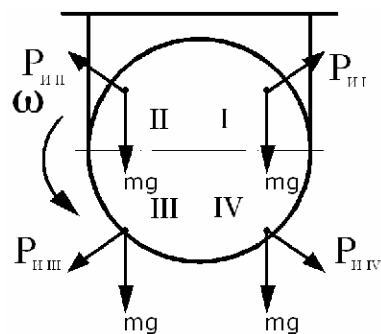


Рис. 1. Схема сил, действующих на частицу в поперечном сечении питателя

Можно предположить, что основной причиной низкой производительности является то, что при работе питателя из за высоких оборотов шнека (до 1500 об/мин) возникают значительные инерционные силы. Расчеты показывают, что величина сил инерции действующая на частицу, которая находится в загрузочной камере, сопоставима с силой тяжести и может превышать ее.

Даже упрощенный анализ действующих на частицу сил, рис.1 дает основание утверждать, что взаимное расположение векторов сил инерции, $P_{и}$ и сил тяжести, mg в различных секторах поперечного сечения питателя неодинаково. Суммарная составляющая сил тяжести и сил инерции в определенных участках загрузочной камеры способствует (в секторе IV), а в других препятствует (в секторе I) захвату и дальнейшему продвижению материала в смесительную камеру.

Если учесть, что движение материала в питателе обеспечивается в результате силового воздействия не только вышеуказанных сил тяжести и инерции при вращательном движении, но и сил трения о перо шнека и корпус, сил взаимодействия между частицами материала, а также сил инерции при поступательном движении материала, то картина представляется достаточно сложной. Попытки теоретического описания движения материала в межлопастном пространстве шнека неоднократно предпринимались многими авторами [1, 2, 3]. Однако результаты расчета, особенно для быстровращающихся шнеков, да еще и осложненных движением воздушных потоков (для питателей) существенно отличаются от действительности.

В настоящей работе предпринимается попытка на основе упрощенной физической модели (рис.1) предложить такие изменения в конструкции загрузочной камеры, которые бы вызвали увеличение производительности питателя. При этом изменения будут касаться

геометрии загрузочного патрубка и параметров шнека, а также совокупности их влияния на производительность.

Чтобы уменьшить отрицательное влияние сил инерции в секторе II, выталкивающих материал в приемный патрубок, предлагается боковые стенки загрузочного устройства выполнить по касательной, как показано на рис.2. Предполагается, что это улучшит условия загрузки и приведет к увеличению производительности питателя.

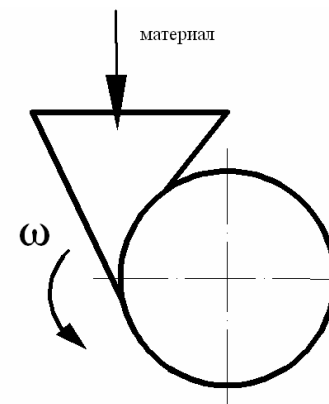


Рис. 2. Схема измененного приемного патрубка.

Геометрические характеристики шнека в загрузочной части изменяли в двух направлениях: 1) заборную часть шнека выполняли конусной с углом раскрытия в сторону движения рис.3 и 2) лопасть шнека выполняли прерывистой и с измененным шагом, рис.4.

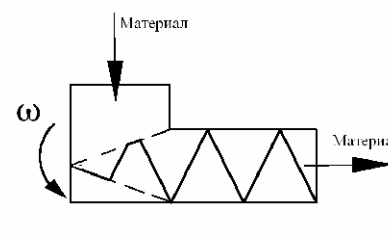


Рис. 3. Схема питателя с конусным заборным витком

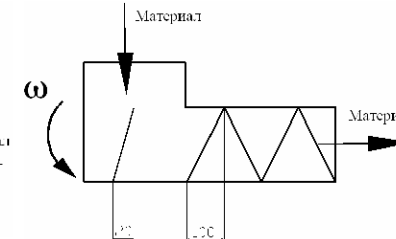


Рис. 4. Схема питателя с прерывистым витком

Испытания проводили на стенде включающим шнековый питатель, соответствующие приборы и средства измерений. В качестве сравнения использовался питатель с типовой загрузочной камерой (с вертикальными боковыми стенками и цилиндрическим шнеком с одинаковым шагом). При этом исследования проводились при различной частоте вращения вала шнека: $12,5 \text{ с}^{-1}$; $16,7 \text{ с}^{-1}$; 25 с^{-1} . Результаты экспериментов приведены в таблице. Там же помещены результаты теоретических расчетов.

Анализ полученных данных показал, что влияние сил инерции существенно. Фактическая производительность отличается от теоретической в несколько раз. Причем с увеличением частоты вращения шнека эта разница возрастает.

Изменение конфигурации приемного патрубка позволило увеличить производительность питателя. При этом эффект увеличения возрастает с ростом частоты вращения шнека питателя.

Изменение параметров шнека питателя не привели к положительному результату. Можно предположить, что причиной этого, наряду с уменьшением сил инерции при окружном движении является падение скорости движения продукта в осевом направлении, это, вероятно, и приводит к снижению производительности.

Совместный эффект изменения параметров загрузочного патрубка и шнека при небольших частотах был отрицательным, а при высоких – положительным; однако всегда меньшим, чем только при изменении геометрии приемного патрубка.

Таблица. Результаты экспериментальных исследований влияния параметров загрузочной камеры на производительность питателя

Скорость вращения шнека, с ⁻¹	12,5	16,7	25
	производительность, т/ч (% к типовому)		
Теоретический расчет	21,2	28,3	42,4
Питатель типовой	3,35 (100)	3,06 (100)	2,42 (100)
Питатель с измененной загрузочной камерой и с обычным шнеком.	3,51 (104,8)	3,64 (119)	2,90 (120)
Питатель с измененным шнеком (конусная в загрузочной части) и с обычной загрузочной камерой.	2,70 (80,6)	2,36 (77,1)	2,52 (104)
Питатель с измененным шнеком (конусная в загрузочной части) и с измененной загрузочной камерой	3,21 (95,8)	3,05 (99,7)	2,42 (100)
Питатель с прерывистым шнеком, измененным шагом и с обычной загрузочной камерой	2,78 (83)	2,30 (75,2)	2,23 (92,2)
Питатель с прерывистым шнеком, измененным шагом и с измененной загрузочной камерой	2,86 (85,4)	2,73 (89,2)	2,56 (105,8)

Сравнение с теоретическими возможностями питателя по производительности позволяет утверждать о наличии больших резервов и необходимости дальнейших поисков путей ее увеличения.

Литература.

Григорьев А. М. Винтовые конвейеры. -М.: Машиностроение, 1972. - 180 с.

Лямкин Е. С. Тарасов В.П. Взаимодействие транспортируемого продукта с элементами загрузочной камеры винтового питателя. // Современные проблемы техники и технологии хранения и переработки зерна: Сб. докл. 4-ой научно-практич. Конф. С международным участием / Алт. Гос. Техн. Ун-т им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ. -2000. –с.45-51.

Хрулёв С.В. Определение производительности винтовых питателей пневмотранспортных установок. Деп. в ЦНИИЭТ и Тяжмаш 15.08.88 №196 - ТМ88

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ШНЕКОВЫХ ПИТАТЕЛЕЙ НАГНЕТАЮЩИХ ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК

В.П. Тарасов, Е.С. Лямкин, А.А. Илюшников

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

В период с 1998 по 2005 г.г. на ОАО «Пермский мукомольный завод» внедрена партия шнековых питателей нагнетающих пневмотранспортных установок, разработанных и изготовленных на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета на основании патента № 2156728. Расчет и конструирование питателей выполнены с учетом рекомендаций, полученных в результате теоретических и экспериментальных исследований, а также опыта их эксплуатации.

Питатели установлены в линии непрерывного производства и служат для транспортирования муки и отрубей из мельницы в склад готовой продукции. За время эксплуатации, по отзывам обслуживаю-

щего персонала, питатели выполняли функции ввода материала в область повышенного давления исправно. Технологическое обслуживание заключалось в уходе за подшипниковым узлом питателей. Пылевыделения не наблюдалось, хотя временами давление достигало 200 кПа. Попадание транспортируемого продукта в узлы не было, повышение температуры подшипников и уплотнительных устройств, а также узла герметизации не превышало допускаемых величин.

Однако наряду с этим имели место и недостатки, что приводило к необходимости внесения изменений в конструкцию питателей. Таким образом ввиду постоянной модернизации на ОАО «Пермский мукомольный завод» эксплуатируются питатели трех модификаций. Изначально была внедрена партия из трех питателей ПШС-130, предназначенных для подачи муки (1 с, в/с и обдирной) из мельницы в склад готовой продукции. Особенностью конструкции данных питателей является цельный корпус, выполненный из бесшовной трубы, и уплотнительное устройство подшипникового узла, выполненное из сальниковой набивки. Такая конструкция значительно сокращала стоимость изготовления и позволяла питателю выполнять свои функции. Однако в процессе эксплуатации выявилось, что использование единого корпуса увеличивает сроки и затраты на ремонт и обслуживание питателей, так как для этого их необходимо полностью демонтировать. Уплотнительное устройство подшипникового узла требует частой регулировки и быстро изнашивается, что приводит к потерям транспортируемого материала. Для исключения этих недостатков следующая партия питателей (ПШС-150 – 1 шт. и ПШС-180 – 2 шт.), предназначенных для подачи отрубей из мельницы в склад готовой продукции и в склад бестарного хранения муки, конструктивно состояла из двух частей: непосредственно корпуса питателя (где размещен шнек) и корпуса подшипников, соединенных между собой с помощью фланцев и болтового соединения. Для регулировки соосности корпуса питателя и шнека предусмотрены регулировочные втулки, размещенные между фланцами. Уплотнение подшипникового узла заменено на торцевое с использованием графитовых материалов. Внесенные изменения позволили проводить обслуживание и ремонт питателя без демонтажа корпуса. Однако при сборке ввиду малой жесткости и большой длины регулировочных втулок возникали проблемы центровки корпуса подшипников и корпуса питателя. Это отрицательно влияло на жесткость конструкции и как следствие возникало биение вала. Применяемое торцевое уплотнение подшипникового узла не требовало регулировок и исключало проникновение транспортируемого материала в полость подшип-

никового узла. Но при полном износе графитовой втулки (хотя за время эксплуатации это не произошло) ввиду отсутствия ограничителя возможно трение держателя втулки, выполненного из металла о вал шнека, что приведет к нагреву узлов питателя и искрообразованию.

Последняя партия питателей (питатели ПШС-180 – 2 шт. и ПШС-150 – 1 шт.), предназначенная для перемещения муки из склада готовой продукции в склад бестарного хранения муки была изготовлена с учетом недостатков предшествующих конструкций. В частности для увеличения жесткости корпус питателя снабжен ребрами жесткости. Соединение подшипникового узла и корпуса питателя осуществлено с помощью фланцев без регулировочных втулок. При этом требуемая соосность обеспечивалась точностью изготовления.

Таким образом предложенная конструкция питателя не требовала регулировки после его ремонта. Помимо изменения конструкции корпуса был предусмотрен ограничитель хода торцевого уплотнения, исключаяющий соприкосновение металлических деталей, искрообразование и нагрев.

После длительной эксплуатации и последующей корректировки технических параметров были проведены испытания с целью сравнения расчетных данных и фактических результатов. При испытаниях замерялись: сила тока, потребляемая электродвигателями питателей, производительность, давление воздуха перед питателем.

Результаты испытаний, а также некоторые расчетные параметры приведены в таблице.

Технические параметры шнековых питателей

Транспортируемый материал	Марка питателя	Мощность, кВт		Сила тока (измеренная)	Давление, кПа	Длина трассы, м	Производительность, т/ч	
		Установл	Потребл				Расч	Факт
Мука, в.с	ПШС-130	7,5	4,4	10,5	175	115	5	4,2
Мука, 1 с.	ПШС-130	7,5	4,4	10,5	160	112	5	4,2
Обдирная мука	ПШС-130	7,5	3,5	8,8	166	110	5	4,2
Отруби	ПШС-150	7,5	2,9	7,6	130	90	3,33	3
Отруби	ПШС-180	11	4,0	10	118	100	10	9
Отруби	ПШС-180	11	4,6	11	120	100	10	10
Мука, в.с.	ПШС-180	11	7,3	20	150	78	12	10
Мука, 1 с	ПШС-180	11	7,3	20	150	75	12	10
Мука, 2 с	ПШС-150	11	5,1	12	150	84	7	5

Отличие фактической производительности от расчетной объясняется поточностью производства (поступлением при испытаниях на питатель именно этого количества материала), а не недостатками самого питателя. Следует также иметь в виду, что при сравнении расчетной и фактической мощностей надо учитывать влияние производительности на потребляемую питателем энергию.

Значительные снижения потребляемой мощности по сравнению с расчетной и фактической, замеренной сразу после монтажа (результаты здесь не приводятся) объясняется снижением сопротивления движению продукта относительно пера шнека (преимущественно последнего витка) и корпуса питателя. Эти части питателя при разборке оказались сильно отшлифованными.

Можно также предположить, что при повышении степени чистоты обработки этих деталей возможно снижение мощности электродвигателя привода. Причем резерв уменьшения мощности достаточно велик (более чем в 2 раза). Это позволит снизить как стоимость питателя, так и его эксплуатационные затраты.

Следует также обратить внимание, что для трех одинаковых питателей (ПШС-130), работающих примерно в одинаковых условиях (при равных производительностях и давлении) значение потребляемой мощности у одного из них существенно отличается. Это говорит о каких-то неучтенных факторах при расчете или об отступлениях в конструктивных параметрах при изготовлении, что необходимо в дальнейшем выяснить.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНА И ЗЕРНОПРОДУКТОВ АППАРАТНЫМ МЕТОДОМ

З.Э. Гарш, В.С. Лузев

**Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова**

Качество зернового сырья является одним из важнейших факторов развития зерноперерабатывающей отрасли, поскольку определяет выход, качество и себестоимость готовой продукции. Около половины

качественных показателей зерна и продуктов его переработки, согласно действующим стандартам, определяются визуально, что приводит к полученным результатам.

Наибольший интерес представляет определение типового состава пшеницы, проса и кукурузы, определение степени обесцвеченности зерна пшеницы, содержания пожелтевших и меловых зерен и зерен с красной семенной оболочкой в рисе, содержания испорченных зерен в сырье и готовой крупяной продукции, а также определение недодира.

Цвет зерна, согласно ГОСТу 10967-90 «Зерно. Методы определения запаха и цвета», определяют визуально, путем сравнения с описанием этого признака в стандартах на исследуемую культуру. Очевидно, что указанные описания не могут интерпретироваться всеми одинаково, так как разные люди по-разному воспринимают цвет, опираясь на свой собственный визуальный опыт и память. Поэтому сенсорный анализ цветových характеристик зерна, выполняемый человеком, нельзя считать объективным и, следовательно, воспроизводимым.

Специализированное оборудование для аппаратного определения и контроля цветových характеристик в зерноперерабатывающей отрасли практически не используется по причине высокой стоимости, сложности и трудоемкости анализа.

Поэтому остро стоит проблема разработки нового, более быстрого и дешевого (по сравнению с аппаратными методами) и при этом более объективного (по сравнению с визуальным анализом) метода определения цветových характеристик пищевых продуктов.

Решением этой проблемы является измерение цвета.

Адекватные замеры цвета, которые могут быть неоднократно повторены, можно производить с помощью устройства ввода цветовой информации (сканера или цифровой камеры), подключенного к компьютеру: в цифровом виде каждый оттенок однозначно описывается определенными координатами в цветовом пространстве RGB.

В идеальном случае сканер или камера без искажения или потери некоторых цветов должны передавать в компьютер качественное цветное изображение, а монитор – так же точно его воспроизводить. Тогда изображение на экране будет полностью соответствовать объекту. Однако нормальной цветопередаче мешает множество факторов, основные из которых:

1) Человеческое зрение отличается от сенсоров сканера или фотоаппарата. Сенсоры устройств и колбочки человеческих глаз воспринимают свет различных частот в разных пропорциях.

2) Различные устройства характеризуются различной цветовой гаммой. Монитор способен показать такие цвета, которые не способен напечатать принтер, а принтер, в свою очередь, может произвести цвет, который нельзя воспроизвести на мониторе. Сенсоры камеры или сканера могут определять цвета, которые нельзя воспроизвести ни на мониторе, ни на принтере.

3) Различные устройства используют разные цветовые модели. Цветовая модель - это представление цвета в математическом виде. Если устройства используют различные цветовые модели, они должны преобразовывать цвет из одной модели в другую. При таких операциях часто происходят ошибки. Это целая проблема для зависимых от устройств моделей - моделей, предназначенных только для работы с конкретным принтером, монитором, сканером или фотоаппаратом.

Для предотвращения этих ошибок требуется управление цветом (color management). Оно осуществляется с помощью специального программного обеспечения в два этапа:

1) Создание цветового профиля для устройства ввода. Для этого сканируется цветовой эталон, поставляемый в комплекте программного обеспечения. После сравнения программа создает профиль, который затем компенсирует разницу между истинными значениями цветов эталона и теми, которые воспринял сканер.

2) Калибровка монитора. Для этого сенсорная часть устройства, «считывающего» цветовую информацию, прикрепляется непосредственно к стеклу монитора и позиционируется над высвеченной на экране цветовой таблицей калибрующей программы. Прибор делает замеры каждого из контрольных цветов таблицы, а программа собирает данные по всем этим замерам и анализирует полученную информацию. В результате программа определяет, в каких местах произошли те или иные сдвиги в работе монитора. Соответственно, подстраиваются и корректируются гамма монитора, его черная и белая точки и цветовой баланс.

Таким образом, достигается четкое соответствие изображения на мониторе численным характеристикам цвета, полученным при сканировании, а последних - реальному объекту, то есть имеется исчерпывающая информация о цвете.

Эта технология была использована для разработки аппаратной методики определения цветовых характеристик зерна и продуктов его переработки. Данная методика предусматривает выполнение следующих операций:

Сканирование объекта (пробы зерна) вместе с цветовым эталоном.

Подготовка полученного изображения (из каждой зерновки с помощью программы «Corel Photo Paint 12» вырезается фрагмент).

Формирование общего фрагмента из всех единичных.

Измерение цветовых характеристик RGB в каждой точке общего фрагмента с помощью программы «Cvet».

Усреднение результатов в пределах объединенного фрагмента.

Для оценки эффективности предлагаемой методики были взяты проба зерна мягкой яровой красной пшеницы (100 зерновок) и проба семян гороха (100 штук). Зерно вместе с цветовым эталоном сканировали на трех марках сканеров, причем во всех случаях при сканировании были установлены одинаковые параметры: разрешение 200 точек на дюйм, гамма 2,2, подсветка 255 единиц сканера. Сканирование на каждом из сканеров производилось дважды: с активным (включенным) профилем и без него.

Для достоверности результатов была взята такая выборка зерна, при которой число точек каждого общего фрагмента лежит в интервале 130...140 тысяч.

После нахождения средних значений отражательной способности зерна пшеницы и семян гороха для каждого случая были подсчитаны расхождения при сканировании без профиля (таблицы 1 и 2) и с применением профиля (таблицы 3 и 4). Показания разных сканеров сравнивались попарно.

Таблица 1 – Расхождения в отражательной способности зерна пшеницы при сканировании без применения профиля

Сравниваемые марки сканеров	Расхождение показаний (в единицах сканера)		
	в красном канале	в зеленом канале	в синем канале
UMAX и Epson	11,5	8,8	1,1
HP и Epson	10,0	8,2	10,7
UMAX и HP	1,5	0,6	9,6

Таблица 2 – Расхождения в отражательной способности семян гороха при сканировании без применения профиля

Сравниваемые марки сканеров	Расхождение показаний (в единицах сканера)		
	в красном канале	в зеленом канале	в синем канале
UMAX и Epson	11,5	17,1	15,8
HP и Epson	11,5	18,5	22,2
UMAX и HP	0	1,4	6,4

Таблица 3 – Расхождения в отражательной способности зерна пшеницы при сканировании с применением профиля

Сравниваемые марки сканеров	Расхождение показаний (в единицах сканера)		
	в красном канале	в зеленом канале	в синем канале
UMAX и Epson	1,5	2,1	3,9
HP и Epson	0,8	2,0	5,2
UMAX и HP	2,3	4,1	9,1

Таблица 4 – Расхождения в отражательной способности семян гороха при сканировании с применением профиля

Сравниваемые марки сканеров	Расхождение показаний (в единицах сканера)		
	в красном канале	в зеленом канале	в синем канале
UMAX и Epson	9,9	1,0	7,1
HP и Epson	4,3	3,8	10,7
UMAX и HP	5,6	4,8	3,6

Анализ полученных результатов показал, что расхождения в отражательной способности как зерна пшеницы, так и семян гороха при

сканировании с применением профиля имеют в несколько раз меньшие значения, чем расхождения, полученные при сканировании без профиля, что позволяет считать данную методику определения зональной отражательной способности зерна (в красном, зеленом и синем каналах) аппаратно-независимой.

Перспективой развития предлагаемой методики является создание обширной базы данных и программы сравнения, что сделает возможной мгновенную идентификацию исследуемого образца по всем характеристикам, определяемым визуально (типовой состав, примесь зерна других типов и зерна с недопустимой окраской, содержание испорченных и поврежденных зерен, содержание сорной и зерновой примеси с указанием их состава).

ГИДРОИМПУЛЬСНАЯ КАВИТАЦИОННАЯ ПОДРАБОТКА СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В.Е. Горяев, Е.В. Горбылева

**Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова**

Одними из наиболее эффективных методов диспергирования и дополнительной обработки сырья – зерна, муки и дрожжей, - являются те, в основе которых лежит явление кавитации, которая порождается либо ультразвуком (акустическая), либо гидроимпульсами (ротационная).

Наибольшее распространение в хлебопечении на сегодняшний день получил акустический метод. Он заключается в активации дрожжей путем обработки дрожжевой суспензии и/или жидкого полуфабриката, приготовленного на дрожжах, а также дрожжевого теста – энергией ультразвуковых колебаний, которая является мощным дезинтегрирующим средством [С.Д.Шестаков].

Наряду с акустическим методом существует ротационный метод, который в настоящее время находится в стадии изучения. Его меха-

низм и закономерности недостаточно известны. В связи с этим рассмотрим процесс гидроимпульсной подработки сырья.

В последние годы большое внимание уделяется предварительной обработке дрожжей с целью интенсификации процесса брожения. Однако, исследования [С.Д.Шестаков] показали, что ультразвук даже с энергией ниже порога кавитации в жидкости может оказывать летальное воздействие на микроорганизмы с размерами дрожжевых клеток. Подобное действие на дрожжи оказывает и гидроимпульсная обработка дрожжевой суспензии при ротационном воздействии.

Нами были проведены испытания кавитационного теплогенератора с оценкой воздействия кавитации на жизнедеятельность микроорганизмов (дрожжей) в водной среде. Рассматривался вопрос применения соплового кавитационного теплогенератора для полного уничтожения микроорганизмов. Для опытов была подготовлена суспензия дрожжей, которая подвергалась кавитационной обработке в один проход, в два прохода и в три прохода. Далее суспензия подвергалась кавитированию в сопловом кавитационном теплогенераторе.

Эффективность кавитационной обработки оценивалась соотношением количества оставшихся живых клеток микроорганизмов и количество клеток, погибших в процессе кавитации. Результаты приведены в таблицах №1, №2, №3.

Таблица №1 Обработка суспензии в один проход

$P = 2,4 \text{ атм}$ $T_n = 19,7 \text{ оС}$
 $Q_c = 0,15 \text{ л/с}$ $T_k = 38,1 \text{ оС}$

№ поля	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во живых клеток	21	15	21	24	14	25	23	23	27	20
Кол-во мёртвых клеток	8	9	9	14	15	12	9	14	13	11

Таблица №2 Обработка суспензии в два прохода

$P = 2,4 \text{ атм}$ $T_n = 38,1 \text{ оС}$
 $Q_c = 0,15 \text{ л/с}$ $T_k = 45,4 \text{ оС}$

№ поля	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во живых клеток	7	3	7	7	2	1	5	2	2	2
Кол-во мёртвых клеток	9	17	21	22	29	22	29	28	27	21

Таблица №3 Обработка суспензии в три прохода

$P = 2,4 \text{ атм}$ $T_n = 45,4 \text{ оС}$
 $Q_c = 0,15 \text{ л/с}$ $T_k = 50,1 \text{ оС}$

№ поля	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во живых клеток	2	2	6	2	3	4	7	1	2	7
Кол-во мёртвых клеток	29	21	8	27	18	29	22	22	28	20

Количество клеток дрожжей в суспензии до кавитации в поле зрения микроскопа «Биолам» составляло: живых клеток – 21, мёртвых клеток – 2. После обработки суспензии в кавитационном ротационном теплогенераторе в один проход, количество живых клеток в среднем составляло 21, мёртвых – 11. При обработке в два прохода количество клеток в среднем составляло: живых – 9, мёртвых – 22. После третьего прохода живых клеток осталось 7, мёртвых – 25 в поле зрения.

Таким образом при работе кавитационного теплогенератора в режиме кавитации с расходом суспензии 0,15 л/с и давлением 2,4 атм двойной прогон водной суспензии дрожжей позволяет эффективно разрушать более 85% живых клеток.

Дальнейшая обработка дрожжевой суспензии проводилась в сопловом кавитационном теплогенераторе ($P = 5 \text{ атм}$, $Q_c = 0,5 \text{ л/с}$, $T_n = 45,4 \text{ оС}$, $T_k = 56 \text{ оС}$). Проанализировав суспензию после обработки в данном кавитаторе, было установлено, что живые клетки отсутствуют, а всё поле зрения окрашено в синий цвет. Это свидетельствует о том, что в процессе кавитации клетки были полностью разрушены.

Наиболее эффективным является процесс активации, при котором мощному гидроимпульсному воздействию подвергается не дрожжевая суспензия, а водно-мучная питательная среда до внесения в нее дрожжей.

Нами были проведены исследования по кавитационной гидроимпульсной подработке муки. Для исследований мы используем опытный образец кавитационного теплогенератора ротационного типа с мощностью электродвигателя 11кВт, расходом жидкости 0,15-0,5 л/с и давлением 0,2-0,4 МПа. Соотношение муки и воды составляет 1:3.

Обработка осуществлялась в рециркуляционном режиме до того момента, когда температура суспензии достигала 40 оС (7 минут обработки). Это связано с тем, что при данной температуре наиболее эффективна работа ферментов. Кроме того, это оптимальная температура для работы дрожжей. Методикой исследований предусматривался отбор проб суспензии через 2, 4,5, 7 минут. В качестве контроля использовали некавитированную водно-мучную суспензию. На основе каж-

дой из отобранных проб осуществляли замес теста по рецептуре, приведенной в таблице №4.

Таблица №4 Рецептура приготовления теста.

Наименование сырья	Варианты опытов			
	1	2	3	4
Мука в/с, кг	100	80	80	80
Дрожжи прессованные, %	2,5	2,5	2,5	2,5
Суспензия 1/3, кг (20% муки)	-	72,54	72,54	72,54
Вода, кг	52,54	-	-	-
Соль, %	1,5	1,5	1,5	1,5

1 – контроль (традиционная технология);

2 – водно-мучная суспензия после гидроимпульсной обработки в течение 2 минут;

3 – водно-мучная суспензия после гидроимпульсной обработки в течение 4,5 минут;

4 – водно-мучная суспензия после гидроимпульсной обработки в течение 7 минут.

У приготовленного теста определяли такие показатели, как кислотность и подъемная сила. Результаты определений приведены в таблице №5.

Таблица №5 Оценка качества теста

Показатель	Варианты опытов			
	1	2	3	4
Кислотность, град.				
- начальная;	2	2,1	2,2	2,4
- конечная.	3	3,2	3,2	3,3
Подъемная сила, мин				
- начальная;	22	17	15	13
- конечная.	7	4	3,5	3

Анализируя полученные результаты можно сказать, что кислотность теста приготовленного на основе водно-мучных суспензий, прошедших кавитацию незначительно отличается от кислотности теста, приготовленного по традиционной технологии. Тогда как подъемная сила заметно улучшается: начальное значение этого показателя снижается с 22 до 13 минут, а конечное – с 7 до 3 минут.

Таким образом, предварительная гидроимпульсная подработка муки позволяет значительно улучшить подъемную силу теста, что позволяет сократить технологический процесс производства хлебоуло-

ных изделий. При этом кавитационная обработка не снижает другие показатели сырья.

МАКАРОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

В.Г. Курцева, Т.Н. Баскакова

Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова

Ухудшение экологической ситуации, современный ритм и образ жизни привели к устойчивой тенденции ухудшения здоровья населения России. Поэтому пищевые продукты в современных условиях должны не только удовлетворять потребности человека в основных питательных веществах и энергии, но также выполнять профилактические и лечебные функции для укрепления и поддержания здоровья.

Решением этой важной для общества проблемы питания является разработка и совершенствование технологий новых функциональных продуктов питания, оказывающих благотворное воздействие на здоровье при регулярном их употреблении. Макароны являются традиционным продуктом питания, который вполне может использоваться в качестве функционального. В связи с этим, актуальным может стать использование местного нетрадиционного сырья для получения принципиально новых видов макаронных изделий повышенной пищевой ценности, обогащенных микроэлементами, минеральными солями, витаминами, пищевыми волокнами, а также разработка технологий, предусматривающих рациональную замену основных видов сырья. В целом, макаронные изделия имеют низкую биологическую ценность, в их составе отсутствуют некоторые незаменимые аминокислоты, мало витаминов, минеральных веществ и других биологически активных веществ.

Исходя из вышеизложенного, была определена основная цель нашей работы – повышение пищевой ценности макаронных изделий за счет введения в их рецептуру свекольного сока, порошка свеклы или ее жом.

Свекла обладает рядом диетических свойств. Красящие вещества свеклы, антоцианы, содержат биофлавоноиды – бетаин и бетанин, ук-

репляющие стенки капилляров, помогающие снижению артериального давления, улучшающие жировой обмен, помогающие работе печени. В свекле найден витамин U (произошло это недавно, ранее считали, что его содержит лишь капуста). В свекле он обнаружен в меньших количествах, но зато способен сохраняться даже после тепловой обработки. Витамин U не только стимулирует заживление язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, но и обладает антиаллергическими свойствами и улучшает обмен холестерина, оказывая тем самым противосклеротическое действие. Богата свекла тиамином (витамин В₁) и рибофлавином (витамин В₂), пектиновыми веществами. Как клетчатка, но в большей степени, пектиновые вещества играют роль адсорбента - веществ, которые улавливают, а затем выводят из организма различные яды, в частности, соли тяжелых металлов – свинца, ртути и т.п.

Для получения свекольного сока корнеплоды подвергали мойке с целью удаления механических загрязнений, микроорганизмов и ядохимикатов с поверхности, затем очищали от кожуры, протирали на протирочной машине с диаметром отверстий 0,4 мм. Полученное пюре прессовали и сок процеживали через сито. Часть оставшегося жома использовали для дальнейших исследований, а другую часть высушивали при температуре 60⁰С в течение 2,5 часов и измельчали на лабораторной мельнице с целью получения свекольного порошка.

Технологическая схема получения макаронных изделий с добавками из свеклы не отличается от традиционной и состоит из следующих этапов: замес теста с добавками, формование (раскатка теста и пропускание через лапшерезку), сушка полуфабриката. В качестве исходного сырья использовалась пшеничная мука высшего сорта. количество вводимого в тесто свекольного сока составляло 5 – 40 % от воды, идущей на замес, с интервалом варьирования 5 %. Учитывая, что в свекольном соке содержится 12,5 % сухих веществ, был произведен пересчет рецептур с уменьшением количеств а добавляемой муки. свекольный порошок и жом добавляли в макаронное тесто в количестве 2 – 10 % взамен муки пшеничной с интервалом варьирования 2 %.

Полученные макаронные изделия анализировали органолептически: оценивали форму, поверхность, цвет, вид в изломе, вкус и запах, состояние изделий после варки. С увеличением количества добавляемого сока в макаронные изделия вкус свеклы более ощутим, поверхность более шероховатая. Цвет макаронных изделий при увеличении дозировки сока становится более темным: при внесении уже 15 % сока взамен воды окраска становится розовой, при дальнейшем увеличении концентрации сока – бордовой (25 %) и темно-бордовой (40 % сока).

При внесении в макаронное тесто свекольного порошка и жома вкус свеклы лучше всего ощущается при концентрации их в количестве 8 % и 10 % взамен муки. Кроме того, макаронные изделия с добавлением порошка в количестве 8 % имеют шероховатую поверхность, что снижает их привлекательность. При добавлении в тесто жома свеклы в количестве 6 % органолептические показатели макаронных изделий ухудшаются: поверхность становится шероховатой, что снижает потребительские достоинства макаронных изделий.

Физико-химические показатели макаронных изделий представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Физико-химические показатели макаронных изделий

Наименование показателя	Дозировка свекольного сока, %								
	контроль	5	10	15	20	25	30	35	40
Влажность	10,0	9,6	8,4	9,0	9,2	9,4	9,6	10,0	10,0
Кислотность, град	1,8	2,8	3,05	3,15	3,4	4,0	4,8	5,13	5,16
Зольность, %	0,19	0,21	0,23	0,25	0,25	0,26	0,31	0,34	0,38
Мас. доля золы, нерастворимой в 10% HCl, %	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Содержание аскорбиновой кислоты, %	0	0,26	0,35	0,38	0,40	0,46	0,53	0,58	0,64
Варочные свойства: -коэффициент увеличения массы сваренных изделий, %	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3
-потеря сух.в-в, %	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1
	Дозировка свекольного жома,%								
	контроль	2	4	6	8	10			
Влажность, %	10,0	10,4	10,6	10,6	10,8	10,8			
Кислотность, град	1,8	3,25	3,45	3,6	4,05	4,7			
Зольность, %	0,19	0,25	0,25	0,30	0,32	0,36			
Мас.доля золы, нерастворимой в 10% HCl, %	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07			
Содержание аскорбиновой кислоты, %	0	0,25	0,30	0,39	0,47	0,58			
Варочные свойства: -коэф. увеличения массы сваренных изделий, %	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3			
-потеря сух. в-в, %	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1			

Продолжение таблицы 1

Наименование показателя	Дозировка свекольного порошка, %					
	контроль	2	4	6	8	10
Влажность, %	10,0	9,4	10,0	10,4	10,6	10,8
Кислотность, град	1,8	3,8	3,8	3,9	4,0	4,45
Зольность, %	0,19	0,27	0,30	0,35	0,39	0,41
Массовая доля золы, нерастворимой в 10% HCl, %	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
Содержание аскорбиновой кислоты, %	0	0,35	0,45	0,58	0,61	0,72
Варочные свойства:						
-коэф. увеличения массы сваренных изделий, %	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3
-потеря сух. в-в, %	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1

На основании исследований качества клейковины, свойств теста и потребительских достоинств макаронных изделий определены оптимальные дозировки продуктов из свеклы в рецептуре макаронного теста: количество свекольного сока составляет 20 % от воды, расходуемой на замес; количество свекольного порошка и жома – 4 % взамен пшеничной муки. Полученные изделия имели хорошие варочные свойства, органолептические и физико-химические показатели, соответствующие требованиям ГОСТ 51865-2002 «Изделия макаронные. Технические условия».

Проведенные исследования показали, что наилучшими показателями из предложенных изделий обладали макаронные изделия «Свеколка» со свекольным соком в количестве 20 % от количества воды, идущей на замес теста.

Варочные свойства макаронных изделий «Свеколка» характеризовали по следующим показателям: цвет – однотонный розовый, без следов непромеса, поверхность гладкая с незначительной шероховатостью, излом изделий – стекловидный, форма – соответствует лапше ручного приготовления, где допускаются искривления, при варке до готовности изделия не потеряли форму, не склеивались, не образовывали комья, состояние изделий после варки – поглощение воды уменьшилось по сравнению с контрольным вариантом, увеличение массы после варки. Цвет изделий после варки изменялся незначительно с розового до светло-розового.

Пищевая ценность макаронных изделий «Свеколка», рассчитанная на основе справочных данных, приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Пищевая и энергетическая ценность макаронных изделий

Наименование компонента	Макаронные изделия	
	Контрольный образец	«Свеколка»
Белки, г	10,4	10,1
Жиры, г	1,1	0,9
Углеводы, г	69,8	68,2
Зола, г	0,5	0,4
Минеральные вещества, мг:		
-натрий	3,0	3,25
-калий	123,0	124,2
-кальций	19,0	19,8
-магний	16,0	17,5
-фосфор	87,0	88,2
-железо	1,5	1,9
Витамины, мг:		
- В ₁	0,17	0,19
- В ₂	0,04	0,05
- РР	1,21	1,35
- С	0	0,40
Энергетическая ценность, ккал	337	295

В нашей стране процент потребления макаронных изделий по сравнению с другими продуктами питания, традиционно очень высок. Это определяется спецификой нашей страны, наших традиций. Но самой главной особенностью макаронных изделий, повлиявшей на повсеместное распространение их во всем мире, является их уникальная способность входить в рацион и сочетаться с кулинарными традициями различных народов, что подтверждает универсальные качества этого продукта. Использование макаронных изделий в качестве носителя, обогащенного дополнительно пищевыми волокнами и микронутриентами свеклы позволит донести их до наиболее нуждающихся слоев населения, ведь у большинства людей макаронные изделия являются продуктом массового потребления и занимают ведущее место в питании.

Что касается экономической точки зрения, цена реализации предлагаемых макаронных изделий 9,79 руб.

Литература:

1. Овощные культуры: Полный сортовой каталог России / Е.В.Мамонов.- М.: ЭКСМО. Пресс: Лик пресс, 2001.- С.222;
2. Медведев Г.М. Технология макаронного производства.- М.: Колос, 2000.;
3. Скурихин И.М. Химический состав Российских продуктов питания.- М.: Колос, 2002.

НАПРАВЛЕНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА

В.Л. Злочевский

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Величина соотношения в зерне пшеницы эндосперма, оболочек и зародыша определяет возможности получения соответствующего выхода муки. Многочисленными исследованиями установлено, что содержание эндосперма в сортах пшеницы составляет 78-84%. На долю других частей зерна приходится 16-21% (плодовая оболочка 4,2-5,3%, семенная 3,1-3,8%, алейроновый слой 6-9,5% и зародыш со щитком 1,4-3,3%) [1]. Прогрессивная технология и высокоэффективное оборудование позволяет получать 75% муки высшего сорта [2]. При 78% - ном выходе в муке еще остается около 30% частиц оболочек по отношению к их наличию в зерне. Исследование [3] процесса измельчения при 75%-ном помоле зерна на станках А1-БЗН показало превалирование затрат энергии в размольном отделении (60-70% от общих). Анализ соотношения этих затрат по системам на комплектном оборудовании выявил, что удельные затраты электроэнергии на получение муки без учета потерь в электродвигателях на I др. составило 168,39 квт.ч/т, IV др.кр. - 219,7 квт.ч/т, IV др.м.-114 квт.ч/т. Для сравнения – на II-ой р.с. минимальные затраты составили 17,61 квт.ч/т.

В процессе измельчения зерна с целью максимального использования мучного потенциала эндосперма с минимальной затратой энергии необходимо продолжать изучение деформации зерна твёрдыми поверхностями. Многими движениями деформируемых тел мы можем управлять в необходимой степени, опираясь на повседневный опыт. Обыденные жизненные наблюдения создают у нас «чувство реальности» и «здорового смысла», которое часто позволяет верно предсказывать и создавать нужные нам механические эффекты.

Зерновку целесообразно рассматривать как сплошную среду с определенной анизотропией. Исходя из этого следует более детально рассматривать биологическое строение зерновки в соединении с макроскопической механикой (рис. 1,2,3). Макроскопическая механика учитывает кинетическую энергию макроскопического движения тел и их макроскопических частей, а также их потенциальную энергию. Но она отвлекается от внутреннего (биологического и атомистического) строения зерновки.

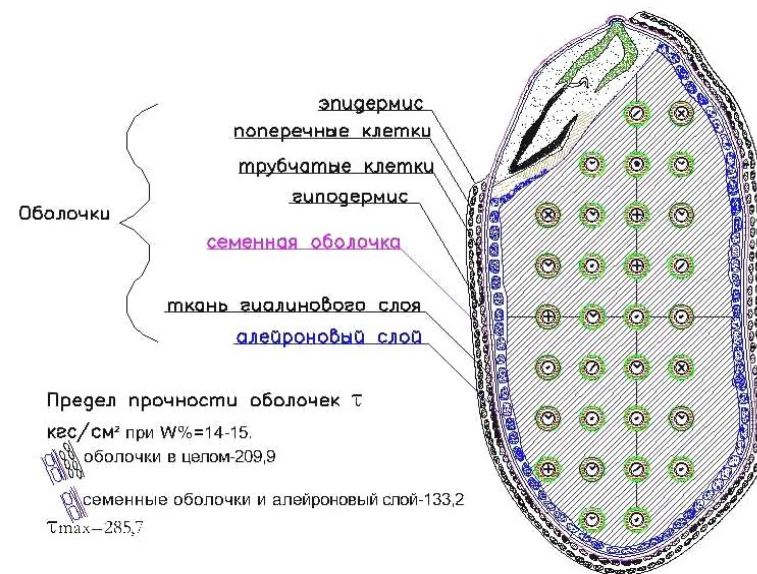


Рис.1 Характеристика прочности зерна пшеницы Мелянопус 69. Стекловидность 100%. Продольный разрез

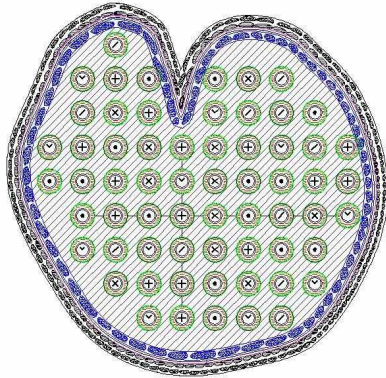


Рис.2 Характеристика прочности зерна пшеницы.
 Поперечный разрез

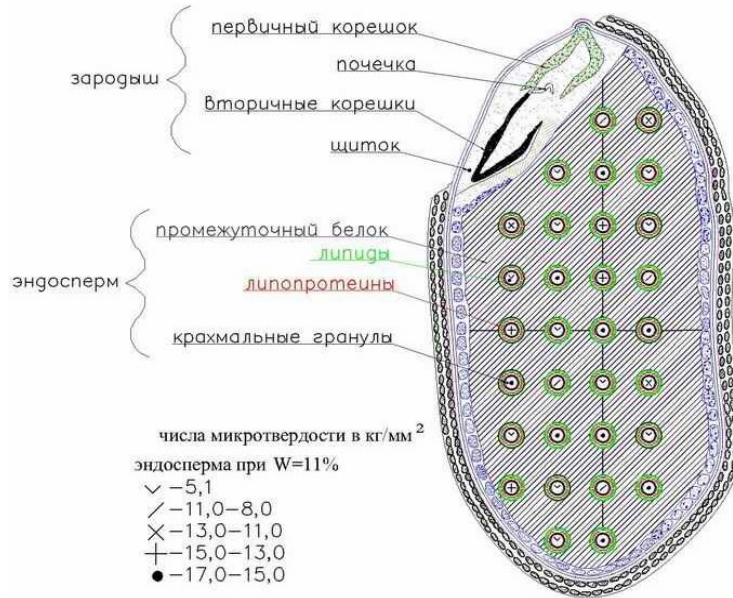


Рис.3 Характеристика прочности зерна пшеницы Лютенсенс 62.
 Стекловидность 25%. Продольный разрез

Мы видим из практики, что при быстром воздействии на зерновой материал в вальцовом станке кинетическая энергия видимого движения вальца и зерновок не пропадает. Она переходит в кинетическое не-

видимое, беспорядочное движение крахмальных гранул, прикрепленного к ним белка, липопротеинов, липидов, промежуточного белка, и, наконец, молекул из которых они состоят. При этом осуществляется переход в потенциальную энергию их взаимодействия. И как следствие значительный нагрев рабочих органов и продукта.

Рассмотрим зерновку (биологическую систему) между двумя криволинейными рифельно-перфорационными поверхностями. При этом они совершают движения (маятниковые) по своим траекториям с регулируемым зазором и амплитудно-частотными характеристиками (A_1, ω_1 , и A_2, ω_2) (рис.4). Исходя из этого можно проследить зону упругих сил и разрушения зерновки.

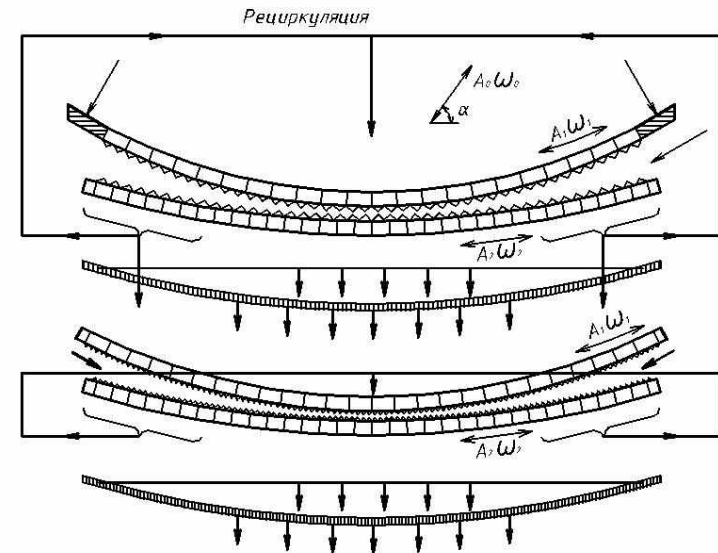


Рис.4 Криволинейные рифельно-перфорационные поверхности

Эти силы возникают при сжатии в циклично сужающемся и расширяющемся пространстве. Если выделить в зерновке некоторый произвольный объем V (рис.5) и разделить его сечением S на две части V_1 и V_2 , то можно рассмотреть движение одной из частей V , например V_1 . При этом действие на нее второй части V_2 необходимо заменить распределенными по V_1 массовыми силами и распределенными по S поверхностными силами, так как введенные силы взаимодействия будут внешними для V_1 . Если же мы будем рассматривать движение объема

V в целом, то эти силы будут внутренними. Сечение S можно назначать в различных плоскостях с учетом строения зерновки. При этом очевидно, что распределенные по поверхности S поверхностные силы будут на разных S разными.

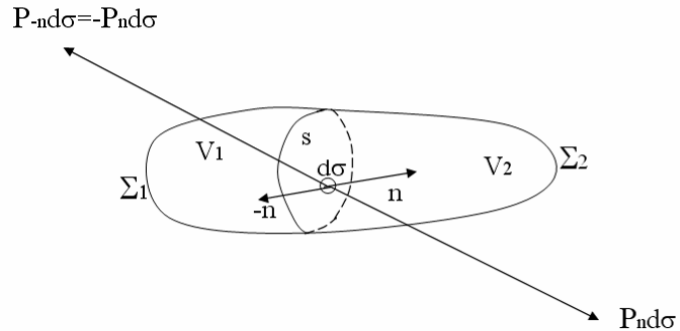


Рис.5 Силы внутренних напряжений

Если выделить площадку $d\sigma$, то можно силу внутренних напряжений $P_n d\sigma$ в каждой точке разложить на две составляющие - по нормали n и касательной τ (рис. 6).

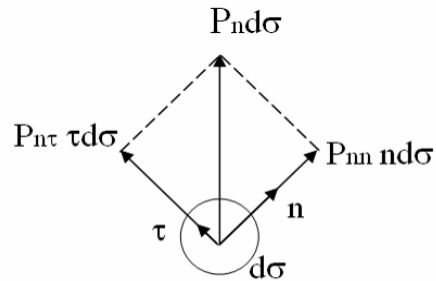


Рис.6 Нормальная и касательная составляющие сил внутренних напряжений

Вообще для конечного объема зерновки, ограниченного поверхностью Σ можно написать уравнение количества движения:

$$\frac{d}{dt} \int_V u r dt = \int_V F r dt + \int_{\Sigma} P_n ds, \quad (1)$$

т.е. производная по времени количества движения V равняется сумме всех внешних действующих на него массовых и поверхностных сил.

Наряду с этим на зерновку действует сосредоточенная в точке или вдоль линии сила от рифлей, которые её разрезают. То эту силу следует добавить в правую часть.

Итак различные части деформированной зерновки взаимодействуют между собой на поверхности раздела, вдоль которых они граничат друг с другом. Например, зародыш, который выбивается наиболее полно и выводится при сепарации, наименее прочно соединен в зерновке.

Упругие силы являются центральными силами. Поэтому они консервативны и можно говорить о потенциальной энергии зерновки в процессе её деформации. Обозначим через Y сжатие зерновки, т.е. разность $Y=a_0-a$ ширины или толщины зерновки в недеформированном и деформированном состояниях. Упругая сила P зависит только от сжатия. Если сжатие Y не очень велико, то она пропорциональна ему: $P=KY$ (Закон Гука).

Упругие свойства зерна можно охарактеризовать модулем Юнга E , модулем сдвига G и коэффициентом поперечной деформации (Пуассона) μ [5] Первая упругая константа вытекает непосредственно из закона Гука:

$$E = \frac{S}{e},$$

где S - напряжение, e - относительная деформация.

Определение коэффициента Пуассона определяется измерением относительных поперечных и продольных деформаций:

$$m = \frac{e_{(a,b)}}{e(L)},$$

где $e_{(a,b)}$ - относительная поперечная деформация,

$e(L)$ - относительная продольная деформация.

Модуль сдвига можно определить (вычислить), когда известны E и μ :

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)}.$$

Как видим модуль сдвига значительно меньше модуля Юнга.

При увеличении зазора и возвращении зерновки из деформированного в недеформированное состояние сила P совершает работу:

$$A = \int_0^y P dy = K \int_0^y y dy = \frac{1}{2} \cdot K \cdot y^2. \quad (2)$$

Если упругую энергию зерновки в недеформированном состоянии считать равной нулю, то

$$U = \frac{1}{2} \cdot K \cdot y^2. \quad (3)$$

Допустим, что можно задавать различный кинематический режим рифельно-перфорационным качающимися поверхностями Рис.7

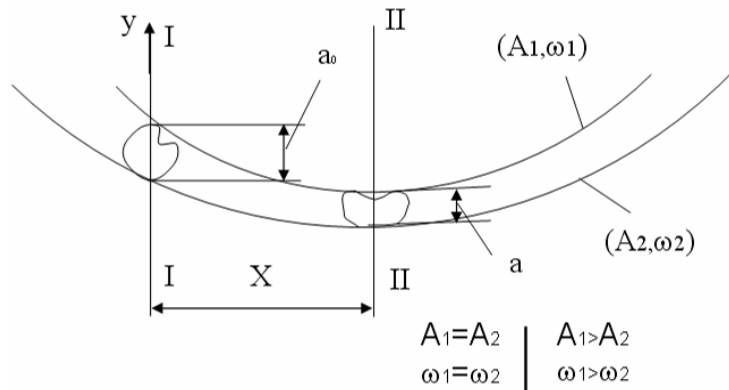


Рис.7 Взаимодействие зерновки с поверхностями

В первом случае упругая сила зерновки совершает при сжатии работу без разрушения на пути X её перемещения между качающимися поверхностями. Во втором случае в системе зерновка - поверхности наряду с консервативными силами действуют диссипативные. Работа A_{12} всех сил при переходе системы из положения I в положение II равна приращению кинетической энергии $E_2 - E_1$. В рассматриваемом случае эту работу можно представить в виде суммы работы консервативных сил $A_{12}^{\text{кон}}$ и работы диссипативных сил $A_{12}^{\text{дис}}$. Первая работа может быть выражена через уменьшение потенциальной энергии системы:

$$A_{12}^{\text{кон}} = U_1 - U_2;$$

поэтому

$$A_{12} = U_1 - U_2 + A_{12}^{\text{дис}}.$$

Приравнявая это выражение приращению кинетической энергии, получим:

$$E_2 - E_1 = U_1 - U_2 + A_{12}^{\text{дис}}.$$

В рассматриваемом случае механическая энергия системы E не остается постоянной, а уменьшается, так как работа диссипативных сил $A_{12}^{\text{дис}}$ отрицательна. Следует отметить, что если к недеформированной зерновке приложить постоянную силу P, то при сжатии её на ΔY , будет совершена работа $A = P \Delta Y$ вдвое большая. Так как запас упругой потенциальной энергии в зерновке получился бы тем же самым, то ясно, что только половина работы A расходуется на приращение упругой энергии. Вторая половина работы тратится на кинетическую энергию упругих колебаний в результате динамического резания зерновки. При этом разности температур, возникшие при деформации, не успевают выравниваться в результате теплообмена. Вот почему в современных вальцевых станках происходит значительный нагрев зерна и валков. Важнейшим является предельный случай нагрева зерна до 50°C .

Для того чтобы кинетическая энергия при измельчении зерна была минимальной, надо деформацию зерновок производить достаточно медленно, постепенно увеличивая внешние силы, чтобы в любой момент времени каждая часть зерновки, с учетом её биологического строения, находилась в состоянии равновесия. Иначе говоря, при деформации внешние силы все время должны уравниваться возникающими при этом силами внутренних напряжений. Если это условие выполняется, то зерновка совершает квазистатический процесс. Этот процесс предваряет деление зерновки на части посредством процесса резания, что приводит к снижению энергозатрат и температурного фактора.

Интенсивность процесса измельчения в предлагаемом способе определяется механической энергией совокупности зерновок, находящихся в измельчаемом пространстве, и она не одинакова по всему объему.

Интенсивность движения зерновок в процессе установившейся загрузки в данной точке можно характеризовать энергией, сообщаемой единице массы (объема) в единицу времени – энергонапряженностью в точке.

Величина энергонапряженности зерна имеет фундаментальное значение при измельчении и является основным фактором, определяющим технологические параметры размола:

$$N_G = \sum_{i=1}^n N_i, \quad \sum_{i=1}^n E_i^3 = \sum_{i=1}^n (E_i + U_i) = \sum_{i=1}^n G_i \cdot \left(\frac{W_i^2}{2 \cdot g} + \frac{P_i}{r_i} \right), \quad (4)$$

где N_G - энергонапряженность – мощность, сообщаемая единице веса зерна, находящегося в измельчаемом пространстве,

N_i - мощность, сообщаемая i -ой зерновке,

n - число зерновок в единице веса,

E_i^3 - механическая энергия i -ой зерновки,

$$E_i^3 = E_i + U_i;$$

$$E_i = \frac{G_i \cdot W_i}{2 \cdot g} \text{ - кинетическая энергия } i\text{-ой зерновки,}$$

$$U_i = \frac{G_i \cdot P_i}{r} \text{ - потенциальная энергия } i\text{-ой зерновки,}$$

G_i – вес i -ой зерновки,

P_i - давление (напряжение) в i -ой зерновке.

В инженерной практике необходимо определять и оперировать усреднёнными давлениями, которые возникают в процессе измельчения. Можно утверждать с учетом непрерывности ведения процесса, что данной величине энергонапряженности соответствует определенная величина средней скорости зерновок и определенная интенсивность их разделения на части в отдельных точках.

Вследствие значительной протяженности процесса измельчения с совмещением просеивания и возможной рециркуляции следует ожидать выхода продукта с большей однородностью по гранулометрии. При этом минимизируются транспортные операции. Здесь уже стоит вопрос об определении поля энергонапряженности.

В первом случае величину энергонапряженности процесса в целом можно характеризовать полем энергонапряженности:

$$N_G = f(X_1, X_2, X_3), \quad N_G^{cp} = \frac{1}{G} \cdot \int N(G) dG = \frac{N_3}{G}, \quad (5)$$

где N_G^{cp} - средняя энергонапряженность,

N_3 - мощность, сообщаемая зерну, находящемуся в объеме измельчающего пространства,

G – вес зерна в объеме измельчающего пространства.

Заметим, что в процессе качающихся перфорационно-рифельных поверхностей передача энергии от них зерновкам осуществляется по изменяющемуся закону.

Список литературы

1. Айзикович Л.Е. Физико-химические основы технологии производства муки. М."Колос", 1975 г.
2. Птушкина Г.Е., Товбин Л.И. Высокопроизводительное оборудование мукомольных заводов. М. ВО "Агропромиздат", 1987 г.
3. Нетребский А., Хома В., Энергетическая оценка трехсортного 75%-го помола пшеницы. Хлебопродукты II.2004 г.
4. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т I Изд-во "Наука", М.1970 г.
5. Наумов И.А. Совершенствование кондиционирования и измельчения пшеницы и ржи. М."Колос", 1975 г.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ

Н.Н. Гаркуша, С.О. Игуменов, В.П. Тарасов

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Проблема отделения из воздушного потока тонкодисперсных частиц пыли, имеющих характерный размер менее 20 мкм, до настоящего времени остается не менее актуальной, чем 10...15 лет назад. Это обусловлено не только все ужесточающимися экологическими нормативами, но и требованиями взрыво- пожаробезопасности, сохранения воздушно-теплого баланса помещений и что особенно важно – сбережения ценного продовольственного сырья, находящегося в распыленном состоянии.

В реальных условиях производства решение данной проблемы, как правило, балансирует между двумя показателями: себестоимостью очистки и качеством улавливания.

Многолетний опыт эксплуатации, также как и теоретические исследования многих ученых свидетельствуют, что даже высокоэффективные пылеулавливающие агрегаты, такие как РЦИ, ПВМ и т.п. не справляются с улавливанием наиболее тонких фракций пыли, так называемого стоковского размера, что, в свою очередь, обостряет вышеупомянутые проблемы, особенно в связи с увеличением объемов производства.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности улавливания тонкодисперсных фракций пыли является предварительная их подготовка посредством воздействия различных физических методов, такими, например, как ионизация или акустическая обработка, стимулирующими их коагуляцию. Данное направление позволило существенно повысить эффективность улавливания, однако, в свою очередь, подняло вторичные вопросы, такие как габариты, металлоемкость, себестоимость очистки, особенно в случае реконструкции старых предприятий.

Разработанный на кафедре МАПП пылеотделитель – комбинированный горизонтальный циклон позволяет в некоторой степени сгладить остроту вторичных вопросов без ущерба для основного показателя – эффективности улавливания посредством объединения в одном конструктиве (корпусе) различных физических воздействий в сочетании с поэтапным выводом отсепарированной пыли. В базовом варианте исполнения комбинированный горизонтальный циклон (рис.1) состоит из двух самостоятельных секций: многоступенчатого горизонтального циклона и прямооточного циклона, являющегося по сути камерой доочистки, объединенных в единый агрегат.

Горизонтальный циклон позволяет сформировать поступающий воздушно-пылевой поток и вывести сконцентрированный у наружной поверхности пылевой слой в индивидуальные для каждой ступени бункера. Очищенный таким образом пылегазовый поток, сохраняя вращательное движение поступает в прямооточный циклон, где подвергается дополнительной очистке в зависимости от конкретных условий.

Как свидетельствуют опытные данные, основной причиной уноса тонкодисперсных частиц из циклонных камер является радиальный сток и течения Тейлора-Гетлера, приводящие в итоге к выдавливанию твердых частиц к оси вращения потока и последующему уносу их из аппарата.

Как правило, в цилиндрической части прямооточного циклона вследствие вращательного движения потока возникает отрывная область – ядро потока, существенно влияющая на процесс сепарации

твердых частиц. Результаты стендовых исследований комбинированного горизонтального циклона показали, что до 95% поступающей пыли улавливается в первой ступени, оставшиеся 5% составляющие так называемой «пробой» через пылеотделитель представляют собой наиболее тонкодисперсную фракцию ≤ 10 мкм.

Установка в прямооточной камере, по оси вращения дисковых рассекателей позволило в определенной мере сгладить влияние отрывного течения в ядре потока и поднять суммарную эффективность улавливания зерновой пыли от 82% до 96%, но в относительно узком интервале скоростей – 12...14 м/с (рис.2). Дальнейшее увеличение скорости потока ведет к падению эффективности, что связано с расширением области отрывного течения. Аналогичные результаты оказались и при улавливании мучной пыли (рис.3). Как показали стендовые исследования, размеры отрывного течения и его локализация не являются стационарными и изменяются в зависимости от тангенциальной скорости потока, что, в свою очередь, изменяет траектории пылевых частиц и, как следствие, режим сепарации.

В целом, анализ результатов стендовых исследований однозначно подтвердил целесообразность разрушения осевого течения причем по всей длине прямооточной камеры, что в конечном итоге дает прирост эффективности улавливания по сравнению с аппаратом без вставок.

Принимая во внимание, что разные по своей природе пыли даже близкие по размеру имеют различную коагулирующую способность, были проведены исследования, направленные на повышение эффективности центробежного улавливания под влиянием интенсивного звукового поля фиксированной частоты. Акустическая обработка аэрозоля в прямооточной камере дала ощутимый прирост эффективности по сравнению с чисто центробежным способом особенно для мучной пыли. По результатам исследований можно определенно считать, что каждый аэрозоль имеет свою наиболее эффективную звуковую частоту, способствующую коагуляции. Например, суммарная эффективность улавливания зерновой пыли при обработке акустическим полем частотой 5 кГц при уровне звукового давления 130 dB поднялась на 15%, (рис.4) причем после достижения верхнего предела скорости для центробежного способа падение эффективности не наблюдалось. Аналогичная тенденция прослеживается и при акустической обработке мучной пыли (рис.5), но уже на другой частоте. Заслуживает особого внимания и тот факт, что при озвучивании мучной пыли остаточная концентрация, при прочих равных условиях не превышала 1 мг/м^3 , в отличие

ции от зерновой пыли, причем во всем диапазоне исследованных скоростей потока.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

Оптимально организовав аэродинамику циклонных камер невозможно получить глубокое расслоение полидисперсного аэрозоля по причине неизбежного возникновения локальных отрывных зон и вторичных течений.

Для повышения эффективности улавливания тонкодисперсных пылевых частиц необходимо воздействие дополнительных физических факторов.

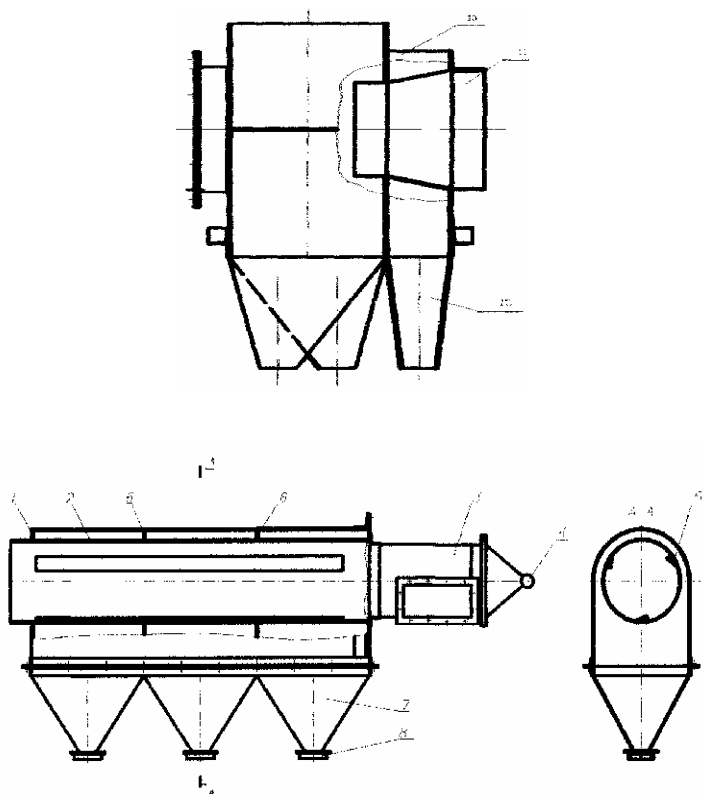


Рисунок 1. Комбинированный горизонтальный циклон КГЦ. (общий вид).

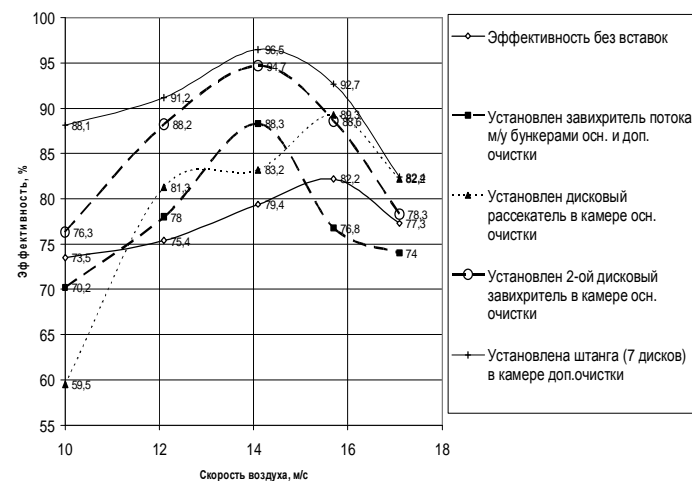


Рисунок 2. Зависимость эффективности улавливания зерновой пыли от скорости воздуха.

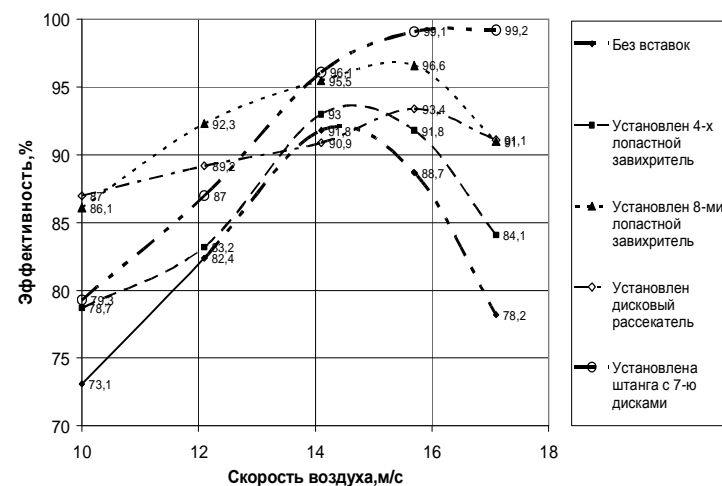


Рисунок 3. Зависимость эффективности улавливания мучной пыли от скорости воздуха.

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ В ПОЛЕ ИНЕРЦИОННЫХ СИЛ ПО ВИНТОВЫМ НАПРАВЛЯЮЩИМ ПНЕВМОСЕПАРАЦИОННОГО КАНАЛА

В.Л. Злочевский, М.А. Седешев

Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова

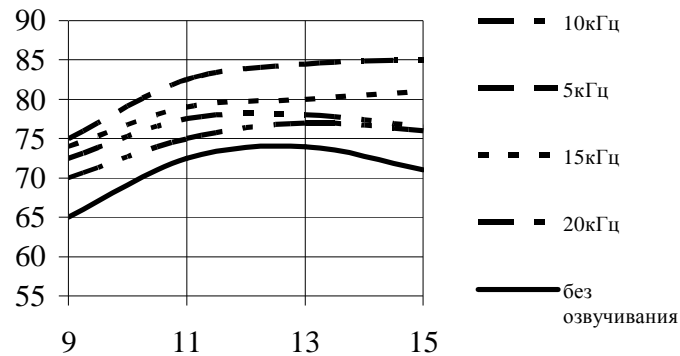


Рисунок 4. Зависимость эффективности улавливания зерновой пыли на разных частотах звукового поля

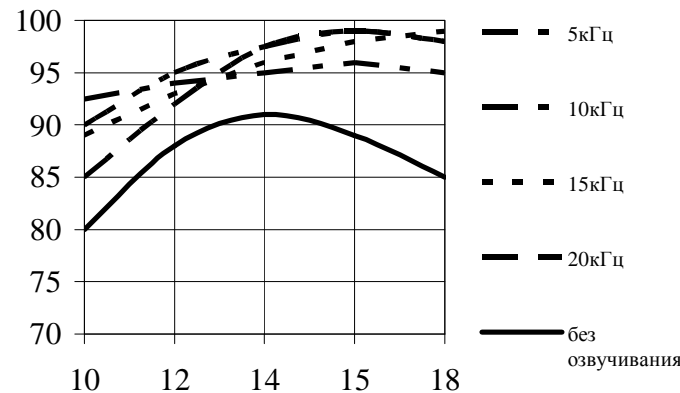


Рисунок 5. Зависимость эффективности улавливания мучной пыли на разных частотах звукового поля

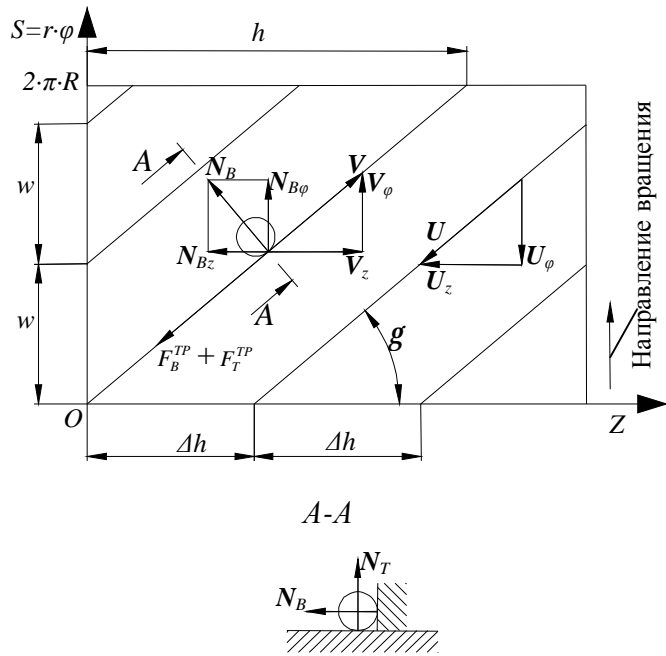
При моделировании движения частиц рассматривалась схема [1], в которой для регулирования движения частиц на внутренней поверхности цилиндрического пневмосепарационного канала введены винтовые направляющие с постоянным шагом h , с высотой, не превышающей толщины зерновой частицы. Винтовые направляющие должны обеспечить многократное повторение аэродинамического цикла очистки состоящего из перемещения и подъема частиц за счет сил инерции по винтовой поверхности с последующим отрывом от нее и падения в воздушный поток.

Движение зерновой смеси, как и ранее [1] моделировалось движением одной частицы, принятой за материальную точку. Принятое допущение не искажает реальной картины движения зерновой смеси, так как движение сыпучего материала происходит тонким слоем, порядка размеров одной зерновой частицы. Изучению движения сыпучей среды, на основе уравнений составленных для материальной точки, посвящено немало работ и позволило разработать теорию и конструкции широкого класса машин [2, 3, 4 и др.].

Винтовые направляющие на внутренней поверхности цилиндрического пневмосепарационного канала (далее трубки) придают частице сложное движение, слагающееся из вращательного вокруг оси OZ и поступательного, направленного параллельно оси OZ . Причем в задаче рассматривается движение частицы по правому винту. При развертке цилиндрической поверхности трубки на плоскость SOZ винтовая направляющая изобразится на этой плоскости прямой линией (рис.1). Угол γ , который винтовая направляющая составляет с осью OZ или, что то же самое с образующей цилиндра, определится из формулы

$$\operatorname{tg}(\gamma) = 2 \cdot \pi \cdot R / h,$$

где h - шаг винтовой направляющей.



V – вектор скорости движения частицы, U – вектор направления воздушного потока, N_T – вектор нормальной реакции поверхности трубки, F_T^{TP} – вектор силы трения о поверхность трубки, N_B – вектор нормальной реакции винтовой поверхности, F_B^{TP} – вектор силы трения о винтовую поверхность

Рис. 1 – Развертка внутренней поверхности цилиндрического пневмосепарационного канала (трубки). К определению реакций винтовой направляющей

Обозначим через j ($j = 1, 2, \dots, j$) число винтовых направляющих. Тогда окружное расстояние w между соседними направляющими равно $w = 2 \cdot \pi \cdot R / j$, а расстояние между винтовыми направляющими Δh вдоль оси трубки - $\Delta h = w / \text{tg}(\gamma)$.

Для направляющей с номером j ее уравнение в координатах SOZ будет следующим

$$S = z \cdot \text{tg}(\gamma) - w \cdot (j-1) = (z - \Delta h \cdot (j-1)) \cdot \text{tg}(\gamma).$$

При попадании частицы в область трубки ($r = R$), где располагаются винтовые направляющие, частица может оказаться сразу на винтовой направляющей или на поверхности трубки между винтовыми направляющими. Для упрощения решения задачи на ЭВМ не всегда будем рассматривать движение частицы в межвитковом пространстве на поверхности трубки. Будем считать, что попадание частицы на направляющую может быть выполнено с некоторой точностью, определяемой малой величиной ζ

$$D = |R \cdot \varphi - \text{tg}(\gamma) \cdot (z - \Delta h \cdot (j-1))| < \zeta.$$

Таким образом, при выполнении этого условия и условия $r=R$ частица попадает на винтовую направляющую и должна двигаться по ней; если $r=R$ и $D \geq \zeta$, то частица будет двигаться в межвитковом пространстве по поверхности трубки до соприкосновения с винтовой направляющей, то есть до выполнения условия $D < \zeta$.

В начальный момент времени, когда частица попадает на поверхность трубки, происходит удар, который будем считать абсолютно неупругим. Это означает, что радиальная скорость $V_r = 0$ и составляющая V_r радиального ускорения a_r становятся равными нулю, а остальные скорости и ускорения остаются неизменными.

При попадании частицы на винтовую направляющую она остается на поверхности трубки. Поэтому $N_T > 0$, $r = R$, $V_r = 0$. Удар частицы о винтовую направляющую будем также считать абсолютно неупругим. В этом случае остается неизменной касательная составляющая скорости частицы $V_t = V_t^0$, где верхний индекс обозначает скорость до удара. А нормальная составляющая к винту скорость V_n^0 теряется. Сформулируем это, введя обозначения скоростей до удара: $V_j^0 = R \cdot \omega_j^0$, $V_z^0 = V_z^0$ (известные величины) и после удара: $V_j = R \cdot \omega_j$, $V_z = V_z$. Используя рис. 2, получим выражение до удара для нормальной скорости

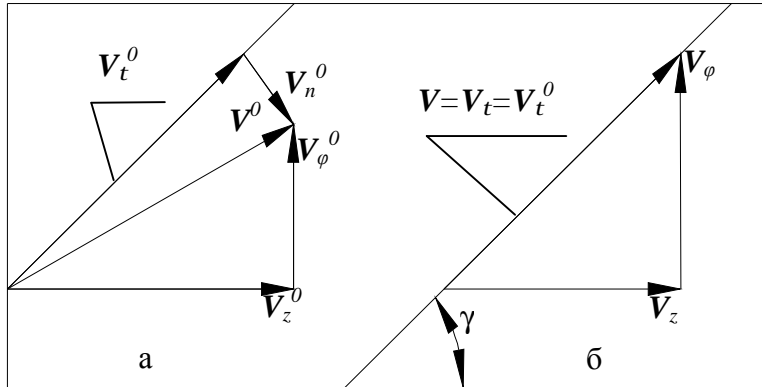
$$V_n^0 = V_z^0 \cdot \sin(\gamma) - V_j^0 \cdot \cos(\gamma)$$

и касательной скорости

$$V_t^0 = V_z^0 \cdot \cos(\gamma) + V_j^0 \cdot \sin(\gamma).$$

После удара относительная скорость частицы V будет состоять только из касательной составляющей. Отсюда

$$V = V_t = V_t^0.$$



а – план скоростей до удара, б – после удара

Рисунок 2 – Развертка пневмосепарационного канала. К определению скорости частицы на винтовой направляющей

В свою очередь, проекции данной скорости на цилиндрические оси координат определяются по выражениям

$$V_\varphi = V \cdot \sin(\gamma), \quad V_z = V \cdot \cos(\gamma).$$

Последние соотношения позволяют записать начальные условия движения частицы по винтовой направляющей

$$j\mathbf{\&} = V \cdot \sin(\gamma) / R = (V_z^0 \cdot \cos(\gamma) + V_j^0 \cdot \sin(\gamma)) \cdot \sin(\gamma) / R,$$

$$\mathbf{\&} = V \cdot \cos(\gamma) = (V_z^0 \cdot \cos(\gamma) + V_j^0 \cdot \sin(\gamma)) \cdot \cos(\gamma),$$

а координаты частицы остаются такими же, что и до удара, то есть $\varphi = \varphi^0, z = z^0$.

Теперь при движении по винтовой направляющей на частицу будут действовать дополнительные реакции:

- нормальная реакция винтовой поверхности N_B , направленная в плоскости касательной к цилиндрической поверхности трубки;

- сила трения F_B^{TP} , направленная противоположно вектору относительной скорости движения частицы V

$$F_B^{TP} = -f_B \cdot N_B \cdot V / V,$$

где f_B – коэффициент трения при движении частицы по винтовой направляющей, V – модуль относительной скорости, определяемый по выражению

$$V = \sqrt{V_r^2 + V_j^2 + V_z^2} = \sqrt{\mathbf{\&}^2 + r^2 \cdot j\mathbf{\&}^2 + \mathbf{\&}^2}.$$

Проекции силы N_B на оси цилиндрической системы координат имеют вид

$$N_{Br} = 0, \quad N_{B\varphi} = N_B \cdot \cos(\gamma), \quad N_{Bz} = -N_B \cdot \sin(\gamma),$$

а проекции силы F_B^{TP} –

$$F_{Br}^{TP} = 0, \quad F_{Bj}^{TP} = -f_B \cdot N_B \cdot r \cdot j\mathbf{\&} / V, \quad F_{Bz}^{TP} = -f_B \cdot N_B \cdot \mathbf{\&} / V.$$

Заметим, что реакции должны быть вычислены вместе с кинематическими параметрами движения частицы.

На частицу (при любом ее положении) действует аэродинамическая сила сопротивления \mathbf{F}_a , направленная противоположно вектору относительной скорости частицы \mathbf{V}_{OT} по отношению к воздушному потоку, и которая равна векторной разности относительной скорости \mathbf{V} и скорости воздушного потока \mathbf{U}

$$\mathbf{V}_{OT} = \mathbf{V} - \mathbf{U}.$$

Будем считать воздушный поток равномерным, однородным ($U = const$) и направленным вдоль оси OZ , кроме поверхности трубки, где винтовые направляющие отклоняют поток в сторону направляющих (см. рис.1) и воздушный поток перемещается параллельно им. Таким образом, если частица не находится на поверхности трубки, то проекции скорости воздушного потока на оси цилиндрической системы координат будут равны

$$U_r = 0, \quad U_\varphi = 0, \quad U_z = -U.$$

На поверхности трубки эти проекции будут иметь вид

$$U_r = 0, \quad U_\varphi = -U \cdot \sin(\gamma), \quad U_z = -U \cdot \cos(\gamma).$$

Для определения векторного выражения аэродинамической силы воспользуемся полуэмпирической зависимостью, которая показывает, что сила сопротивления направлена в сторону, противоположную вектору относительной скорости \mathbf{V}_{OT} , а модуль этой силы пропорционален квадрату относительной скорости V_{OT} . Тогда имеем

$$\mathbf{F}_a = -\lambda \cdot V_{OT}^2 \cdot \mathbf{V}_{OT} / V_{OT} = -\lambda \cdot V_{OT} \cdot \mathbf{V}_{OT}.$$

Здесь λ – индивидуальный коэффициент пропорциональности выражен через скорость витания частицы U_v , из условия равенства силы тяжести и силы аэродинамического сопротивления воздуха

$$\lambda = m \cdot g / U_v^2.$$

Проекция относительной скорости \dot{V}_{OT} на оси цилиндрических координат

$$V_{OTr} = \dot{r} - U_r, V_{OTj} = r \cdot \dot{\varphi} - U_\varphi, V_{OTz} = \dot{z} - U_z.$$

Модуль этой скорости

$$V_{OT} = \left| \dot{V} - \dot{U} \right| = \sqrt{V_{OTr}^2 + V_{OTj}^2 + V_{OTz}^2}$$

Таким образом, соответствующие проекции аэродинамической силы на оси цилиндрической системы координат примут вид

$$F_{ar} = -m \cdot g \cdot (\dot{r} - U_r) \cdot V_{OT} / U_v^2,$$

$$F_{aj} = -m \cdot g \cdot (r \cdot \dot{\varphi} - U_\varphi) \cdot V_{OT} / U_v^2,$$

$$F_{az} = -m \cdot g \cdot (\dot{z} - U_z) \cdot V_{OT} / U_v^2.$$

Эти выражения справедливы для всех случаев положения частицы.

Дифференциальные уравнения движения частицы по винтовой направляющей получим, принимая $r = R$, $\dot{r} = \ddot{r} = 0$ и учитывая реакции трубки и винта,

$$N_T = \sum F_r + R \cdot \dot{\varphi}^2,$$

$$\dot{\varphi} = (\sum F_j + N_B \cdot \cos(\gamma) - (f_B \cdot N_B + f_T \cdot N_T) \cdot R \cdot \dot{\varphi} / V) / R,$$

$$\dot{z} = \sum F_z - N_B \cdot \sin(\gamma) - (f_B \cdot N_B + f_T \cdot N_T) \cdot \dot{z} / V.$$

Здесь $\sum F_r$, $\sum F_j$, $\sum F_z$ - суммы сил инерции, кориолиса, аэродинамического сопротивления и силы тяжести на соответствующие оси координат [1]. Нормальные реакции трубки N_T и винта N_B являются неизвестными величинами, как и кинематические параметры.

Упростим дифференциальные уравнения движения частицы уравнения. Для этого, учитывая связь между скоростями на винтовой направляющей

$$R \cdot \dot{\varphi} / V = \sin(\gamma), \quad \dot{z} / V = \cos(\gamma),$$

получим следующее отношение первых производных $\dot{\varphi}$ и \dot{z}

$$\dot{\varphi} / \dot{z} = \operatorname{tg}(\gamma) / R = \text{const.}$$

Отсюда очевидно, что и отношение вторых производных $\ddot{\varphi}$ и \ddot{z} также будут равны этой же постоянной, и записать

$$\ddot{\varphi} / \ddot{z} = \operatorname{tg}(\gamma) / R.$$

В результате этого дифференциальные уравнения примут вид

$$N_T = \sum F_r + R \cdot \dot{\varphi}^2,$$

$$\dot{\varphi} \operatorname{tg}(\gamma) = \sum F_j + N_B \cdot \cos(\gamma) - (f_B \cdot N_B + f_T \cdot N_T) \cdot \sin(\gamma),$$

$$\dot{z} = \sum F_z - N_B \cdot \sin(\gamma) - (f_B \cdot N_B + f_T \cdot N_T) \cdot \cos(\gamma).$$

Два последних уравнения после исключения ускорения \ddot{z} дают выражение для нормальной реакции винта

$$N_B = \sum F_z \cdot \sin(\gamma) - \sum F_j \cdot \cos(\gamma)$$

Заметим, что по своей структуре данное уравнение совпадает с уравнением для нормальной скорости.

Условие схода частицы с поверхности трубки, как это уже было указано ранее: $N_T \leq 0$. В этом случае частица покидает также винтовую направляющую и далее совершает свободное движение, уже рассмотренное ранее.

Сформулируем условие схода частицы с винтовой направляющей при сохранении ее положения на поверхности трубки. В этом случае должно выполняться условие $N_T > 0$ и нарушение условия, что нормальная реакция винта N_B должна быть направлена противоположно нормальной скорости частицы V_n^0 , которую она имела при попадании на винтовую направляющую. Таким образом, условие отхода частицы от винта будет таким

$$N_B \cdot V_n^0 \geq 0$$

Имеющиеся значения координат и составляющих скорости частицы являются начальными значениями при дальнейшем движении частицы по поверхности трубки. Порядок расчета такого движения был рассмотрен ранее.

Литература

- 1 Интенсификация аэродинамического разделения зерновой смеси в инерционном поле сил. Злочевский В.Л., Седешев М.А. Хранение и переработка сельхозсырья. №5, 2004. с. 26 – 30.
- 2 Степанов Г.Ю., Зицер И.М. Инерционные воздухоочистители. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.: ил.
- 3 Авдеев Н.Е. Центробежные сепараторы для зерна. М.: Колос, 1975. – 152 с.: ил.
- 4 Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях /В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин.- 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. – 304 с., ил.

К ВОПРОСУ О СУЩНОСТИ КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУПООТДЕЛЕНИЯ Е.М. МЕЛЬНИКОВА

С.Н. Брасалин

Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова

Известно около двух десятков формул для оценки эффективности крупотделения. Однако далеко не все формулы дают достаточно объективную оценку. На основе детальных исследований этих критериев, выполненных в разные годы, известными отечественными учеными В.М. Цединовским и Е.М. Мельниковым предложены свои формулы, которые на сегодняшний день являются наиболее корректными и объективными. Эти формулы приведены в одном из учебников по технологиям зерноперерабатывающих производств (Бутковский В.А., Мерко А.И., Мельников Е.М. Технологии зерноперерабатывающих производств.- М.: Интерграф сервис, - 1999 – с.298-299).

Приведем формулы Е.М. Мельникова

$$E = \frac{A}{K} * \frac{K_A - K}{100 - K} \quad (1)$$

$$E = \frac{B}{H} * \frac{H_B - H}{100 - H} \quad (2)$$

где А - выход фракции, содержащей преимущественно шелушенные зерна, %;

В - выход фракции, содержащей преимущественно нешелушенные зерна, %;

К - концентрация шелушенных зерен в исходном продукте, %;

Н - концентрация нешелушенных зерен в исходном продукте, %;

K_A - концентрация шелушенных зерен в фракции А, %;

H_B - концентрация нешелушенных зерен в фракции В, %.

Авторы следующим образом комментируют свои формулы: «Рассмотрим сущность формулы (1). Первый множитель характеризует количественную сторону процесса, т.е. соотношение количества выде-

ленной фракции к содержанию шелушенных зерен в исходной смеси. Второй – качественную сторону процесса. В числителе показано повышение концентрации шелушенных зерен в продукте А, в знаменателе – максимально возможное повышение такой концентрации. Вторая формула относится к нешелушенным зернам, ...».

На наш взгляд, в такой трактовке сущность формул (1) и (2) не раскрывается или, по крайней мере, раскрывается частично.

Да, действительно, приведенные формулы содержат в себе две оценки процесса: оценку количественной стороны - $\frac{A}{K}$ (в формуле 1) и

$\frac{B}{H}$ (в формуле 2) и оценку качественной стороны - $\frac{K_A - K}{100 - K}$ (в формуле 1) и $\frac{H_B - H}{100 - H}$ (в формуле 2).

Однако, наличие указанных двух оценок процесса не является сущностью, а вытекает из сущности рассматриваемых формул.

Прежде всего, вспомним, что любая крупотделительная машина (в зависимости от настройки) может работать или как сортировщик, или как простой делитель потока на части. И даже, если крупотделительная машина настроена в режиме сортировщика, в ее работе всегда в большей или меньшей мере присутствует эффект простого деления поступающего материала на потоки.

¹⁾Теперь внимательнее посмотрим на величину К в формуле (1). Во второй части формулы, где дается оценка процесса крупотделения с качественной стороны, величина К – это, по смыслу, действительно «концентрация шелушенных зерен в исходном продукте». В первой же части формулы (1), где дается оценка процесса с количественной стороны, К – это, по смыслу, уже не концентрация шелушенных зерен в исходном продукте, а количество (выход) фракции А, которое должно быть в случае идеального процесса крупотделения. В самом деле, если в продукте, поступающем на крупотделение, содержание компонента «крупка» составляет величину К (%), то при идеальном процессе весь компонент «крупка» должен в чистом виде уйти во фракцию А, при этом K_A должен быть равен 100%, а количество фракции А должно быть равно количеству компонента «крупка», содержавшегося в исходном продукте, то есть $A=K$. То же самое в полной мере относится и к величине Н из формулы (2).

Уяснив эту особенность формул (1) и (2), проведем следующие преобразования с одной из них, например, с формулой (1).

$$E = \frac{A * K_A - K}{K * 100 - K} = \frac{A * (K_A - K)}{K * (100 - K)} =$$

$$= \frac{A * K_A - A * K}{100 * K - K * K} = \frac{(A * K_A) - (A * K)}{(100 * K) - (K * K)} \quad (3)$$

Рассмотрим по отдельности каждое из выражений, выделенных скобками, в последнем звене выражения (3).

Здесь $(A * K_A)$ - произведение количества фракции А на концентрацию шелушенных зерен K_A в этой фракции, что является общим количеством компонента К, попавшим в фракцию А.

Выражение $(A * K)$ есть произведение количества фракции А на концентрацию шелушенных зерен К в исходном продукте, что является количеством компонента К, попавшим в фракцию А за счет простого деления исходного продукта на потоки, поскольку только в этом случае концентрация компонента в фракции А не изменяется по отношению к концентрации его в исходном продукте.

Выражение $(100 * K)$ есть произведение концентрации шелушенных зерен в фракции А при идеальном крупотделении, т.е 100% (действительно, в этом случае фракция А должна состоять только из шелушенных зерен и величина K_A должна быть равна 100%), на количество фракции А при идеальном крупотделении, т.е К (см. абзац, отмеченный знаком ^Д), что является общим количеством компонента К, которое должно попасть в фракцию А при идеальном крупотделении.

Выражение $(K * K)$ есть произведение количества фракции А при идеальном крупотделении, т.е К (так как в этом случае $A=K$), на концентрацию шелушенных зерен К в исходном продукте, что является количеством компонента К, которое может попасть в фракцию А за счет простого деления исходного продукта на потоки даже в случае идеального процесса крупотделения.

Итак, в числителе выражения (3) имеем разность между общим количеством шелушенных зерен, попавших в фракцию А, и количеством шелушенных зерен, попавших в фракцию А в результате эффекта простого деления на потоки, и разность эта есть количество шелушенных зерен, попавших в фракцию А в результате именно сортирующего эффекта крупотделения.

В знаменателе выражения (3) имеем разность между общим количеством шелушенных зерен, которые должны попасть в фракцию А

при идеальном процессе крупотделения, и количеством шелушенных зерен, которые могут попасть в фракцию А в результате простого деления на потоки при идеальном процессе крупотделения. Разность эта есть количество шелушенных зерен, которые должны попасть в фракцию А исключительно в результате сортирующего эффекта при идеальном процессе крупотделения.

Следовательно, оценка крупотделения по формуле (1) – это отношение количества шелушенных зерен, фактически попавших в фракцию А исключительно в результате сортирующего эффекта крупотделения, к количеству шелушенных зерен, которые должны попасть в фракцию А исключительно в результате сортирующего эффекта при идеальном процессе крупотделения. Аналогичные выкладки можно провести и для формулы (2). Тогда оценка крупотделения по формуле (2) – это отношение количества нешелушенных зерен, фактически попавших в фракцию В исключительно за счет сортирующего эффекта крупотделения, к количеству нешелушенных зерен, которые должны попасть в фракцию В исключительно за счет сортирующего эффекта при идеальном процессе крупотделения.

Таким образом, сущность критерия Е.М.Мельникова заключается в том, что он является оценкой, показывающей уровень фактического сепарирующего эффекта относительно сепарирующего эффекта, который должен быть при идеальном процессе крупотделения (в долях единицы или в процентах).

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГРЕЧИХИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МУКИ

Л.В. Анисимова, С.В. Якушев, М.А. Корнеев

Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова

Гречиха является одной из ценнейших крупяных культур. Белки гречихи легко усваиваются организмом человека, кроме того, они наиболее близки по составу и сбалансированности по содержанию незаменимых аминокислот к белкам животного происхождения (молока и говядины). Также гречиха богата рутином – гликозидом, обладающим Р-витаминной активностью. Несомненно, полезные свойства зерна

гречихи должны найти отражение в богатом ассортименте вырабатываемой из него продукции. В ряде зарубежных стран гречиху действительно широко используют в виде обогатительных добавок к основному рациону питания человека. Вместе с тем, в России зерно гречихи перерабатывают в основном лишь в крупу двух видов. Поэтому скрытые ресурсы использования зерна гречихи как полезного компонента в питании человека требуют немедленного освоения путем разработки и внедрения новых технологий его переработки.

Вопросами разработки одной из таких технологий – технологии гречневой муки занимаются на кафедре ТХПЗ. В данной статье приведены некоторые результаты исследования способов гидротермической обработки ГТО зерна и ядра гречихи при производстве гречневой муки.

Нами были предложены способы выработки гречневой муки, включающие гидротермическую обработку зерна или ядра с использованием операций увлажнения зерна или ядра соответственно, последующего отволаживания и высокотемпературной сушки. При этом изучали два варианта увлажнения гречихи: 1 – путем добавления расчетного количества воды при атмосферном давлении; 2 – на вакуумной установке при кратковременном погружении зерна или ядра в воду.

Для способа выработки гречневой муки из зерна, прошедшего ГТО, с использованием математических методов планирования эксперимента (план ПФЭ 2³) отыскивали оптимальные режимы ГТО (таблица 1) и определили качество муки, полученной при найденных режимах.

Таблица 1 – Оптимальные режимы ГТО зерна гречихи

Вариант увлажнения зерна при ГТО	Влажность зерна после увлажнения, %	Глубина вакуума в рабочей камере установки, МПа	Время отволаживания, ч	Температура агента сушки, °С	Влажность зерна после сушки, %
1 - расчетное количество воды	28,0-31,0	-	10-12	160-170	12,0-12,5
2 - на вакуумной установке	26,0-31,0	(-0,06)-(-0,08)	6-8	140-160	12,0-12,5

При этом показатель степени измельчения ядра определяли в соответствии с предложенной нами модификацией известной методики ВНИИЗ (для зерна пшеницы) применительно к ядру гречихи. Содержание крахмала находили поляриметрическим методом Эверса, содержание декстринов - по методике, разработанной М.П. Поповым и

Е.С. Шаненко. Отражательную способность муки определяли на приборе БЛИК-ЗМ, зольность гречневой муки – по ГОСТ 27494-87.

Далее исследовали способ выработки гречневой муки, включающий гидротермическую обработку ядра. При этом также изучали два варианта увлажнения гречихи. В ходе исследования устанавливалось влияние различных параметров ГТО ядра гречихи на показатели качества гречневой муки и ядра путем проведения однофакторных экспериментов. При выборе режимов ГТО ядра гречихи стремились получить муку, по содержанию крахмала, декстринов близкую к муке, выработанной при оптимальных условиях ГТО зерна гречихи. При этом ядро не должно излишне укрепиться, а мука потемнеть.

В результате были установлены режимы ГТО ядра гречихи для двух способов его увлажнения: влажность зерна после увлажнения для обоих способов составила 22-24 %, длительность отволаживания при увлажнении ядра путем добавления расчетного количества воды – 7-8 ч, при увлажнении на вакуумной установке – 5-6 ч, температура агента сушки при обоих способах увлажнения – 130-140 °С. Основные показатели качества гречневой муки и ядра, полученных при использовании разных способов ГТО зерна и ядра, приведены в таблице 2.

В качестве контроля использовали муку, полученную из исходного ядра без ГТО.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика ядра и муки, выработанных с применением разных способов ГТО зерна (ядра) гречихи

Наименование показателя	Способ обработки				
	Контроль (без ГТО)	ГТО зерна		ГТО ядра	
		1 вариант увлажнения	2 вариант увлажнения	1 вариант увлажнения	2 вариант увлажнения
Содержание крахмала в муке, %	78,1	72,7	73,5	73,8	72,4
Содержание декстринов в муке, %	0,6	0,7	0,8	0,9	0,7
Показатель степени измельчения ядра, %	95,9	96,1	94,0	97,0	97,3
Коэффициент отражения муки, усл. ед. прибора	31	26	21	31	29
Зольность муки, %	1,85	2,20	2,26	2,03	2,10

МАКАРОННЫЕ СВОЙСТВА СМЕСЕЙ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ И ГРЕЧНЕВОЙ МУКИ

**Л.В. Анисимова, С.В. Якушев,
Л.И. Кострова, Е.П. Дробышева**

**Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова**

На основе комплексного анализа полученных результатов можно сделать следующие заключения:

- использование вакуума в процессе увлажнения зерна и ядра позволяет сократить длительность отволаживания зерна и снизить температуру агента сушки; снижение длительности отволаживания влечет за собой сокращение вместимости отлежных бункеров и, как следствие, высвобождение производственной площади;

- режимы ГТО ядра получились гораздо мягче, чем ГТО зерна: снизились не только время отволаживания при одинаковых способах увлажнения зерна и ядра, но и необходимая температура агента сушки; кроме того, если учесть тот факт, что средняя пленчатость зерна гречихи составляет 20-30 %, при использовании способа ГТО ядра гречихи происходит экономия производственной мощности примерно на 25 %;

- в результате ГТО ядра снижается его прочность, что способствует уменьшению энергозатрат на выработку муки;

- коэффициент отражения муки при ГТО ядра остался на уровне контрольного образца, несмотря на использование термической обработки, что делает возможным использование гречневой муки как добавки при выпечке хлебобулочных изделий;

- снижение содержания крахмала в гречневой муке, выработанной с применением одного из двух способов ГТО зерна (ядра), свидетельствует об улучшении усвояемости гречневой муки и продуктов, вырабатываемых из нее; это в дополнение к хорошей усвояемости продуктов из гречихи делает гречневую муку, полученную с применением исследуемых способов ГТО, отличным диетическим продуктом. При этом мука, полученная из ядра с использованием ГТО, обладает лучшими органолептическими показателями качества (приобретает привкус и легкий аромат поджаренного ореха, у нее исчезает горьковатый привкус).

Обобщая сделанные выводы, можно рекомендовать использование способа ГТО, включающего увлажнение под вакуумом, отволаживание и сушку ядра гречихи, при производстве муки с улучшенными показателями качества.

Одним из путей удовлетворения возрастающего спроса населения на натуральные продукты питания, полноценные по химическому составу и потребительским свойствам, является использование при производстве хлеба, кондитерских и макаронных изделий гречневой муки. Продукты из гречихи, в том числе гречневая мука, характеризуются высокими пищевыми, вкусовыми и диетическими свойствами. В состав гречихи входят органические кислоты (лимонная, яблочная, щавелевая), способствующие лучшей усвояемости организмом питательных веществ. Гречневая мука содержит значительно больше по сравнению с мукой из других культур важных макро- и микроэлементов (кальция, железа, фосфора, йода), лецитина, снижающего уровень холестерина в крови. Белок гречихи по биологической ценности выше белка зерновых злаковых культур. Использование гречневой муки позволит сократить расход пшеничной муки, расширить ассортимент изделий и обогатить их минеральными и биологически активными веществами.

Нами изучена возможность использования гречневой муки (крупки) при производстве макарон.

В исследованиях использовали пшеничную крупку высшего сорта и гречневую крупку (проход через сито № 045, сход сита № 27), выработанные разными способами:

- из ядра гречихи, полученного из исходного зерна (без гидротермической обработки ГТО);

- из ядра гречихи, полученного из зерна, прошедшего ГТО с пропариванием и сушкой;

- из ядра гречихи, полученного из зерна, прошедшего ГТО с увлажнением путем добавления расчетного количества воды при атмосферном давлении (1 способ увлажнения), отволаживанием и сушкой;

- из ядра гречихи, полученного из зерна, прошедшего ГТО с увлажнением под вакуумом (2 способ), отволаживанием и сушкой;

- из зерна гречихи (без ГТО и предварительного шелушения).

Для исследования были приготовлены пять образцов макарон с заменой 10 % пшеничной крупки на соответствующее количество гречневой крупки, полученной разными способами. За контроль приняли макароны, изготовленные из пшеничной крупки.

Качество макаронных изделий определяли в лаборатории оценки качества зерна Алтайского научно-исследовательского института сельского хозяйства в соответствии с ГОСТ Р 51865-2002. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Из таблицы видно, что добавление гречневой муки при производстве макарон изменяет практически все технологические и органолептические показатели их качества.

Так, в макаронах с добавлением гречневой крупки из исходного ядра гречихи (без ГТО) появились привкус и легкий запах гречневой муки. Прочность макарон снизилась по сравнению с контролем почти в два раза, а потери сухих веществ при варке увеличились на 1,4 %. Общая оценка качества макарон одна из самых низких (2,5 балла).

В макаронах с добавлением гречневой крупки, полученной из исходного зерна, имеются вкрапления плодовых оболочек, которые придают макаронам темный с серым оттенком цвет. Присутствуют привкус и легкий запах гречневой муки. Прочность макарон самая низкая – 500 г. Общая оценка качества макарон низкая – 2,5 балла.

Макароны с добавлением гречневой крупки с ГТО (увлажнение при атмосферном давлении) приобрели легкие приятные аромат и привкус поджаренного ореха. Прочность макарон по сравнению с другими образцами с гречневой крупкой достаточно высокая – 710 г. Общая же оценка качества макарон низкая – 2,9 балла.

Макароны, в которые добавлена гречневая крупка с ГТО (увлажнение под вакуумом), также как и предыдущий образец, приобрели приятные аромат и привкус поджаренного ореха. Потери сухих веществ в них при варке соответствуют уровню контроля. То же самое можно сказать о коэффициентах развариваемости по объему и по массе. Общая оценка качества макарон самая высокая из всех видов макарон, изготовленных с добавлением гречневой крупки.

Следует отметить, что макароны с добавлением гречневой крупки из ядра с ГТО (увлажнение под вакуумом) имеют более светлую окраску, чем макароны с добавлением гречневой крупки из ядра с ГТО (увлажнение при атмосферном давлении). По прочности данный вид макарон занимает второе место после контроля.

Таблица 1

Показатель качества макарон	Контроль	Смесь: 90 % пшеничной крупки, 10 % гречневой крупки				
		Способ получения гречневой крупки				
		из исходного ядра (без ГТО)	из пропаренного ядра	из ядра с ГТО (1 способ увлажнения)	из ядра с ГТО (2 способ увлажнения)	из исходного зерна гречихи
Общая оценка качества, балл	4,3	2,5	3,3	2,9	3,5	2,5
Влажность, %	11,6	11,7	11,3	11,9	11,8	11,6
Прочность, г	1030	570	630	710	740	500
Коэффициент развариваемости по объему	4,0	4,4	4,0	4,3	4,1	4,2
Коэффициент развариваемости по массе	3,2	3,4	3,1	3,3	3,2	3,2
Потери сухих веществ при варке, %	9,0	10,4	10,8	10,0	9,1	9,5
Цвет	кремовый	желтоватый	желтокоричневый	желтоватый	светлокремовый	темный с серым оттенком
Вкус	без посторонних привкусов	с привкусом гречневой муки	с привкусом пропаренной гречихи	с привкусом поджаренного ореха	с привкусом поджаренного ореха	с привкусом гречневой муки
Запах	без посторонних запахов	с легким запахом гречневой муки	специфич. аромат пропаренной гречихи	с легким ароматом поджар. ореха	с легким ароматом поджар. ореха	с легким запахом гречневой муки

Добавление гречневой крупки из пропаренного ядра придает макаронам специфический вкус гречневой каши из пропаренной ядрицы, макароны также приобрели аромат пропаренной гречихи. Этот вид макарон имеет самые большие потери сухих веществ при варке. Коэффициенты же развариваемости по объему и по массе соответствуют контролю. Общая оценка качества макарон 3,3 балла.

На основе сделанного анализа можно рекомендовать потребителям макароны, полученные с добавлением гречневой муки (крупки), выработанной из ядра с ГТО (увлажнение под вакуумом). Этот вид макарон имеет светло-кремовую окраску, приятные вкус и аромат. Большая часть показателей качества данных макарон практически не отличается от макарон, изготовленных из пшеничной крупки (контроля).

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА И МУКИ

**В.С. Лузев, Л.В. Устинова,
Л.Е. Мелешкина, Т.Ю. Молодых**

**Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова**

Одна из задач производственно-технических лабораторий быстро и точно оценить качество поступающего зернового сырья. От исходного качества зерна зависят параметры режимов хранения, переработки зерна и, в конечном итоге, качество готовой продукции.

В настоящее время большинство зерноперерабатывающих предприятий имеет лабораторную базу, не позволяющую оперативно определять показатели качества зерна и продуктов его переработки. Анализ работы производственных лабораторий и методов оценки зерна и готовой продукции показал, что многие методы оценки носят субъективный характер. Так, например, из 8 стандартов на зерно, поступающего в переработку в крупу, из 45 показателей качества – 36 определяются визуально лаборантом. Т.о. результаты анализа качества зерна во многом зависят от человека, который их выполняет. К тому же определение некоторых показателей качества стандартными методиками - очень

продолжительный процесс. Для того чтобы исключить субъективность в оценке качества, а также для оперативной оценки качества зерна и зернопродуктов в настоящее время разрабатываются и внедряются на производствах новые приборы, позволяющие быстро и точно выполнить комплексную оценку.

В ходе исследований была проанализирована работа ряда приборов, определяющих различные показатели качества зерна и муки.

На рисунке 1 представлены данные по определению влажности зерна на приборах MA-30 SARTORIUS, ИнфраЛЮМ ФТ-10 и по ГОСТ 13586.5-93 «Зерно. Метод определения влажности». Для исследований отобраны анализируемые образцы 30 различных партий зерна пшеницы. На рисунке 2 представлены данные по определению влажности муки на приборах ИнфраЛЮМ ФТ-10 и по ГОСТ 9404-88 «Мука и отруби. Метод определения влажности». В ходе исследований проанализировали образцы 30 различных партий пшеничной муки. Продолжительность определения влажности муки на приборе ИнфраЛЮМ ФТ-10 составила 7 минут, по ГОСТ ГОСТ9404-88 – около 50 минут.

На рисунке 3 показана взаимосвязь методов оценки влажности муки и рассчитанный коэффициент корреляции. Полученные данные показывают возможность заменить один метод определения влажности другим методом, более быстрым.

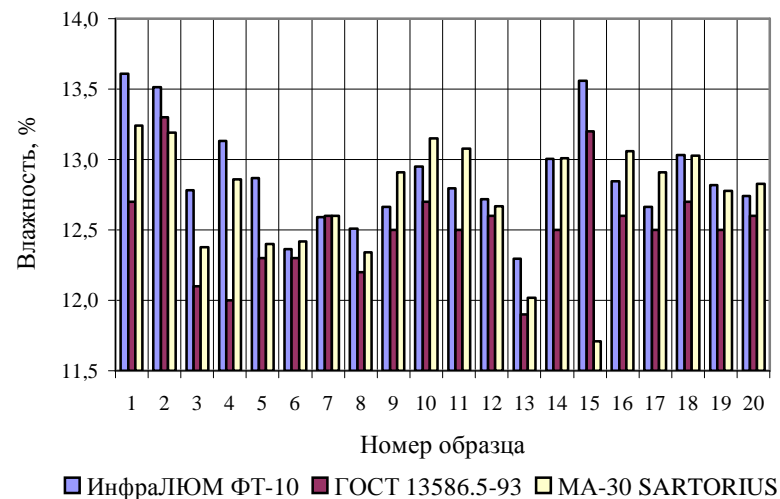


Рисунок 1 – Влажность зерна пшеницы

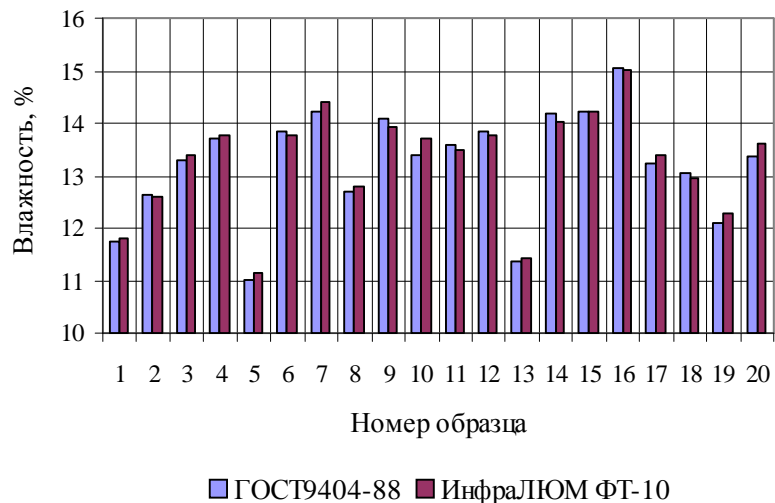


Рисунок 2 - Влажность муки

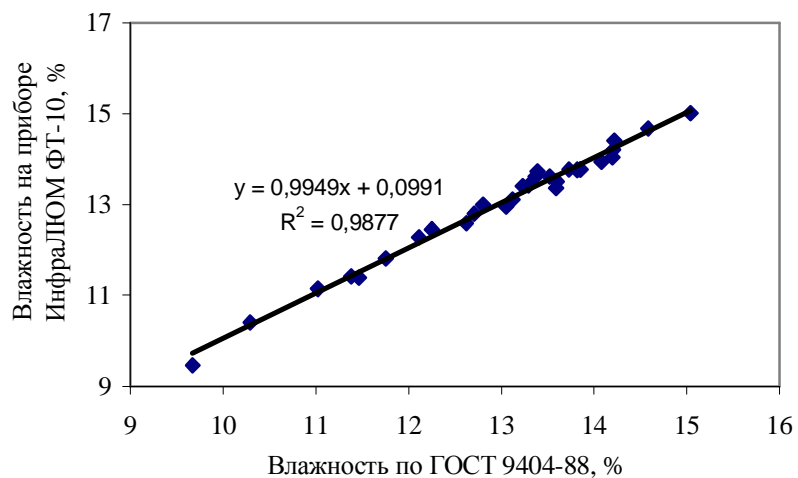


Рисунок 3 - Взаимосвязь методов оценки влажности муки

Также были определены на различных приборах: общее содержание примесей в зерне, количество и качество клейковины в зерне и в муке, белизна муки.

Оценка белизны муки проводилась на приборе ИнфраЛЮМ ФТ-10, на приборе Блик-РЗ (1) лаборатории кафедры ТХПЗ, на приборе Блик-РЗ (2) Испытательного центра АлтГТУ, по ГОСТ26361-84 «Мука. Методы определения белизны», и с помощью программно-аппаратного комплекса «Анализатор зернопродуктов». На рисунке 4 представлены результаты определения белизны на различных приборах.

Как видно из рисунка, расхождения в определениях белизны на приборе ИнфраЛЮМ ФТ-10, на приборе Блик-РЗ (2) Испытательного центра АлтГТУ не превышают допустимых 4 %, а расхождения анализатора ИнфраЛЮМ ФТ-10 с прибором Блик-РЗ (1) значительно превышают допустимые. Это говорит о необходимости провести поверку прибора Блик-РЗ кафедры ТХПЗ.

При определении белизны муки с помощью программно-аппаратного комплекса «Анализатор зернопродуктов» была оценена отражательная способность муки в единицах сканера, которая затем пересчитана на белизну в единицах прибора РЗ-БПЛ.

На рисунке 5 четко видна зависимость между методом определения белизны муки с помощью программно-аппаратного комплекса «Анализатор зернопродуктов» и по стандарту на приборе Блик-РЗ (2) Испытательного центра АлтГТУ.

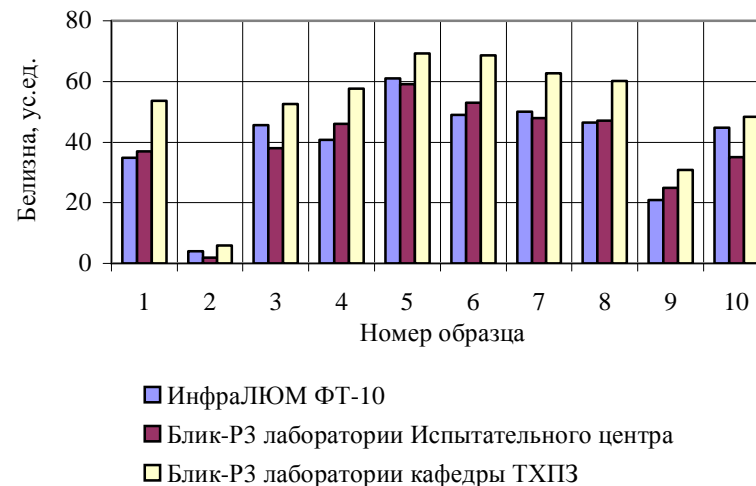
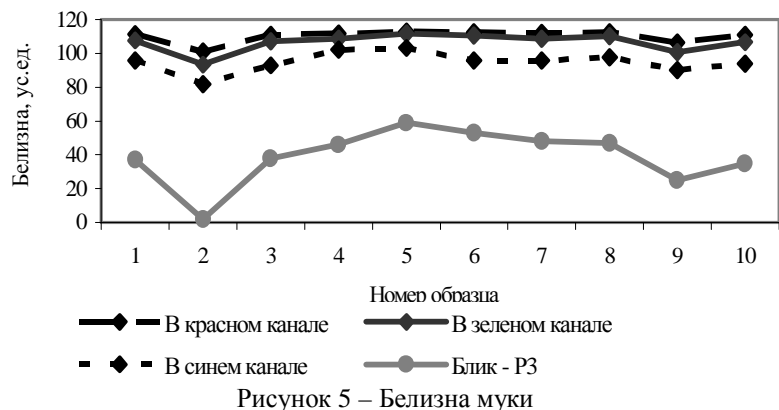
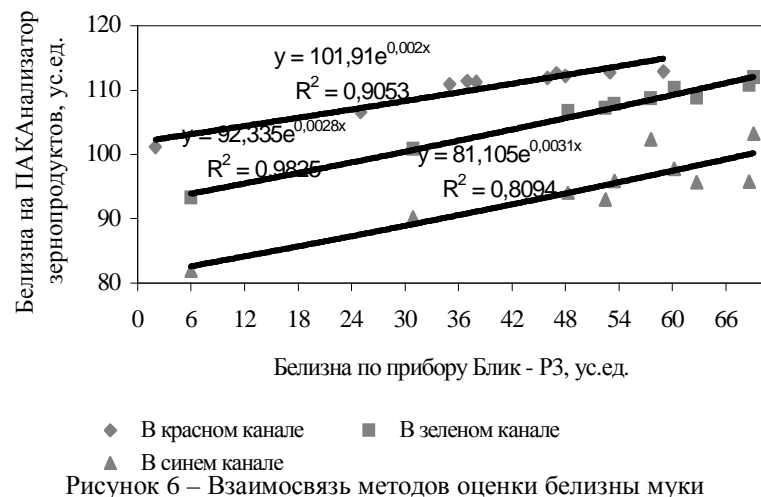


Рисунок 4 – Белизна муки



Анализируя график, можно заметить, что больше всего корреляция между значениями, полученными в синем канале истинного цвета.

На рисунке 6 представлен график, где установлена взаимосвязь двух методов определения белизны.



Таким образом, белизну муки можно определять с помощью программно-аппаратного комплекса «Анализатор зернопродуктов», но предварительно необходимо подобрать такие коэффициенты пересчета, которые позволили бы получить значения белизны муки (в едини-

цах прибора РЗ-БПЛ), аналогичные или с минимальными отклонениями относительно значений, определенных в соответствии со стандартом на приборе Блик-РЗ.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

- большинство приборов калибруются по данным, полученным референтными методами, и есть вероятность включения ошибки (человеческого фактора) в настройку прибора;

- простота эксплуатации новых приборов, возможность экспрессно определить ряд показателей качества зерна и продуктов его переработки компенсирует достаточно высокую стоимость экспресс-анализаторов и ставит их на первое место в лабораторном оборудовании;

- перспективны дальнейшие исследования в оценке качества зерна и зернопродуктов для разработки и дальнейшего внедрения в производство программно-аппаратного комплекса «Анализатор зернопродуктов».

ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИЙ ВЛАГОМЕР ЗЕРНОВОЙ ПРОДУКЦИИ В ПОТОКЕ

**А.И. Тищенко, В.К. Федотов,
В.С. Афонин, Д.П. Домашкин**

**Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова**

ЗАО "Новые технологии"

В технологических процессах переработки зерна, а также при его хранении, приемке, оценке качественных характеристик особую роль играет такой показатель как влажность. Кроме того, с развитием современной техники, все большую роль стала играть автоматизация технологических процессов, в частности автоматизация технологического процесса увлажнения зерна. Основные требования к датчику влажности зерна, предъявляемые системами автоматизации:

- Влагомер должен вести непрерывное измерение влажности зерна в потоке;
- Конструкция датчика не должна содержать каких-либо элементов, препятствующих свободному прохождению зерна;
- Абсолютная погрешность измерения не выше 0,3%.

В данный момент рынок представлен поточными влагомерами, в основном выпускаемыми зарубежными фирмами, имеющими довольно высокую стоимость и не всегда отвечающими метрологическим требованиям. В настоящем случае налицо все признаки необходимости проектирования конструктивного решения нового типа, т.к. ни одна из существующих конструкций не удовлетворяет представляемым требованиям в полном объеме.

В ЗАО “Новые технологии” (г. Барнаул) предпринята попытка разработать поточный влагомер емкостного типа. При разработке влагомера были учтены полученные ранее результаты по электроемкостному измерению неэлектрических величин с использованием первичных преобразователей с так называемой перекрестной емкостью и трансформаторных измерительных мостов [1].

Анализ существующих промышленных влагомеров, в том числе и зарубежных, показал, что в большинстве случаев в качестве первичного преобразователя влагомеров используются преобразователи, выполненные в виде коаксиального измерительного конденсатора или его эквивалента. Такие преобразователи действительно обладают высокой относительной и абсолютной чувствительностью. Однако электроды такого первичного преобразователя оказывают сопротивление потоку, и приводят к засорению датчика. И наконец, метрологические характеристики таких преобразователей существенно зависят от температуры окружающей среды, т.к. изменение габаритов электродов, вызванное температурным расширением, влияет на их электроемкость.

Авторы предлагают использовать в качестве первичного преобразователя влажности зерна конденсатор с перекрестной емкостью. Подобные конденсаторы известны в области метрологии как высокостабильные емкостные элементы и используются в качестве образцовых мер малой емкости [2]. Конструктивно такой конденсатор выполнен в виде системы, как минимум, четырех электродов, расположенных на поверхности цилиндра с соблюдением условия, что частичные емкости каждой пары взаимно противоположных электродов равны. При этом условии емкость каждой пары на единицу длины будет постоянной и равна:

$$C = \epsilon \ln 2, \quad (1)$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость среды между электродами.

Кажущийся недостаток таких конденсаторов – малая емкость легко обходится при использовании специальных схем измерения трансформаторного измерительного моста [3]. Именно в сочетании с последними, конденсаторы с перекрестной емкостью нашли свое применение.

Реализуется влагомер в соответствии с функциональной схемой, представленной на рис. 1. Влагомер “Поток” содержит высокочастотный генератор 1, трансформатор 2 с тесной индуктивной связью между вторичными обмотками 3 и 4. Первичный преобразователь 5 содержит потенциальный 6 и измерительный 7 электроды, образующие совместно с экранными электродами 8 и 9 конденсатор с перекрестной емкостью. Измерительное плечо, состоящее из вторичной обмотки 3 трансформатора и первичного преобразователя 5, уравнивается компенсационным плечом, состоящим из вторичной обмотки 4 трансформатора 2 и цифро-аналогового преобразователя 14. При взаимодействии плеч, результирующий ток усиливается усилителем тока 10 и детектируется амплитудно-фазовым детектором 11. Выходной сигнал с компаратора 12 приходит в микроконтроллер 13, который по определенной логике управляет посредством ЦАП компенсационным плечом.

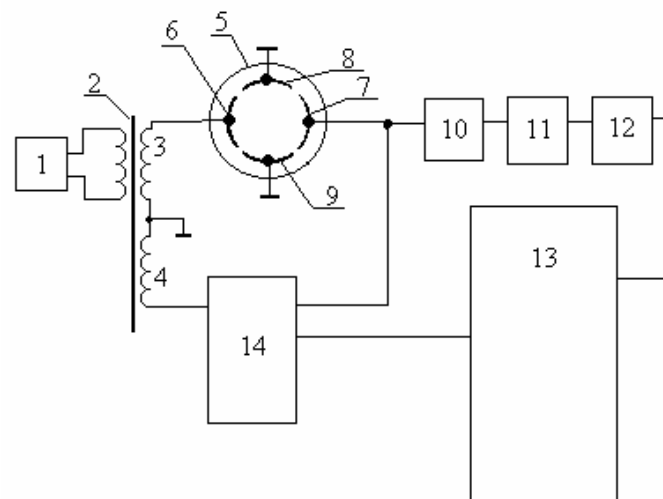


Рисунок 1

В данный момент макет влагомера “Поток” проходит промышленные испытания на предприятии ЗАО “Союзмука”. Цель испытаний: определение абсолютной погрешности измерений влагомера “Поток” в технологическом процессе увлажнения зерна;

получение сравнительных метрологических характеристик влагомера “ПОТОК” и его аналога – известного в мире влагомера WibroNet.

Датчик влагомера “Поток” установлен перед системой увлажнения зерна WibroNet, то есть зерно после процесса очистки по самотеку проходит через датчик, где непрерывно измеряется его влажность, и далее пневмотранспортом доставляется к влагомеру WibroNet. Такое положение датчика в техпроцессе делает возможным сравнения показаний влагомера “Поток” и влагомера фирмы WibroNet. В самотёке также предусмотрено окно отбора проб зерна для измерения его характеристик, в том числе и влажности. По предварительным данным сравнения влагомеров построен график изображенный на рисунке 2, где W–влажность зерна в процентах, а t–время.

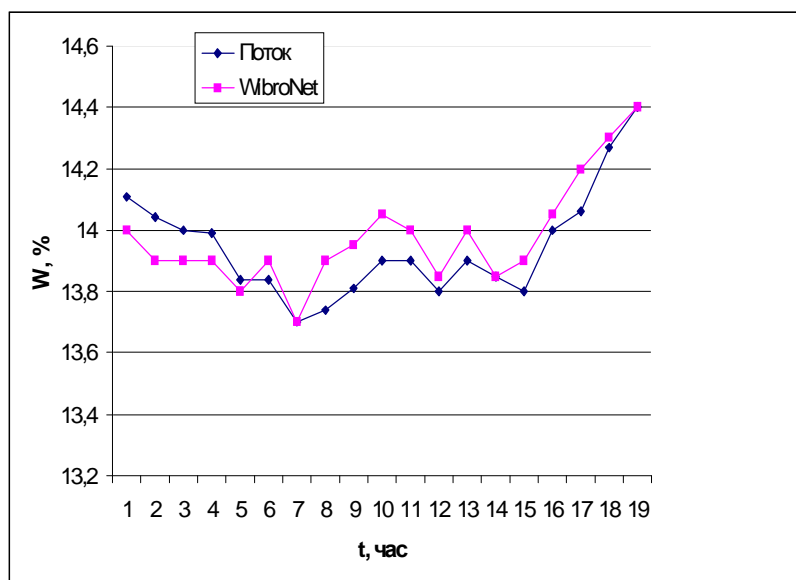


Рис.2

Литература:

1. Карандеев К.Б. и др. Быстродействующие электронные компенсационно-мостовые приборы. М., “Энергия”, 1966г.
2. Горбова Г.М. Теория и разработка бесконтактных электроемкостных трехэлектродных первичных измерительных преобразователей линейных микроперемещений: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Галина Михайловна Горбова – Барнаул, 2003.-260с.
3. Трансформаторные измерительные мосты. Под ред. К.Б. Карандеева, М., “Энергия”, 1966г.

НОВЫЕ ВИДЫ СОКОВ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

В.Н. Тимофеева, А.В. Черепанова

Могилевский государственный университет
продовольствия, Беларусь

Расширение ассортимента плодоовощных консервов имеет в виду не только новые наименования консервов, но и повышение их пищевой и биологической ценности. Для сохранения ценных природных свойств сырья необходимо добиваться щадящего теплового воздействия на продукт.

Освоение новых групп продукции и повышение их пищевой ценности требуют совершенствования организации производства и технологического процесса, создания высокопроизводительных механизированных и автоматизированных комплексов оборудования. В процессе их разработки необходимо решить ряд научных и технических вопросов.

На основании проведенных исследований с целью сохранения содержания биологически активных веществ предлагается следующая технология производства купажированных соков с использованием шиповника: морковно-шиповникового и тыквенно-шиповникового.

Для исследования были разработаны различные рецептуры купажированных соков. Рецептуры приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Рецептуры купажированных соков

№ п/п сока	Рецептура, %		
	Пюре морковное (тыквенное)	Сок из шиповника с мякотью	Сахарный сироп
I	40	20	40
II	40	25	35
III	45	20	35
IV	45	25	30

Как видно из таблицы содержание основного компонента-пюре морковного или тыквенного колебалось в пределах 40-45%, а сока из шиповника с мякотью в пределах 20-25%.

Каждый из соков (I,II,III,IV) готовился с использованием 20%-го сиропа.

Готовили сок из шиповника с мякотью, смешивали его с основным пюре (морковным или тыквенным) и 20%-ным сахарным сиропом. Полученную смесь гомогенизировали, подогрели до 90°C. Готовый сок разливали в стерилизованные бутылки Ш-43-1000, закупоривали крышками. Большое внимание уделено активной кислотности (рН), т.к. от нее зависит выбор температуры стерилизации. Для сока морковно-шиповникового рН колебалось от 4,34 до 5,05, а для сока тыквенно-шиповникового от 4,25 до 5,1. Исследования показали, что по значению рН соки превышали допустимое значение, т.е. оно оказалось выше, чем 4,2, поэтому чтобы снизить рН добавляли лимонную кислоту в виде 50% -ного раствора лимонной кислоты.

На следующем этапе исследований работа велась лишь с IV соком, изготовленном как из морковного, так и из тыквенного пюре, сока из шиповника с мякотью, сахарного сиропа, который готовили с использованием экстракта, т.е. половину от количества сахарного сиропа составлял экстракт шиповника. Экстракт получали путем экстрагирования шрота шиповника с водой в соотношении 2:1 в течение 15 минут.

Для получения сиропа воду смешивали с необходимым количеством экстракта, смесь доводили до кипения и вносили сахар-песок, в требуемом количестве по рецептуре, доводили до кипения и кипятили 5-10 минут, затем фильтровали через сито с диаметром отверстий 0,75-0,80 мм.

Химический состав и пищевая ценность купажированных соков представлены в таблице 2. Как видно из таблицы 2, соки (тыквенно-шиповниковый и морковно-шиповниковый) богаты витамином С, причём в морковно-шиповниковом соке его содержание выше, чем в тык-

венно-шиповниковом и составляет 95,42 и 93,88 мг/100г соответственно. Исследуемые соки также богаты пектиновыми веществами, их содержание составляет для сока морковно-шиповникового 0,66%, для тыквенно-шиповникового - 0,50%, что даёт возможность отнести соки к продуктам профилактического назначения. Богат и минеральный состав соков. Минеральный состав купажированных соков представлен на рисунках 1,2,3,4,5. Как видно из рисунков, в составе золы соков преобладают калий и кальций. Так, содержание калия в соке морковно-шиповниковом составляет 131мг/100г, а тыквенно-шиповниковом 155,5мг/100г, а кальция 41 и 26,5мг/100г соответственно.

Следует отметить также, что в соках достаточно высокое содержание полифенольных веществ, флавонолов, β-каротина, белка.

Таблица 2-Химический состав и пищевая ценность купажированных соков

Показатель	Сок морковно-шиповниковый	Сок тыквенно-шиповниковый
Массовая доля сухих веществ, %	12,20	10,40
Массовая доля органических кислот в пересчете на яблочную, %	0,34	0,33
Активная кислотность	4,14	4,18
Массовая доля сахаров, %		
Общие	9,68	8,8
Редуцирующие	7,92	6,9
Пектиновые вещества, %	0,66	0,50
Витамины мг/100г		
β-каротин	5,38	1,83
витамин С	95,42	93,88
Полифенолы, %	1,06	1,05
Флавонолы, %	0,76	0,75
Белок, %	1,05	0,9
Зольность, г/100г	0,59	0,44

Учитывая суточную потребность организма человека в витаминах и минеральных веществах, рассчитана степень покрытия потребности при употреблении 100г соков: по витамину С на 100%, по каротину превышает в 5раз суточную норму, по витамину Р на 6%, по калию на 48%, по кальцию на 5%, по натрию на 3%, по железу на 2,5%, по меди на 4,5%.

Таким образом купажирование шиповника с тыквой и морковью позволило не только улучшить вкус последних, но также обогатить их витамином С, полифенольными, минеральными и пектиновыми веще-

ствами. Разработанные соки содержат большое количество биологически активных веществ, а значит, они могут быть использованы в лечебно-профилактическом питании.

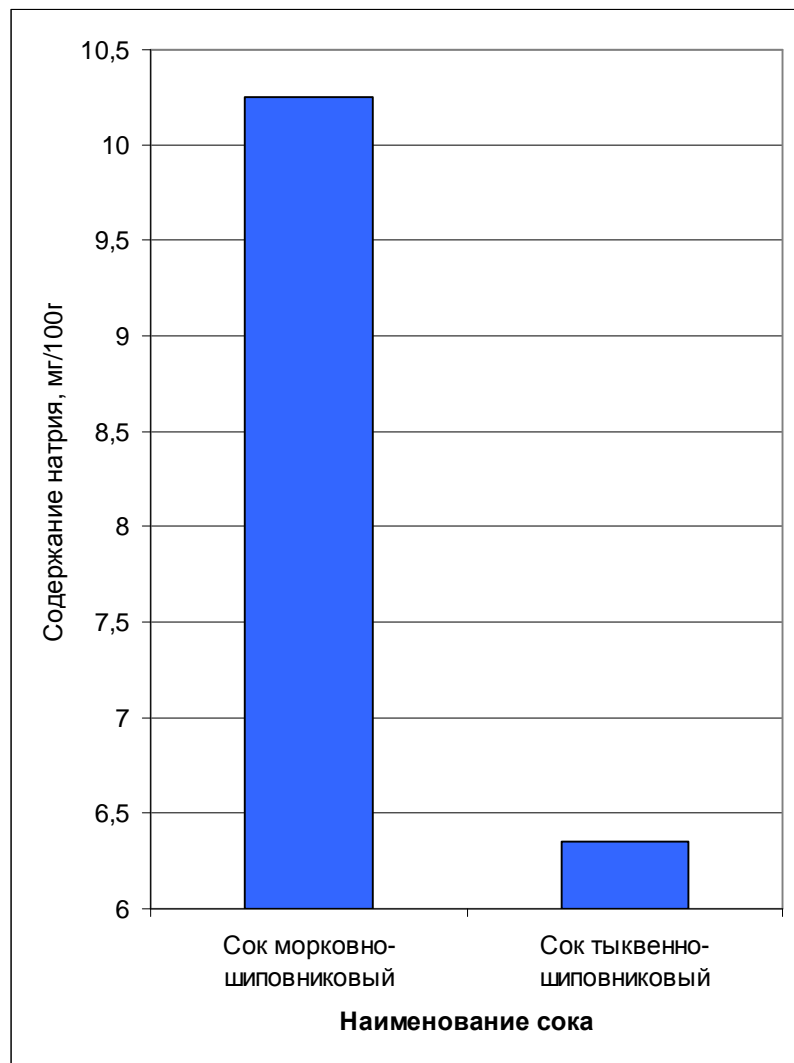


Рис.1-Содержание ионов натрия в соке

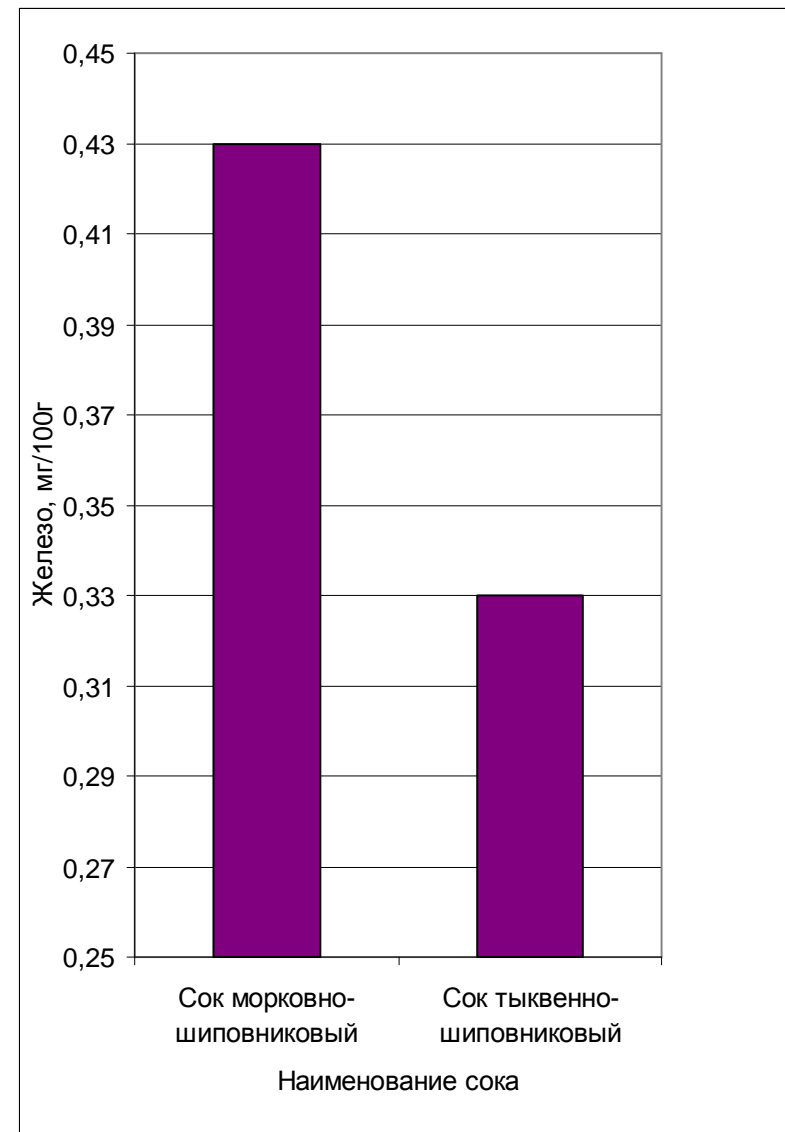


Рис.2 –Содержание ионов железа в соках

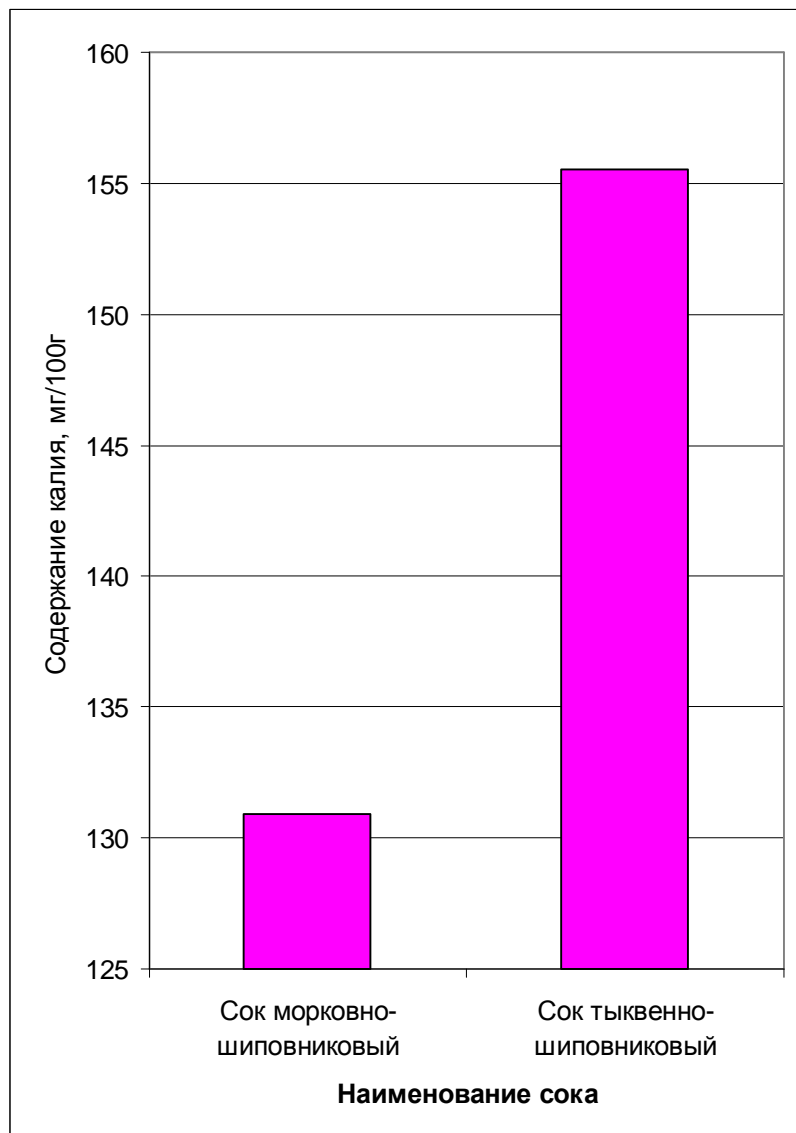


Рис.3 – Содержание ионов калия в соках

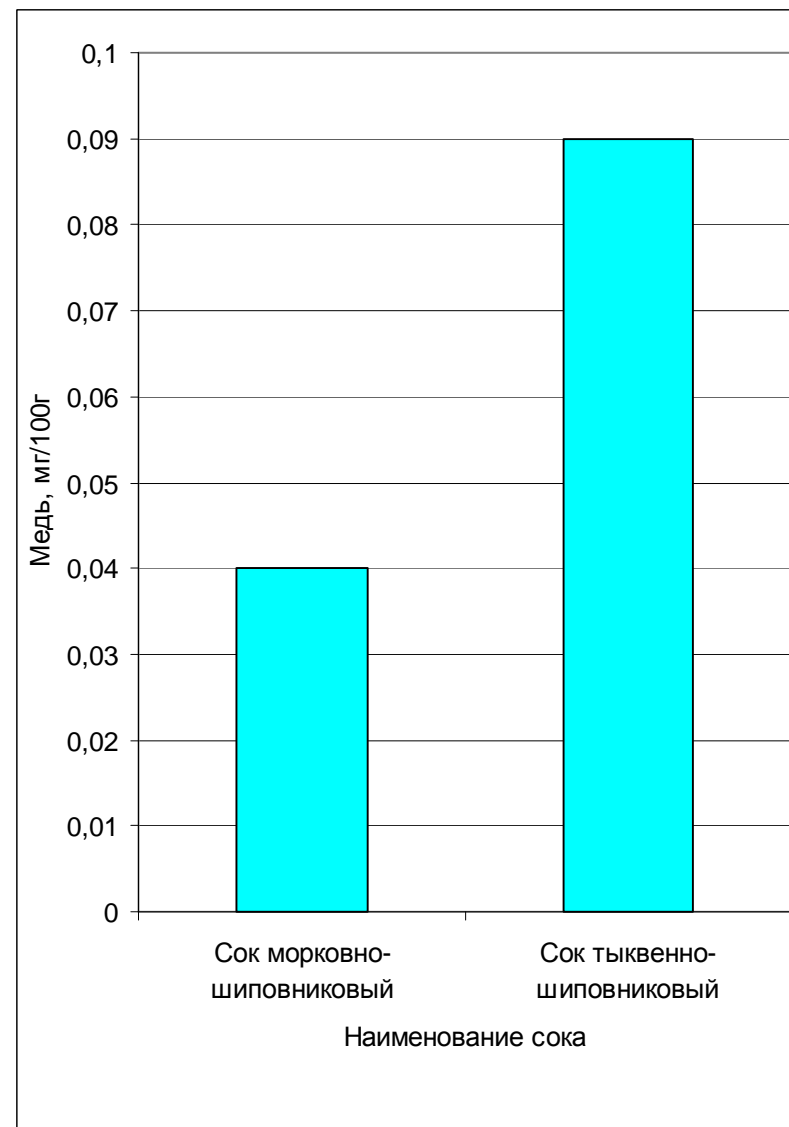


Рис. 4-Содержание ионов меди в соках

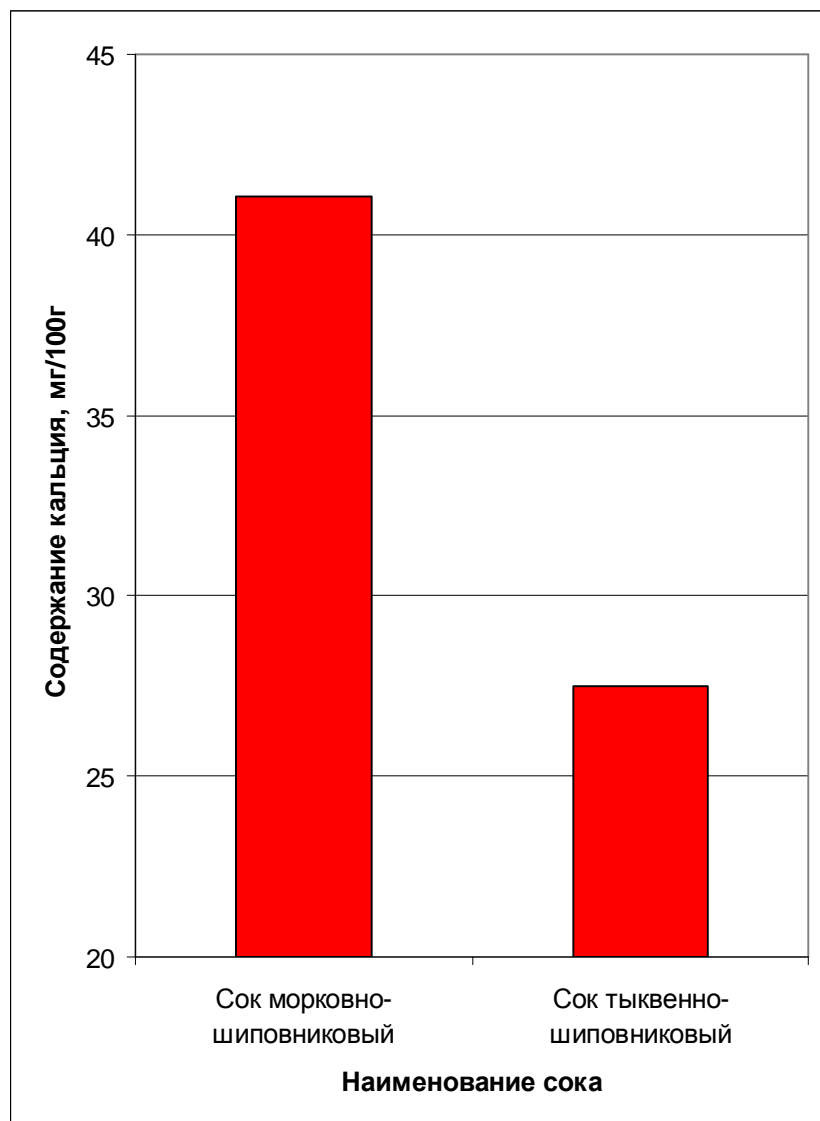


Рис.5- Содержание ионов кальция в соках

О РАСЧЕТЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СПИРАЛЬНО-ВИНТОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ

В.П. Коцюба, О.В. Нагорнова

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

С 2000 года на Алтайском рынке, благодаря компании «Европейские транспортные системы», появились спирально-винтовые конвейеры с гибкой спиралью, а с 2003 года – спиральные винтовые конвейеры с жесткой спиралью. Конструкция таких конвейеров довольно проста. Транспортирующий канал (круглая труба определенного диаметра) монтируется по заданной пространственной схеме. Внутри трубы помещается бесстержевая спираль. Один конец спирали приводится в действие валом мотора-редуктора, а второй конец спирали закреплен в подшипниковом узле, расположенном в конечном пункте транспортирования. В отличие от обычных винтовых конвейеров винтовая поверхность спирали не крепится к внутреннему валу. При этом такой конвейер не имеет промежуточных подшипниковых узлов на всем протяжении транспортирования. Благодаря этому, проходной диаметр конвейера не имеет заужений и остается неизменным по всей длине. Основными преимуществами спирально-винтовых конвейеров по сравнению с винтовыми конвейерами (шнеками) следует считать: большой коэффициент заполнения проходного диаметра конвейера; большая производительность; возможность транспортирования сыпучих материалов по пространственной трассе (с наклонами, изгибами); бережная транспортировка продукта; простота монтажа; низкое потребление электроэнергии.

Свои достоинства спирально-винтовые конвейеры проявили в производственных условиях на ряде зерноперерабатывающих, мукомольных, комбикормовых и пивоваренных заводов.

К сожалению в технической литературе нет рекомендаций по определению основных параметров спирально-винтовых конвейеров.

В данной работе мы даем некоторые рекомендации по расчету основных параметров спирально-винтовых конвейеров при выполнении студентами курсовых и дипломных проектов.

Производительность спирально-винтовых конвейеров можно определить по формуле:

$$\Pi = F_p \cdot u_{cp} \cdot r_H, \text{ [кг/с]}, \quad (1)$$

где F_p – рабочая площадь поперечного сечения трубы конвейера, м²; u_{cp} – средняя осевая скорость транспортируемого материала, м/с; ρ_n – насыпная плотность материала, кг/м³.

Рабочую площадь поперечного сечения находим следующим образом:

$$F_p = \frac{p \cdot D_{BH}^2}{4} \cdot \psi, \quad (2)$$

где D_{BH} – внутренний диаметр трубы конвейера, м (в качестве трубы конвейера выбираются тонкостенные электросварные трубопроводы стандартного диаметра; предварительно диаметр трубы можно выбрать по аналогии с винтовым конвейером); ψ – коэффициент заполнения (число меньше единицы, показывающее ту часть рабочей площади поперечного сечения трубы конвейера F_p , в которой условно перемещается сыпучий материал со скоростью u_{cp}). Коэффициент ψ зависит от многих факторов (вида трассы конвейера, вида перемещаемого продукта, размеров спирали и др.). До получения значений ψ , основанных на опытных данных, ориентировочно можно принимать $\psi=0,6...0,7$.

Среднюю осевую скорость можно вычислить по формуле:

$$u_{cp} = \frac{n \cdot S}{60} \cdot k, \quad (3)$$

где n – число оборотов спирали, мин⁻¹ (для зерновых продуктов можно принимать $n=30...90$ мин⁻¹); S – шаг спирали, м (Ориентировочно можно принимать $S=D_{СП}$; $D_{СП}=D_{BH} - 4 \cdot d_{cp}$; где $D_{СП}$ – наружный диаметр спирали, м; d_{cp} – средний размер транспортируемых частиц, м); k – коэффициент, учитывающий отставание потока частиц транспортируемого продукта от осевой скорости спирали (численные значения коэффициента k определяются экспериментальным путем; до получения опытных данных можно принимать $k=0,9...0,95$).

Мощность, потребляемая спиралью конвейера, расходуется на: подъем продукта; преодоление силы внешнего трения между продуктом и поверхностью вращающейся спирали; -преодоление силы внешнего трения между продуктом и внутренней поверхностью трубы конвейера; преодоление силы внешнего трения спирали о внутреннюю поверхность трубы при их контакте в местах перегиба трассы; на интенсивное перемешивание продукта в процессе транспортирования.

Рациональным представляется использование формулы для определения механической мощности на валу обычного винтового конвейера.

$$N_{MEX} = \frac{\Pi \cdot L}{367} \cdot w \pm \frac{\Pi \cdot H}{367}, \text{ [кВт]}, \quad (4)$$

где Π – расчетная производительность конвейера, т/ч; L – длина трассы транспортирования, м; H – высота подъема продукта, м; w – коэффициент, определяемый опытным путем из формулы (4).

$$w = \frac{367 \cdot N_{MEX} \pm \Pi \cdot H}{\Pi \cdot L}.$$

Мощность электродвигателя определяется по следующей формуле:

$$N_{эл} = \frac{N_{MEX}}{\eta_{пр}}, \text{ [кВт]}, \quad (5)$$

где $\eta_{пр}$ – КПД привода.

Для подбора электродвигателей к спирально-винтовым конвейерам до получения экспериментальных данных по численным значениям коэффициента w можно воспользоваться нижеприведенными графиками для неабразивных хорошо сыпучих материалов (графики построены по рекламным материалам компании «Европейские транспортные системы»).

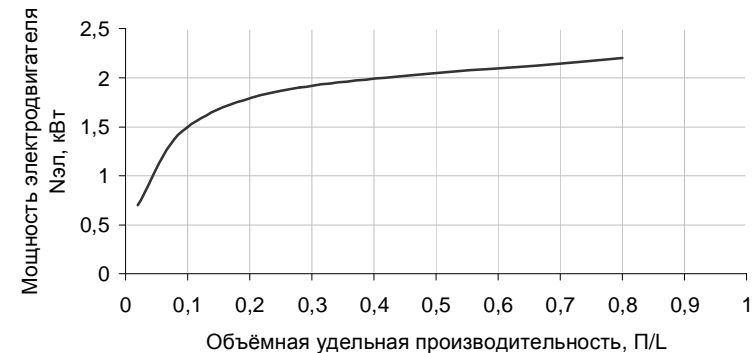


Рисунок 1 - Зависимость мощности электродвигателя $N_{эл}$ (кВт) от объемной удельной производительности Π/L [м³/(ч·п.м)]

График, представленный на рисунке 1, следует использовать для конвейеров с гибкой спиралью длиной до 30 м и высотой подъема продукта до 10 м.

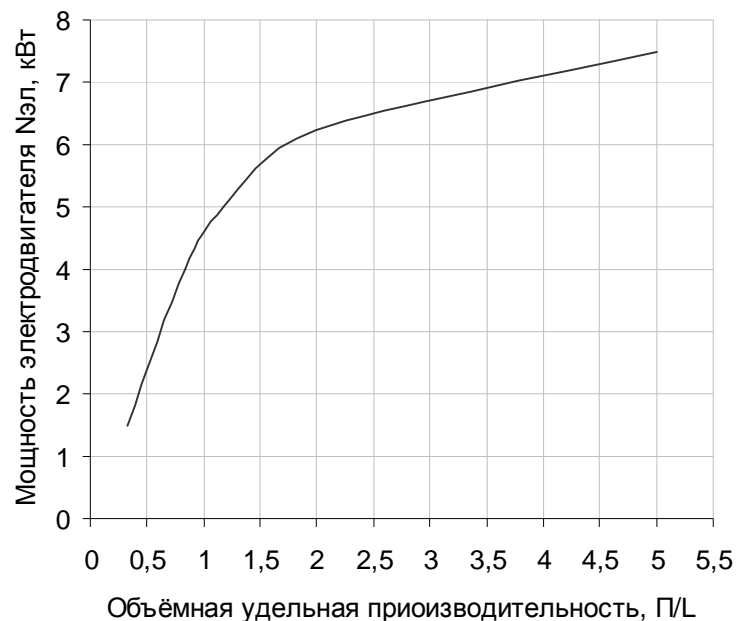


Рисунок 2 - Зависимость расчетной мощности электродвигателя Нэл (кВт) от объемной удельной производительности П/Л [$\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{п.м})$] для горизонтальных конвейеров с жесткой спиралью длиной транспортирования до 30 м

После выбора мотор-редуктора и частоты вращения его выходного вала следует уточнить расчетную производительность по формуле (1). Она не должна быть меньше заданной.

Реальные инженерные расчеты основных параметров спирально-винтовых конвейеров следует выполнять по достоверным экспериментальным значениям коэффициентов ψ , k и ω , полученных в лабораторных и производственных условиях.

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ СОРТИРОВКИ АКТИВНЫМ УГЛЕМ

В.П. Коцюба, Е.С. Дикалова

Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова

Обработка сортировки активным углем является основной технологической стадией производства водки. Этот процесс основан на способности угля сорбировать примеси спирта и ускорять окислительно-восстановительные реакции, благодаря чему изменяется качественный и количественный состав примесей. В результате этих процессов водка приобретает характерные вкус и аромат.

На предприятиях ликеро-водочной промышленности применяют различные способы обработки сортировки активным углем. Несмотря на широкое распространение этих способов и давнее их применение существует ряд вопросов, решение которых позволило бы более эффективно проводить эту технологическую операцию.

Для решения существующих проблем необходимо тщательное изучение процесса обработки сортировки активным углем. Сделать это в производственных условиях достаточно сложно. Кроме того, наблюдение за этим технологическим процессом и его освоение важно для студентов, обучающихся по специальности 270500 «Технология бродильных производств и виноделие».

Вышеизложенное послужило причиной того, что на кафедре ТБПиВ был разработан экспериментальный стенд, схема которого представлена на рисунке 1.

Экспериментальный стенд предназначен для изучения двух способов обработки сортировки (динамического и активным углем в псевдооживленном состоянии).

Основными составными частями стенда являются напорный бак 1, изготовленные из стекла песочные фильтры 6 и угольные колонки 8 и 10, которые располагаются в последовательности, характерной для производственных схем. Угольные колонки включаются поочередно в зависимости от того, какой способ подлежит исследованию. Угольные колонки и песочные фильтры снабжены воздушными кранами 3.

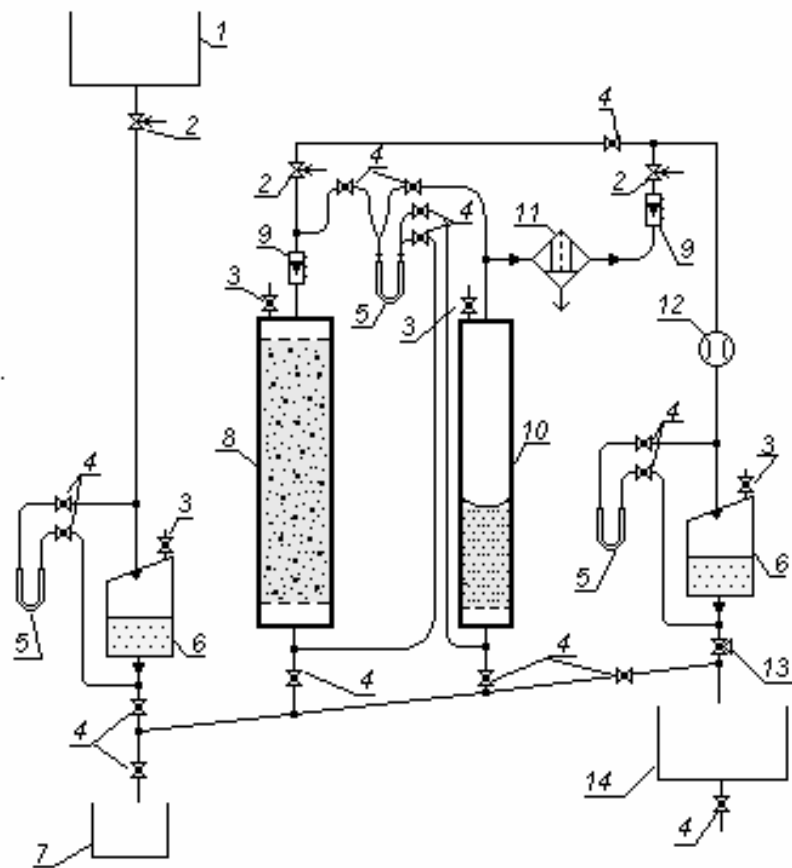


Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда

1 – напорный бак; 2 – вентиль регулирующий; 3 – воздушный кран; 4 – кран проходной; 5 – U – образный манометр; 6 – песочный фильтр; 7 – емкость для слива сортировки из системы; 8 – угольная колонка для динамического способа обработки сортировки; 9 – ротаметр; 10 – угольная колонка для обработки сортировки активным углем в псевдооживленном состоянии; 11 – фильтр для отделения мелкодисперсных частиц активного угля; 12 – расходомер; 13 – кран трехходовой; 14 – емкость для сбора обработанной сортировки

Фильтр 11 работает при включении в процесс угольной колонки 10 и предназначен для улавливания мелкодисперсных частиц угля, которыми загружена колонка. Для измерения перепадов давления используются U – образные манометры 5. После угольных колонок располагаются ротаметры 9 для установления и измерения скорости фильтрации. Расход сортировки измеряется расходомером 12.

Порядок работы на экспериментальном стенде следующий.

1) Песочные фильтры и угольные колонки наполняются соответствующей загрузкой (кварцевый песок и активный уголь).

2) Составные части установки соединяются в предусмотренной последовательности. Угольная колонка, не участвующая в эксперименте, отключается.

3) Работа установки начинается с открытия регулирующего вентиля 2 на напорном баке 1 и последующего заполнения песочного форсифilterа 6 сортировкой при закрытом нижнем кране 4 и открытом воздушном кране 3. О заполнении фильтра свидетельствует появление жидкости в воздушном кране, который после этого закрывается. Постепенно открывается нижний кран 4, и сортировка поступает в угольную колонку (8 или 10). Она заполняется снизу вверх также до появления жидкости в воздушном кране 3, который также закрывается. После этого открывается регулирующий вентиль 2 и сортировка направляется в песочный фильтр окончательной очистки 6. Его заполнение происходит аналогично форсифilterу.

4) После установления режима работы снимаются показания приборов. U – образные манометры 5 включаются в работу путем одновременного открытия парных кранов 4. Ротаметр 9 и расходомер 12 работают постоянно.

5) В ходе эксперимента осуществляется отбор проб через трехходовой кран 13.

6) После окончания эксперимента жидкость, оставшаяся в системе, удаляется с помощью сливного крана 4 при открытых воздушных кранах 3.

7) Содержимое песочных фильтров и угольных колонок может быть изъято и подвергнуто анализу.

На стенде планируется провести серию экспериментов по изучению процесса обработки сортировки активным углем при различных технологических параметрах.

РАЗРАБОТКА ИНТЕНСИВНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ ЗЕРНА

Г.А. Васильева, Т.Б. Минакова

**Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова**

В данной работе рассматриваются вопросы термической обработки зерна ряда культур инфракрасным излучением.

Известно, что с помощью ИК-излучения в крупяном производстве получают быстрорастворимые или не требующие варки крупяные изделия; в комбикормовой промышленности получают термообработанное зерно, имеющее повышенную усвояемость за счет деструкции крахмала в нем; обрабатывают соевые бобы с целью инактивации имеющихся в них токсичных веществ и др.

Проведенный анализ ряда работ [1, 2, 3] по влиянию термической обработки в целом на биохимический состав зерна показал, что основные компоненты зерна в таком процессе подвергаются значительным изменениям и не всегда с улучшением питательных свойств. Так, например, питательная ценность белка повышается пропорционально тепловой обработке только до определенного предела, после которого происходит снижение питательных свойств. Особенно этому способствует время экспозиции. Как нежелательное явление при термообработке снижается гидролиз жира, что может привести к образованию различных перекисей.

Целью данной работы является изучение интенсивных режимов термообработки зерна до предельных температур его нагрева не превышающих 120 °С, что значительно ниже максимально допустимой температуры термического разложения основных компонентов зерна. Это достигается за счет использования коротковолновых ИК-лучей высокой плотности. Интенсивный подвод тепла создает внутри зерновки большие градиенты температуры и концентрации влаги, которые резко повышают давление пара, и "взрывают" её. Это, в свою очередь, приводит к разрушению не только макроструктуры, о чем свидетельствует резкое увеличение размера зерновки, но и микроструктуры вещества, об изменении которой можно судить по фотографиям, полученным на сканирующем электронном микроскопе. Происходит разруше-

ние белковой матрицы, резко увеличиваются и видоизменяются крахмальные гранулы. За 25-35 секунд удаляется от 80 до 85% влаги, в 10 раз увеличивается содержание декстринов, имеющихся в зернах ячменя до облучения.

Создана экспериментальная установка для дальнейшего исследования выше описанных процессов и получения данных для разработки промышленного образца.

Литература

1. Александрова И.В., Загорюлько Н.И. Биохимическая оценка образцов ячменя при его термической обработке. Отчет. Караганда: 1980, - 10 с.
2. Козьмина И.П. Зерно. М.: Колос, 1969. - 368 с.
3. Орлов А.И. Разработать и испытать линию влаготепловой обработки зернового сырья. Отчет ВНИИКП, Воронеж, 1980. - 125 с.

ПОВЫШЕНИЕ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

**А.А. Глебов, В.Е. Герден, В.А. Бортников,
Л.Н. Коос, С.Е. Погодин**

**Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова**

АНО "Независимая экспертная компания" (г. Барнаул)

ООО НПФ "Контакт" (г. Новосибирск)

Ежегодно в мире на промышленных предприятиях происходит более 8500 взрывов и хлопков пылевоздушных смесей органического происхождения, в том числе в России не менее 700 зарегистрированных случаев. Значительная их часть приходится на предприятия по переработке растительного сырья (мельницы, элеваторы, комбикормовые заводы и пр.). Зачастую эти аварии приносят не только челове-

ские жертвы, но и многомиллиардные убытки. Мы считаем одной из основных причин аварий то, что существующая научная и прикладная база по обеспечению взрывопожарной безопасности производственных процессов на предприятиях отрасли, характеризующихся образованием пыли органического происхождения, нуждается в доработке. Имеющиеся сведения о параметрах и условиях процесса возгорания и взрыва в производственных системах позволяют говорить о возможности создания более безопасных производственных условий при наличии более современного физико-математического аппарата, учитывающего все многообразие производственных процессов и умения полученные сведения использовать для разработки способов и устройств, снижающих взрывоопасность процессов хранения и переработки зерна и муки.

Цель проведенной работы - повышение взрывопожарной безопасности процессов переработки растительного сырья на предприятиях по хранению и переработке зерна и муки.

В процессе работы решались следующие задачи:

1. Разработка методики проведения экспериментов.
2. Проведение комплексных лабораторных исследований динамики процессов горения и взрыва органических пылей (аэровзвесей) с целью уточнения условий и параметров процессов.
3. Разработка физико-математических моделей процессов горения и взрыва применительно к пыли органического происхождения, образующихся на предприятиях хранения и переработки зерна и муки.
4. Разработка способов и устройств снижающих взрывопожаробезопасность процессов переработки растительного сырья.

Объектом исследований были пылевоздушные смеси органического происхождения, которые образуются в результате специфики технологических процессов на предприятиях переработки растительного сырья.

Все исследования происходили на базе НПФ ООО "Контакт" (г. Новосибирск), Алтайского государственного технического университета имени И. И. Ползунова, и АНО "Независимая экспертная компания" (г. Барнаул).

В настоящее время наиболее известны эмпирические модели воспламенения (взрыва) органических пылевоздушных смесей российского (Семенов Л. И., Васильев Я.Я., Демидов П.Г., Рябов И.В. и др.) и зарубежного (США – Альбертсон Д.Е., Бартнехт У., Стюарт А.Х, Австралия – Грин Е.Т., Англия – Палмер К.Н.) авторства. Отличие этих работ в узости области применения вследствие не только конкретной отраслевой специфики работ, но и глубокой эмпиричности. Кроме то-

го, все работы выполнялись в 70-80-х годах. В то время отсутствовали возможности по многоточечному непрерывному отслеживанию и регистрации на ЭВМ таких параметров, как концентрация, расход и давление пылевоздушных смесей. Другим объективным недостатком является отсутствие математического (в т.ч. программного) аппарата для вариационных расчетов полученных моделей. В проведенной нами работе эти недостатки отсутствуют, что позволило увеличить достоверность и применимость полученных результатов на практике.

Использовались экспериментальные и физико-математические методы исследования. Экспериментальные методы включали в себя разработку методики проведения экспериментов, выполнение комплекса испытаний по исследованию условий и параметров процессов тления, возгорания, взрыва органических пылей (аэровзвесей), а также распространения энергии и продуктов взрыва преимущественно на моделях пневмотранспортных, аспирационных и вентиляционных систем. На базе разработанных стендов моделировались различные концентрации органических взрывоопасных смесей самой широкой номенклатуры. В качестве газовой составляющей использовался только атмосферный воздух, предварительно подготовленный на специальном стенде до соответствующих параметров (температура, относительная и абсолютная влажность, соотношение химических элементов, отсутствие, либо дозированное наличие посторонних включений и т.д.). Образованным пылевоздушным смесям задавались варианты значения динамики движения от состояния относительного покоя до ярко выраженного турбулентного движения. С помощью внесенных источников зажигания различной природы и создания, таким образом, предпосылок воспламенения (микрохлопка, микровзрыва) были исследованы параметры данных процессов, в том числе путем непрерывной регистрации в различных точках системы величин давления, расхода и концентрации аэровзвесей, параметров исполнительных механизмов и прочее.

Физико-математические методы позволили, в том числе и на основе полученных экспериментальных данных, выстроить модели процессов и разработать расчетные программы на ЭВМ. Для обработки массивов данных использовались пакеты математических программ MathCad и MathLab. Полученные сведения создали предпосылки для разработки и совершенствования способов и устройств по снижению взрывопожарной опасности предприятий отрасли хранения и переработки зерна и муки.

Среди достигнутых результатов можно выделить следующее.

1. Разработана и апробирована на практике методика проведения экспериментов.

2. Получен массив опытных данных, характеризующих динамику процессов равновесия, горения и взрыва пылевоздушных смесей органического происхождения (аэровзвесей, аэрогелей) и распространения энергии взрыва (хлопка) по локальным полостям. Опытные данные были необходимы с целью уточнения граничных условий и параметров указанных процессов. Отличительной особенностью полученных опытных данных по сравнению с аналогами является наличие массива данных многоточечного непрерывного отслеживания и регистрации на ЭВМ таких важнейших параметров, как концентрация, расход и давление пылевоздушных смесей. Это позволило более полно изучить динамику процессов возгорания и взрыва.

3. Получены полуэмпирические модели процессов возгорания органических пылей (аэровзвесей) и распространения энергии взрыва (хлопка) по полостям транспортного и технологического оборудования. Указанный физико-математический аппарат используется для нахождения комплекса данных, характеризующих условия и параметры процессов, что, учитывая многообразие технических средств и способов переработки растительного сырья, представляется важным. Отличительной особенностью полученных моделей и их программного обеспечения является возможность оперативного проведения вариационных расчетов с заданием самых различных исходных данных и граничных условий.

4. Разработаны новации, включающие предложения по изготовлению устройств, снижающих взрывопожарную опасность процессов переработки растительного сырья. В их числе:

а) Модернизация системы локализации взрыва (существующие аналоги: быстродействующие задвижки У2-БЗБ, У2-БЗБ02). Как показали исследования, ударная волна, сопровождающаяся повышением давления (на которое реагирует первичный датчик давления с порогом срабатывания ≥ 500 Па), является лишь последней фазой возникновения взрыва. Зачастую в нориях и другом оборудовании возникает лишь вспышка, которая только при последующем попадании продуктов сгорания в силос или бункер преобразуется в мощную ударную волну (эффект вторичного взрыва). Таким образом, использование быстродействующих задвижек значительно снижает, но отнюдь не гарантирует возникновение мощного вторичного взрыва. Предлагается использовать систему, в основе которой будет первичный датчик-индикатор взрыва, реагирующий не на давление, а на температуру. Кроме того,

здесь же предлагается использовать дополнительный датчик, например, датчик положения, отключающий оборудование при срыве мембраны на взрыворазрядителе. Место установки этих датчиков и задание порогов их срабатывания строго индивидуально в каждом случае. Все параметры рассчитываются с помощью разработанной модели.

б) Быстродействующая задвижка. Как показали исследования, время полного срабатывания современных быстродействующих задвижек находится в диапазоне 0,4...0,8 с. При скорости распространения энергии первичного взрыва (хлопка) в 80 м/с и более этого абсолютно недостаточно. Разработана принципиально новая быстродействующая задвижка гильотинного типа с пневмоцилиндром в качестве исполнительного органа. Расчетный порог ее срабатывания 0,05...0,1 с, что, в схеме с ранее описанной системой первичных датчиков, позволяет решить проблему своевременного перекрытия коммуникаций.

в) Система взрывозащиты молотковых дробилок. Исследования убедительно подтвердили предположения некоторых ученых о том, что взрыв в молотковой дробилке может быть только при работе на холостом ходу. Под нагрузкой взрыв действительно невозможен вследствие наличия в полости дробилки такого значения концентрации пыли, которая снижает содержание кислорода в воздухе до величин, делающих невозможной химическую реакцию горения. Наши предложения сводятся к тому, чтобы постоянно обеспечить в дробилке значение концентрации пыли выше верхнего предела воспламенения. Это предлагается сделать с помощью системы датчиков верхнего и нижнего уровня, сигнал от которых поступает на задвижки, размещенные на подводных коммуникациях. Место установки этих датчиков и задвижек также строго индивидуально в каждом случае. Все параметры рассчитываются с помощью разработанной модели.

В настоящее время массив полученных опытных данных, а также расчетная модель используется при проведении экспертиз промышленной безопасности опасных производственных объектов хранения и переработки растительного сырья для оценки степени опасности с точки зрения пожаров и взрывов тех или иных технологических процессов. Инновационные перспективы предлагаемых технических разработок, по нашим оценкам, могут достигать только в нашей стране 150...180 млн. руб. ежегодно. В основе такой оценки следующие факторы:

а) Анализ рынка показывает, что только в России функционируют более 30 тыс. предприятий по переработке растительного сырья; на этих предприятиях функционируют более 350 тыс. технических уст-

ройств, объектом модернизации которых выступают предлагаемые новации.

б) Период окупаемости вложенных средств – не более 3...5 месяцев, в том числе и за счет низких капиталовложений, которые требуются для внедрения.

Разработанные устройства по снижению взрывопожарной опасности процессов переработки растительного сырья находятся на стадии опытно-конструкторской проработки. Далее, после изготовления экспериментальных образцов, в соответствии с требованиями законодательства, будет происходить их сертификация, а уже после этого, при наличии положительного результата, опытное внедрение. Мы считаем, что достигнутый результат сделал еще один шаг к пониманию природы процессов, происходящих в критических режимах функционирования пылевоздушных органических смесей, позволил получить более полный опытный и расчетный материал, описывающий динамику протекания этих процессов, и создал условия для разработки и внедрения новых или модернизации уже известных технических устройств взрывозащиты и взрывопредупреждения.

Результаты работы получили признание на федеральном уровне. Работа стала победителем конкурса "Безопасность и противодействие терроризму", который проводился Министерством образования и науки России в 2005 г.

СОДЕРЖАНИЕ

АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПНЕВМОТРАНСПОРТА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ К.А. Мухопад, В.П. Тарасов.....	3
ПНЕВМОСЕПАРИРОВАНИЕ ЗЕРНА НА КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОВЕРХНОСТИ О.Н. Терехова, И.А. Ерёмин.....	12
ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНЫЙ КЛАССИФИКАТОР В.Г. Плотников, В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова.....	19
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ В КОЛЬЦЕВОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПНЕВМОКЛАССИФИКАТОРА В.Л. Злочевский, О.Н. Терехова, И.А. Ерёмин.....	23

ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ ПОСЛЕ УДАРА О СТЕНКУ ПНЕВМОСЕПАРАЦИОННОГО КАНАЛА В ЦЕНТРОБЕЖНОМ ПОЛЕ СИЛ М.А. Седешев, В.Л. Злочевский.....	35
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕПАРИРОВАНИЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА НА РЕШЕТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СО СЛОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В.Л. Злочевский, С.В. Тарасевич.....	39
ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ В.В. Савинков.....	44
ПУТИ СНИЖЕНИЯ РАЗМЕРОВ БАРАБАННЫХ ЯЧЕЙСТЫХ ДОЗАТОРОВ В.П. Тарасов, А.В. Тарасов.....	47
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАГРУЗОЧНОЙ КАМЕРЫ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ШНЕКОВОГО ПИТАТЕЛЯ В.П. Тарасов, Е.С. Лямкин, А.В. Тарасов.....	52
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ШНЕКОВЫХ ПИТАТЕЛЕЙ НАГНЕТАЮЩИХ ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК В.П. Тарасов, Е.С. Лямкин, А.А. Илюшников.....	56
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНА И ЗЕРНОПРОДУКТОВ АППАРАТНЫМ МЕТОДОМ З.Э. Гарш, В.С. Лузев.....	59
ГИДРОИМПУЛЬСНАЯ КАВИТАЦИОННАЯ ПОДРАБОТКА СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ В.Е. Горяев, Е.В. Горбылева.....	64
МАКАРОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ В.Г. Курцева, Т.Н. Баскакова.....	68
НАПРАВЛЕНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА	

В.Л. Злочевский.....	73
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ Н.Н. Гаркуша, С.О. Игуменов, В.П. Тарасов	82
МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ В ПОЛЕ ИНЕРЦИОННЫХ СИЛ ПО ВИНТОВЫМ НАПРАВЛЯЮЩИМ ПНЕВМОСЕПАРАЦИОННОГО КАНАЛА В.Л. Злочевский, М.А. Седешев.....	88
К ВОПРОСУ О СУЩНОСТИ КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУПООТДЕЛЕНИЯ Е.М. МЕЛЬНИКОВА С.Н. Брасалин	95
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ГРЕЧИХИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ МУКИ Л.В. Анисимова, С.В. Якушев, М.А. Корнеев	98
МАКАРОННЫЕ СВОЙСТВА СМЕСЕЙ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ И ГРЕЧНЕВОЙ МУКИ Л.В. Анисимова, С.В. Якушев, Л.И. Кострова, Е.П. Дробышева ...	102
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА И МУКИ В.С. Лузев, Л.В. Устинова, Л.Е. Мелешкина, Т.Ю. Молодых.....	105
ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИЙ ВЛАГОМЕР ЗЕРНОВОЙ ПРОДУКЦИИ В ПОТОКЕ А.И. Тищенко, В.К. Федотов, В.С. Афонин, Д.П. Домашкин	110
НОВЫЕ ВИДЫ СОКОВ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ В.Н. Тимофеева, А.В. Черепанова.....	114
О РАСЧЕТЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СПИРАЛЬНО- ВИНТОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ В.П. Коцюба, О.В. Нагорнова	122
РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ СОРТИРОВКИ АКТИВНЫМ УГЛЕМ	

В.П. Коцюба, Е.С. Дикалова	126
РАЗРАБОТКА ИНТЕНСИВНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ ЗЕРНА Г.А. Васильева, Т.Б. Минакова	129
ПОВЫШЕНИЕ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ А.А. Глебов, В.Е. Герден, В.А. Бортников, Л.Н. Коос, С.Е. Погодин	130