

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**Государственная организация высшего профессионального образования
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭКОНОМИКИ
И ТОРГОВЛИ ИМЕНИ МИХАИЛА ТУГАН-БАРАНОВСКОГО»**

**ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Тематический сборник научных работ

Выходит четыре раза в год

Издаётся с 1998 г.

Выпуск 2(35)

**Донецк
2017**

УДК 664.002.5
ББК 36

Рекомендовано к печати Учёным советом Государственной организации высшего профессионального образования «Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского» (протокол № 2 от «22» ноября 2017 г.)

Сборник входит в Перечень научных специализированных изданий, утвержденный ВАК ДНР, в которых могут публиковаться основные научные результаты диссертационных работ.

Приказ №1134 от 01.11.2016 г.

Свидетельство о регистрации № 000057 от 28.10.2016г.

Коллектив авторов

Оборудование и технологии пищевых производств: темат. сб. науч. раб. / Глав. ред. И.Н. Заплетников. – 2017. – Вып. 2(35). – 145 с.

В сборнике научных трудов помещены материалы, в которых раскрыты результаты исследований в области разработки и исследования пищевого и торгово-технологического оборудования, разработки новых технологий производства продуктов питания.

Рассмотрены отдельные аспекты технического уровня и качества оборудования; автоматизация производственных процессов; приборные методы исследования пищевых продуктов; новые технологии производства продуктов питания, повышения их пищевой ценности и улучшения потребительских качеств.

УДК 664.002.5
ББК 36

Адрес редакционной коллегии сборника:
83050, г. Донецк, ул. Щорса, 31

© Государственная организация высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», 2017

Главный редактор	Игорь Николаевич Заплетников, д-р техн. наук
Заместитель главного редактора	Алла Дмитриевна Гладкая, канд. техн. наук
Ответственный редактор	Владимир Николаевич Ветров, канд. техн. наук
Технический секретарь	Ирина Сергеевна Севаторова
Члены редакционной коллегии	<p>Александр Николаевич Горин, д-р техн. наук; Анатолий Никитович Поперечный, д-р техн. наук; Сергей Анатольевич Соколов, д-р техн. наук; Вера Григорьевна Топольник, д-р техн. наук; Анна Федоровна Коршунова, канд. техн. наук; Константин Адольфович Ржесик, канд. техн. наук; Виктория Викторовна Карнаух, канд. техн. наук; Наталья Викторовна Кравченко, канд. техн. наук <i>(Государственная организация высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского»; Донецк, ДНР);</i></p> <p>Инна Григорьевна Дейнека, д-р техн. наук <i>(Государственная образовательная организация высшего профессионального образования «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»; Луганск, ЛНР).</i></p>

РАЗРАБОТКА ПРОГРЕССИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 664.3

С.В. Владимиров, канд. техн. наук

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени
Михаила Туган-Барановского», г. Донецк, e-mail: smith@i.ua

К ВОПРОСУ РАСЧЁТА ОБЪЁМНЫХ ПОРЦИОННЫХ ДОЗАТОРОВ СЫПУЧИХ ТЕЛ

S.V. Vladimirov, Cand. Sci. (Tech)

SO HPE «Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail
Tugan-Baranovsky», Donetsk, e-mail: smith@i.ua

TO THE QUESTION OF THE CALCULATION OF VOLUMETRIC BATCH DOSING LOOSE BODIES

Цель. Целью является создание объемного дозатора обладающего повышенной точностью дозирования.

Методика. Обработка полученных данных позволит применять полученные данные при проектировании объемных дозаторов.

Результаты. По результатам можно судить, что мерная емкости объемного дозатора может быть любой формы.

Практическое значение. Полученные уравнения позволяют находить оптимальные скорости истечения продукта из вертикальных труб различных видов объемных дозаторов.

Ключевые слова. *Объемный дозатор, сыпучее тело, мерная емкость, сопротивление воздуха, гравитационные силы.*

Технологические процессы многих отраслей промышленности включают в себя операцию порционирования (дозирования) перерабатываемых (или же вырабатываемых) продуктов. Поэтому дозатор - один из наиболее широко распространенных типов машин.

В упаковочной отрасли дозатор - важнейшая по своему значению машина (и в качестве самостоятельной единицы, и в качестве узла упаковочной машины). Большинство существующих на сегодняшний день конструкций

дозаторов представляют собой достаточно сложную физико-механическую систему, находящуюся подчас под контролем дорогостоящих электронных и микропроцессорных блоков управления [1,4,5].

Анализ возможных направлений создания машин для фасовки ряда сыпучих тел (крупы, сахар и т.д.), исключающих недостатки ранее разработанных конструкций, показал, что наиболее эффективны объемные дозаторы или комбинированные (объемно-весовые).

Объемным дозатором является мерное устройство, дозирующее продукт по принципу заполнения свободного пространства (объема). Более простыми словами, объемный дозатор - это стакан, заполнение полости которого и является объемным способом дозирования.

Объемный дозатор, чаще всего, - горизонтальный барабан, содержащий в себе набор металлических "стаканов" с одной стороны заполняется сыпучим продуктом из бункера дозатора, а с другой - подает этот продукт в упаковочный автомат. Соответственно, доза упакованного продукта будет равна объему "стакана", находящегося в барабане [2].

Создание рациональных конструкций объемных дозаторов сыпучих тел связаны с разработкой теоретических основ расчёта его элементов, в том числе и разгрузочных устройств. К сожалению, в литературе не имеется данных, позволяющих выполнять данные расчёты [3].

Теоретическая работа направлена на определение времени истечения сыпучего тела из мерной ёмкости, что позволяет определить геометрические параметры разгрузочного устройства или время выстоя мерной ёмкости в зоне выгрузки.

При аналитических исследованиях было принято что:

- сопротивление воздуха незначительно влияет на скорость перемещения тела, так как её величина мала;
- отсутствует поворот частиц при взаимодействии их со стенкой в связи с тем, что при этом необходимо преодолеть не только силы трения, но и нормальные силы со стороны окружающих частиц;
- движение начинается из состояния покоя;
- сыпучее тело подчиняется закону Гука.

Считали, что скорость падения продукта изменялась от 0 до некоторой постоянной величины и сила сопротивления продвижению среды уменьшается пропорционально ее скорости до некоторой постоянной величины. Тогда уравнение движения слоя сыпучего тела (рис.1) можно записать:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} = Mg - f 2\pi R H \frac{dx}{dt}, \quad (1)$$

где: M - масса дозы, кг;

$$M = \pi R^2 H \gamma;$$

γ - насыпная масса, кг/м³;

f – коэффициент сопротивления на единицу площади соприкосновения
(принят для удобства расчётов), $\frac{H \cdot c}{i^3}$;

q – ускорение свободного падения, m/c^2 ;

R – радиус мерной ёмкости, m ;

H – высота мерной ёмкости, m .

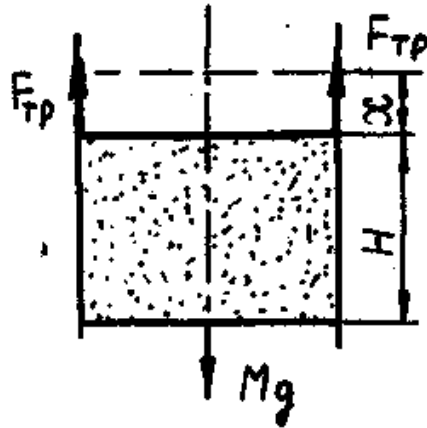


Рисунок 1 - Силовое взаимодействие продукта, движущегося под действием гравитационных сил, с мерной ёмкостью

В качестве начальных условий возьмем следующие:

$$X(0) = 0; \left(\frac{dx}{dt}\right) = 0 \quad (2)$$

Уравнение (1) можно записать

$$\frac{d^2x}{dt^2} = g - \alpha \frac{dx}{dt}, \quad (3)$$

где $\alpha = \frac{2\pi R H f}{M}$, c^{-1}

Используя преобразование Лапласа:

$$X = \int_0^{\infty} x(t) e^{-pt} dt \quad (4)$$

к уравнению (3) с учетом условий (4). Тогда

$$px^2 = \frac{g}{p} - \alpha p \quad (5)$$

Отсюда: для изображения функций $X(t)$ будем иметь:

$$X = \frac{g}{P^2(P + \alpha)} \quad (6)$$

Так как

$$\frac{g}{P^2(P + \alpha)} = \frac{g}{\alpha} \cdot \frac{1}{P^2} - \frac{g}{\alpha^2} \cdot \frac{1}{P} + \frac{g}{\alpha^2} \cdot \frac{1}{P + \alpha},$$

то переходя к оригиналу, получим расчетную формулу для пути прохождения порций фасуемого тела в мернике:

$$x(t) = -\frac{g}{\alpha^2} (1 - e^{-\alpha t}) + \frac{g}{\alpha} t \quad (7)$$

Уравнение 1 можно решить и иным способом приняв

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (8)$$

где v - скорость центра масс порции, м/с.

Уравнение (3) примет вид:

$$\frac{dv}{dt} = g - \alpha v \quad (9)$$

Переменные разделяются

$$\frac{dv}{g - \alpha v} = dt \quad (10)$$

Отсюда

$$-\frac{1}{\alpha} \ln(g - \alpha v) = t + c \quad (11)$$

C_1 - постоянная интегрирования

Так как при $t = 0, v = 0$, то

$$C_1 = -\frac{1}{\alpha} - \ln g \quad (12)$$

Внося это значение в формулу (11) получим

$$\frac{1}{\alpha} \ln \frac{g}{g - \alpha v} = t \quad (13)$$

Поскольку

$$g - \alpha v = g e^{-\alpha t}$$

то скорость движения слоя

$$v = \frac{g}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) \quad (14)$$

Согласно (9) имеем:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{g}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) \quad (15)$$

тогда, выполняя интегрирование, найдем:

$$X = \frac{g}{\alpha} \left(t + \frac{1}{\alpha} e^{-\alpha t} \right) + C_2 \quad (16)$$

где C_2 - постоянная интегрирования.

При $t = 0$; $X = 0$, а тогда

$$C_2 = -\frac{g}{\alpha^2} \quad (17)$$

Значит:

$$x(t) = -\frac{g}{\alpha^2} (1 - e^{-\alpha t}) + \frac{g}{\alpha} t,$$

(18)

что совпадает с формулой (7). Это позволяет утверждать, что расчёты проведены корректно.

Если длина мерника равна L , то время t - пребывания слоя продукта в нем определяется из трансцендентного уравнения

$$L = \frac{g}{\alpha^2} t - \frac{g}{\alpha^2} (1 - e^{-\alpha t}) \quad (19)$$

Для длинных мерников $e^{-\alpha t} \ll 1$:

$$t = \frac{\alpha}{g} \left(L + \frac{g}{\alpha^2} \right) \quad (20)$$

Для мерников с малым коэффициентом трения скольжения

$$1 - e^{-\alpha t} \approx 0;$$

и, следовательно:

$$t = \frac{L \cdot \alpha}{g} \quad (21)$$

Результаты могут быть применены к любой мерной емкости, не обязательно с круговым сечением.

Полученные уравнения могут найти применение не только при расчёте разгрузочных устройств рассматриваемых видов дозаторов, но и при определении скорости истечения сыпучего тела из вертикальных трубах.

Литература

1. А. с. 1796909 СССР МКЛ³ G 01 F 11/34. Дозатор для сыпучих материалов / Д. В. Ильницкий, С. С. Карабинеш, В. И. Стрижевский, В. Н. Голопапа, А. Н. Соколенко (СССР). - № 4875030/10 ; заявл. 16.10.90 ; опубл. 23.02.93, Бюл. № 7. – 4 с.: ил.
2. Выбор дозирующего устройства [Электронный ресурс] / под. ред. Э. Г. Розанцева // ABC Справочник. Способы упаковки. – СПб. : Calculate Pack, 2000-2008. – Электрон. дан. (27592 байт). - Режим доступа: <http://www.calculate.ru/book-packing-11.html>. - Загл. с экрана.
3. Гячев Л. В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л. Гячев. - М. : Машиностроение, 1968. - 184 с.
4. Наши специалисты о фасовке [Электронный ресурс] // НПП Техмаш. Наши технологии в жизнь / ООО "НПП Техмаш". – Электрон. дан. (37861 байт). - Чайковский, 2006 - Режим доступа: <http://www.nppt.ni/news/2152.htm>. - Загл. с экрана.
5. Фасовочно - упаковочные автоматы для сыпучих продуктов [Электронный ресурс] // Мастерская своего дела: оборудование для малого и среднего бизнеса, производство, бизнес план. – Электрон. дан. – Александрия, Кировоград. обл. – Режим доступа: http://www.msdc.com.ua/books/libery/002/02_07.htm. – Загл. с экрана.

Goal. The goal is to create volumetric dosing with high accuracy of dosing.

Technique. The obtained data will allow to apply the received data in the design of bulk dispensers.

Results. The results can be seen that the volumetric capacity volumetric dispenser can be any shape.

Practical value. The resulting equations enable us to find optimal flow rate of the product of the vertical pipes of various types of bulk dispensers.

Key words. *Volumetric dosing, loose body, measuring capacity, air resistance, gravitational force.*

Статья рекомендована к публикации доцентом кафедры оборудования пищевых производств ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», кандидатом технических наук Корнийчуком В.Г.

Дата поступления рукописи 24.10.2017г.

УДК 664.084.2:534.647(075.8)

И.Н. Заплетников, д-р техн. наук, профессор, **А.В. Гордиенко**, канд. техн. наук, **А.К. Пильненко**, канд. техн. наук, **А.П. Лукьянченко**, магистрант
ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени
Михаила Туган-Барановского», г. Донецк, e-mail: obladn@kaf.donnuet.edu

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕВЕРБЕРАЦИОННОЙ КАМЕРЫ ЛАБОРАТОРИИ ВИБРОАКУСТИКИ ДОННУЭТ

I.N. Zapletnikov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, **A.V. Gordienko**, Cand. Sci. (Tech.),
A.K. Pilnenko, Cand. Sci. (Tech.), **A.P. Lukyanchenko**, undergraduate
SO HPE «Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail
Tugan-Baranovsky», Donetsk, e-mail: obladn@kaf.donnuet.edu

INVESTIGATION OF THE ACOUSTIC PARAMETERS OF THE REVERBERATION ROOM LABORATORY VIBROACOUSTICS DONNUET

Целью статьи является экспериментальное определение времени реверберации в акустической камере для качественной ее оценки.

Результаты. В ходе проведения экспериментальных исследований установлено, что среднее реверберационное время остается постоянным во всех точках измерений и находится в пределах 3-ех секунд. Средний коэффициент звукопоглощения в помещении $\alpha_0=0,04$, при допустимом значении 0,06. Полученный результат является вполне приемлемым по полученным характеристикам акустической камеры.

Научная новизна. Измеренное реверберационное время T позволяет определить коэффициент звукопоглощения α_0 в реверберационной камере для оценки ее акустических параметров.

Практическая значимость. Полученные результаты свидетельствуют о том, что реверберационная камера лаборатории виброакустики ДонНУЭТ соответствует требованиям, предъявляемым к камерам таких типов, и вполне может быть использована для исследований на современном уровне виброакустических характеристик пищевого оборудования.

Ключевые слова: *реверберация, акустические свойства, реверберационное время, звуковая мощность, реверберационная камера, коэффициент звукопоглощения.*

Постановка проблемы в общем виде. Реверберационное время замкнутого объема является важной характеристикой его параметров с точки зрения акустики [1]. На сегодняшний день разработаны нормативные документы только для зрительных залов, реверберационное время для которых является основополагающей характеристикой. Для всех остальных помещений,

в том числе связанных с производством разработан только общий стандарт, что является недоработкой в этом вопросе.

Согласно ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013 «Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы» [2] реверберационное время T , с - это период времени, в течение которого уровень звукового давления в замкнутом объеме снизится на 60 дБ относительно исходного значения после выключения источника звука. Реверберационное время возможно определить на ином, чем 60 дБ, диапазоне с последующей экстраполяцией на всем диапазоне изменения графика падения. При этом используют специальные обозначения. Соответственно, если измерять время реверберации по графику падения в диапазоне 10...35 дБ его выражают как T_{30} . Измеряя реверберационное время в диапазоне графика падения 10...45 дБ его выражают как T_{40} . Реверберация присутствует в тех местах, в которых наблюдаются множественные звуковые отражения.

Анализ последних исследований и публикаций, выделение нерешенных задач. Строение изнутри является некоторым сочетанием нескольких вибраций с множеством собственных частот. Каждая из вибраций имеет свой коэффициент затухания, на который оказывает влияние звукопоглощение ограждающих конструкций и диффузия звукового поля. Вследствие этого вибрации, имеющие различные частоты колебания гаснут с различной интенсивностью. Чем ниже скорость затухания вибраций, тем более существенное воздействие оказывает реверберация. Если длина волны значительно выше габаритов строения, то вибрацию позволительно считать постоянной.

Всякий звук создает в закрытом объеме звуковое поле. Это является результатом множественных отражений звука внутри объема от ограждающих конструкций.

Когда сгенерировать внутри замкнутого объема звук, а потом резко его устранить, то он сразу не исчезнет. При этом он создаст звуковое поле, которое с течением времени будет угасать вследствие эффекта звукопоглощения ограждающими конструкциями объема. Время полного исчезновения звукового поля зависит, прежде всего, от физико-механических свойств ограждающих конструкций и габаритов объема. Проще говоря, реверберационное время это тот период, в течение которого после устранения звукового сигнала мощность звукового поля, созданного им, снизится в 10^6 раз. То есть период времени, в течение которого звуковая мощность в замкнутом объеме снизится на 60 дБ относительно своего первоначального значения.

Реверберационное время зависит от материалов покрытия стен помещения, а именно их звукопоглощающими параметрами. Для различных строений они являются естественно различными. Важной характеристикой является реверберационное время, которое характеризует акустические параметры строения. На рисунке 1 приведены значения времени реверберации для помещений и залов различного назначения (СП 51.13330.2011 Свод правил, «Защита от шума», актуализированная редакция СНиП 23-03-2003) [3].

Замеры реального показателя реверберационного времени в строении обеспечивает осуществимость расчета материала покрытия стен, что даст возможность получить реверберационное время в требуемом диапазоне.

Поэтому целью данной работы является экспериментальное определение времени реверберации в акустической камере для качественной ее оценки.

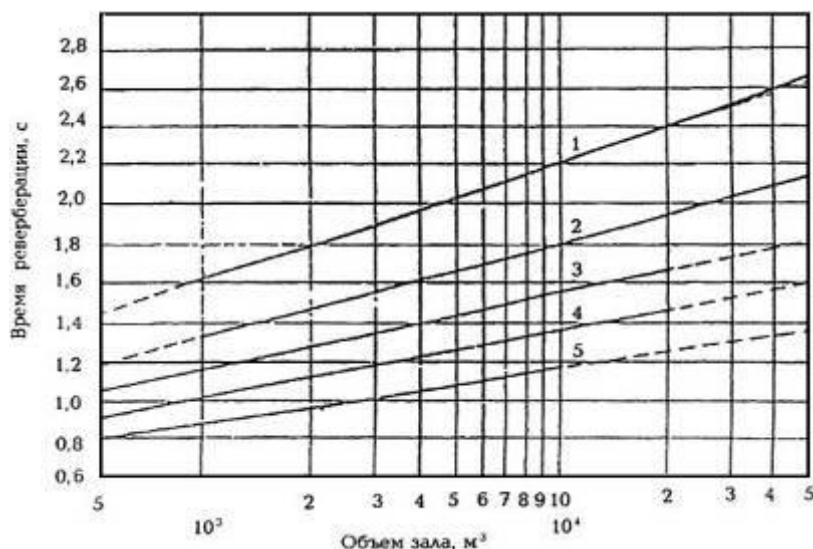


Рисунок 1 – Рекомендуемое реверберационное время на средних частотах (500-1000 Гц) для залов различного назначения в зависимости от их объема: 1 - залы для ораторий и органной музыки; 2 - залы для симфонической музыки, залы оперных театров; 3 - залы для камерной музыки, залы музыкально-драматических театров; 4 - залы многоцелевого назначения, залы драматических театров; 5 - лекционные залы, заседаний, концертные залы современной эстрадной музыки, пассажирские залы, залы ожиданий, спортивные залы.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов. Звуковая мощность падает во времени по линейному закону. Зависимость, по которой можно определить реверберационное время (т.е. звуковая мощность уменьшится в 1 миллион раз) имеет вид:

$$T = -\frac{0,162V}{S_{\text{огр}} \ln(1 - \alpha_0)} = \frac{0,162V}{4mV - S_{\text{огр}} \ln(1 - \alpha_0)}, \quad (1)$$

где: V – объем строения; $S_{\text{огр}}$ – площадь ограждающих конструкций строения; α_0 – коэффициент звукопоглощения; m – интенсивность звуковой волны [4].

Зависимость (1) называется формулой Эйринга. При низких значениях α_0 принимается: $\ln(1 - \alpha_0) \approx -\alpha_0$, и из зависимости (1) выходит формула Сэбина:

$$T = -\frac{0,162V}{A} = \frac{0,162V}{(\alpha_0 S_{\text{огр}})}, \quad (2)$$

где A – эквивалентная площадь звукопоглощения помещения.

Эквивалентная площадь звукопоглощения A , м^2 - площадь поверхности с коэффициентом звукопоглощения $\alpha_0=1$, которая при однородном распространении звуковой энергии могла бы вобрать столько же звука, как вся поверхность строения и предметы в ней. Находится по зависимости:

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 \dots = \alpha_{\text{ср}} S, \quad (3)$$

где α_i – коэффициент звукопоглощения i -ой ограждающей поверхности помещения и отдельных поверхностей помещения площадью S_i ;

S – суммарная площадь ограждающих конструкций строения;

$\alpha_{\text{ср}}$ – средний коэффициент звукопоглощения строения.

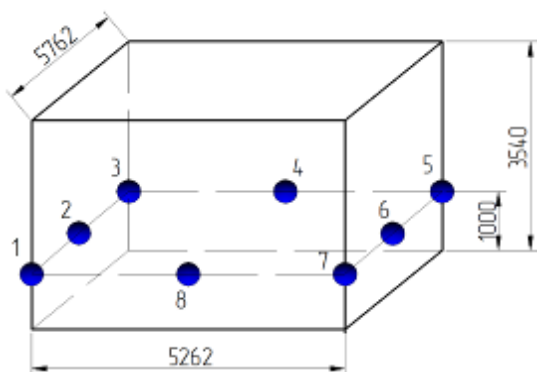
С помощью вышеуказанной зависимости можно высчитать реальный коэффициент звукопоглощения по замеренному реверберационному времени. Коэффициент звукопоглощения α_0 - поглощаемая часть энергии звука попадающей на плоскость преграды. Амплитуда и частота оказывают влияние на коэффициент звукопоглощения [4]. Звукопоглощение – это параметр, влияющий на потери звуковой энергии при попадании звука на все конструкции строения и утраты в процессе диффузии.

Постоянная помещения (величина V) характеризующая звукопоглощение в строении определяется по зависимости [4]:

$$V = \frac{A}{1 - \alpha_{\text{ср}}}, \quad (4)$$

Проектируя реверберационную камеру необходимо обеспечивать наиболее низкий коэффициент звукопоглощения в ней. Для обеспечения достаточно продолжительного реверберационного времени для создания отраженного звукового поля звукопоглощение в камере должен быть незначительно. Коэффициент звукопоглощения всех строительных конструкций реверберационной камеры в необходимом интервале частот должен быть не более 0,06. Такие параметры камеры обеспечиваются созданием железных или окрашенных цементных стен (без щелей), которые не поглощают звуковую энергию.

Замеры проводились в лаборатории виброакустики кафедры оборудования пищевых производств ДонНУЭТ в камере реверберации объемом 106,75 м^3 в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 3382-2-2013 «Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 2. Время реверберации обычных помещений» [2]. Реверберационное время (в течение которого уровень звукового давления после выключения источника звука уменьшается на 60 дБ) фиксировалось при помощи электронного секундомера, а уровень звукового давления аттестованным шумомером «Ассистент» (Россия) по скорректированному A уровню звука. Излучатель шума звуковой мощностью 120 Вт располагался в центре камеры. Микрофон устанавливался в 4-ех углах камеры и по центру 4-ех стен (рисунок 2). Результаты измерений приведены в таблице и на рисунке 3.



а



б

Рисунок 2 – Экспериментальное определение реверберационного времени в акустической камере: *а* - схема расположения точек установки микрофона; *б* - фотография эксперимента

Таблица - Результаты экспериментальных исследований времени реверберации в акустической камере

Место установки микрофона	Реверберационное время, Т, с	Коэффициент звукопоглощения в помещении, α_0
Точка 1	3,3	0,0379
Точка 2	3,04	0,0411
Точка 3	3	0,0417
Точка 4	3,16	0,0396
Точка 5	3,02	0,0414
Точка 6	2,98	0,0420
Точка 7	3,08	0,0406
Точка 8	3,1	0,0403

В результате проведения экспериментальных исследований установлено, что среднее реверберационное время остается постоянным во всех точках измерений и находится в пределах 3-ех секунд.

Используя формулу 2 можно определить средний коэффициент звукопоглощения в помещении α_0 . После вычислений получаем $\alpha_0=0,04$.

Полученный результат является вполне приемлемым по полученным характеристикам акустической камеры.

Выводы по указанным проблемам и перспективы дальнейших исследований в представленном направлении. Определен реальный коэффициент звукопоглощения в реверберационной камере (α_0). Установлено, что исследуемая акустическая камера соответствует IV типу реверберационных камер, а также отвечает требованиям, предъявляемым к камерам таких типов, и может использоваться для исследований на современном уровне виброакустических характеристик пищевого оборудования.

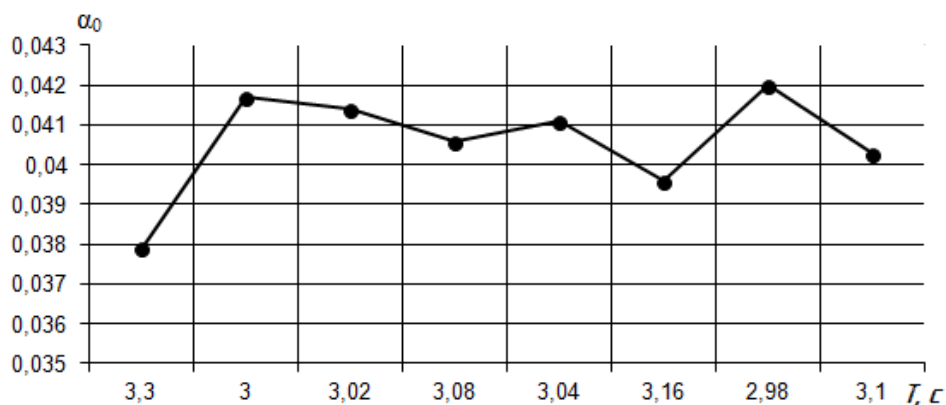


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента звукопоглощения в помещении (α_0) от реверберационного времени в акустической камере (T, с)

Литература

1. Андриющенко, А.К. Время реверберации как критерий оценки акустических параметров производственных помещений [Текст] / А.К. Андриющенко // Акустика среды обитания. - 2016. - С. 24-32.
2. ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы [Текст]. Дата введения 2014-12-01.
3. СП 51.13330.2011. Свод правил. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 [Текст]. Дата введения 2011-05-20.
4. ГОСТ Р 52797.1-2007 (ИСО 11690-1:1996). Акустика. Рекомендуемые методы проектирования малозумных рабочих мест производственных помещений. Часть 1. Принципы защиты от шума [Текст]. Дата введения 2008-07-01/

Objective. The aim of the article is the experimental determination of the reverberation time in the acoustic chamber for its qualitative evaluation.

Results. During experimental studies found that the average reverberation time remains constant at all points of measurement, and within 3 seconds ex. Average sound absorption coefficient $\alpha_0=0.04$ in the room, at an acceptable value of 0.06. The result is quite acceptable on the received acoustic characteristics of the camera.

Scientific novelty. The measured reverberation time T to determine the sound absorption coefficient in a reverberation chamber to assess its acoustic parameters.

Practical value. The results indicate that the reverberation camera of the laboratory vibroacoustics DonNUET meets the requirements of these types of cameras, and it could be used for research on the present level of vibroacoustic characteristics of food processing equipment.

Keywords: *reverb, acoustic properties, reverb time, sound power, reverberation chamber, the sound absorption coefficient.*

Статья рекомендована к публикации доцентом кафедры оборудования пищевых производств ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», кандидатом технических наук Корнийчуком В.Г.

Дата поступления рукописи 04.04.2017г.

УДК 641.5.06:620,111

**И.Н. Заплетников, д-р техн. наук, профессор, И.С. Севаторова,
С.В. Канибер**

ГО ВПО "Донецкий национальный университет экономики и торговли имени
Михаила Туган-Барановского, г. Донецк, e-mail: oblagn@kaf.donnuet.education

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ С УЛУЧШЕННЫМИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**I.N. Zapletnikov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, I.S. Sevatorova, S.V. Kaniber,
undergraduate**

SO HPE «Donetsk National University of Economics and Trade named after
Mykhailo Tugan-Baranovsky», Donetsk, e-mail: oblagn@kaf.donnuet.education

RECOMMENDATIONS FOR DESIGNING EQUIPMENT WITH REFINED VIBROACOUSTIC CHARACTERISTICS

Цель. Разработка рекомендаций по проектированию оборудования с
улучшенными виброакустическими характеристиками.

Методика. Шумовые характеристики оборудования определены
экспериментальным путем методом 4 по ГОСТ 12.1.026-80 и методом 5 по
ГОСТ 12.1.028-80 в заглушенной камере, в условиях свободного звукового
поля, в лабораториях и производственных помещениях в различных режимах
работы.

Результаты. В ходе проведения экспериментальных исследований
получены шумовые характеристики различного технологического
оборудования предприятий питания, которые в достаточной степени
коррелируются с разработанными ранее статистическими прогнозирующими
моделями эволюции виброакустических характеристик. Полученные данные
позволили предложить ряд усовершенствований конструкций оборудования
для снижения его виброакустических характеристик.

Научная новизна. Разработаны рекомендации по проектированию
оборудования с улучшенными виброакустическими характеристиками.

Практическая значимость. Усовершенствованные конструкции машин
очистки корнеклубнеплодов типа МОК внедрены на предприятиях питания
г.Донецка. На машиностроительном заводе ЗАТ «Интертехника» г.Донецк
выпущена опытно-промышленная партия усовершенствованных машин МОК-
150М. Внедрение усовершенствованных машин МОК с повышенной
экологической безопасностью улучшили санитарно-гигиенические условия труда
персонала предприятий питания.

Ключевые слова: *виброакустическая характеристика, технологическое
оборудование, предприятие питания.*

С целью разработки конструктивных мер и рекомендаций, направленных
на снижение виброакустических характеристик (ВАХ) оборудования

предприятий питания необходимо дать экспериментальную оценку влияния виброакустических параметров оборудования, режимов его работы и источников ВАХ, а также получить их эмпирические модели. Решение этих задач выполнено в соответствии с разработанной методикой. ШХ определены экспериментальным путем методом 4 по ГОСТ 12.1.026-80 и методом 5 по ГОСТ 12.1.028-80 в заглушенной камере, в условиях свободного звукового поля, в лабораториях и производственных помещениях в различных режимах работы. ШХ оборудования исследовались методами 4 и 5, обладающими идентичной точностью в определенных условиях. В качестве эмпирических моделей ВАХ использовались статистические и виброакустические модели [1].

Полученные виброакустические, статистические прогнозирующие модели эволюции виброакустических характеристик позволяют математически описать закономерности формирования виброакустических процессов, возникающих в технологическом оборудовании, оценивать их изменения в процессе эксплуатации в период безотказной работы и прогнозировать перспективные значения ВАХ.

Установленные закономерности ВАХ позволяют предложить научно обоснованную методику их расчета в период проектирования оборудования.

Целью статьи является разработка рекомендаций по проектированию оборудования с улучшенными виброакустическими характеристиками.

Практическое использование теоретических моделей было бы неполным, если нет экономической оценки мер по улучшению ВАХ технологического оборудования.

На основании исследований виброакустических моделей технологического оборудования можно предложить следующие рекомендации по проектированию оборудования пищевых производств.

Для снижения виброактивности внутренних источников шума целесообразно стремиться к уменьшению площади излучающей поверхности механизмов, к снижению величины усилий на рабочем органе (технологической нагрузки на машину) и передаточной функции виброакустической системы.

В протирочных машинах к снижению технологической нагрузки приводит предварительное измельчение пищевых продуктов в рабочем органе и специальная ориентация режущих лезвий терочного диска. В хлеборезках - применение рабочих органов в виде серповидных ножей с максимальной величиной коэффициента скольжения. Конструкция режущих органов и корпусов оборудования должна обеспечивать свободное прохождение измельченного продукта в выгрузочное отверстие, а также отсутствие "мертвых зон", в которых забивается или налипает продукт. Загрузочные устройства должны обеспечивать равномерную подачу продукта к рабочему органу. Вращающиеся детали и узлы машины должны быть уравновешены.

К снижению уровня шума оборудования приводит применение вибродемпфированных конструкций: виброизоляция электродвигателя и натяжного устройства клиноременной передачи, виброизоляция корпусов редукторов или рабочих органов от несущей конструкции, абразивных

элементов от корпуса в картофелечистках, применение зубчатых колес в редукторах (мясорубки, взбивальные машины, хлеборезки, приводы и др.), выполненных из капролона, текстолита, смазка передач, замена подшипников качения подшипниками скольжения. Кроме того, могут быть использованы и ряд известных рекомендаций которые приводят к снижению уровня шума зубчатых передач: замена прямозубых передач косозубыми (до 5 дБ), фланкирование зубьев (до 6 дБ), уменьшение угла зацепления зубьев до 15° (до 8 дБ), применение бочкообразных зубьев с повышенной податливостью, повышенные точности передач и др. Наибольший эффект (до 20 дБ) достигается заменой цилиндрических редукторов червячными. Виброизоляция подшипников качения от корпуса машины происходит при установке под наружное кольцо подшипника втулки из капролона.

При ударном характере взаимодействия продукта со стенками рабочей камеры оборудования рекомендуется применять нанесение на наружные поверхности стенок вибро- и звукопоглощающие покрытия, например из пенополиуретана (картофелечистки).

Кроме виброизоляции внутренних источников шума целесообразно применять общую виброизоляцию оборудования.

К снижению структурного шума оборудования приводит увеличение жесткости листов облицовки корпусов машин, установка между рамой машины и листами облицовки слоя базальтового картона или матов из супертонкого базальтового волокна, покрытых полиэтиленом. Такие маты могут использоваться для местного экранирования источников повышенного шума внутри машины. Металлические листы облицовки целесообразно заменять листами из полистирола, металлопластами или листами типа "сэндвич".

Если предлагаемые конструктивные меры не снижают ВАХ оборудования до требуемых норм, следует применить звукоизолирующую конструкцию в виде кожуха (вибромоечная машина, взбивальная машина). Вместе с тем установка на неё звукоизолирующего кожуха приводит к следующим недостаткам: ограничивается доступ к машине, ухудшается охлаждение электродвигателя, возрастает стоимость.

В технологическом оборудовании предприятий питания, стоимость которого, в основном невысока, экономически целесообразно применение наиболее простых и дешевых методов подавления шума в источнике, вибро- и звукоизоляции внутренних источников шума и корпуса машины. Эти методы целесообразно использовать для снижения шума, как при конструировании оборудования, так и при его ремонте. Наибольший эффект достигается выбором средств улучшения ВАХ для конкретного оборудования и лишь после экспериментального исследования этих характеристик оборудования и его элементов.

Приведем рекомендации по снижению виброакустических характеристик на примере усовершенствованных машин очистки корнеклубнеплодов (МОК-350, МОК-150).

Оборудование имеет одинаковую кинематическую схему и идентичные источники виброакустических процессов. Источниками звуковой вибрации в

них являются электродвигатель, клиноременная передача, подшипниковый узел, корпус и процесс взаимодействия рабочего органа и рабочей камеры с продуктом.

Демпфирование колебаний электродвигателя достигается установкой под фланец электродвигателя или плиту его крепления (рисунок 1) четырех резиновых виброизоляторов (2) толщиной 4 мм с модулем упругости резины 4-6 МПа (тип резиновой смеси 137, 176,615,6311). Колебания, возникающие от работы клиноременной передачи и передающиеся на корпус машины через болт натяжного устройства, демпфируется установкой резинотканевой прокладки (3) типа бельтинг. Виброизоляция подшипникового узла машины достигается установкой пластмассовых стаканов (4) между корпусом и наружным кольцом подшипника. Стаканы (4) выполняются из капролона.

В картофелечистке МОК-350 целесообразно уменьшить жесткость вала рабочего органа или изменить частоту вращения электродвигателя на 720 об/мин мощностью 0,55 кВт и принять передаточное число 1,62 при диаметрах шкивов 125 мм и 200мм. Таким образом, система выйдет из резонансной частоты крутильных колебаний, создаваемой электродвигателем с частотой 1410 об/мин.

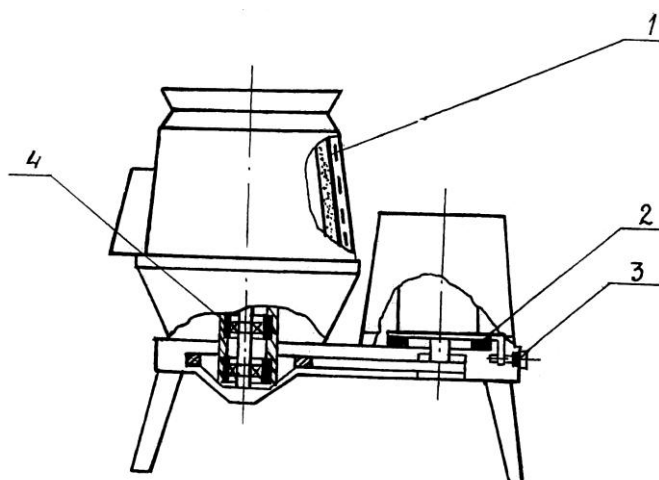


Рисунок 1 – Усовершенствование конструкции машины МОК-350

При взаимодействии продукта со стенками рабочей камеры при его очистке (МОК-350) возникает структурный шум. С целью вибропоглощения колебаний, передающихся к наружной поверхности рабочей камеры предлагается футеровать внутреннюю поверхность камеры листовой резиной (1) указанного выше типа.

Снижение шума внутреннего источника шума – электродвигателя достигается применением электродвигателя серии АИР с улучшенными шумовыми характеристиками.

Применение в качестве стенок рабочей камеры тонколистового стального перфорированного цилиндра (МОК-150) негативно сказалось на ВАХ машины. При очистке картофеля ВАХ возросли по сравнению с МОК-350 на низких частотах на 1-4дБ, средних - без изменений и на высоких частотах до 10дБ. Соответственно и превышение допустимых норм у машины МОК-150 выше,

чем у МОК-350, особенно на низких частотах. Целесообразно увеличить жесткость стенок рабочей камеры в машинах типа МОК-150 (рисунок 2).

Для улучшения ВАХ машины МОК-150 была проведена модернизация ее конструкции. В первом варианте рабочая камера (1) снаружи была облицована пенополиуретаном (ППУ), во втором варианте рабочая камера была облицована резинопровковым материалов (РПМ). В третьей модернизации к рабочей камере из ППУ добавилась замена алюминиевой крышки рабочей камеры на крышку из полистирола (11).

Четвертый вариант модернизации заключался в установке уплотняющего кольца из запененной резины между крышкой из полистирола и наружной стенкой корпуса машины. Исследование эффективности модернизаций проведено в реверберационной камере в аналогичных условиях при работе машины без продукта (ХХ) и при очистке картофеля (РХ). Результаты изменения ВАХ в октавных уровнях звуковой мощности и скорректированному по А представлены в таблице 1.

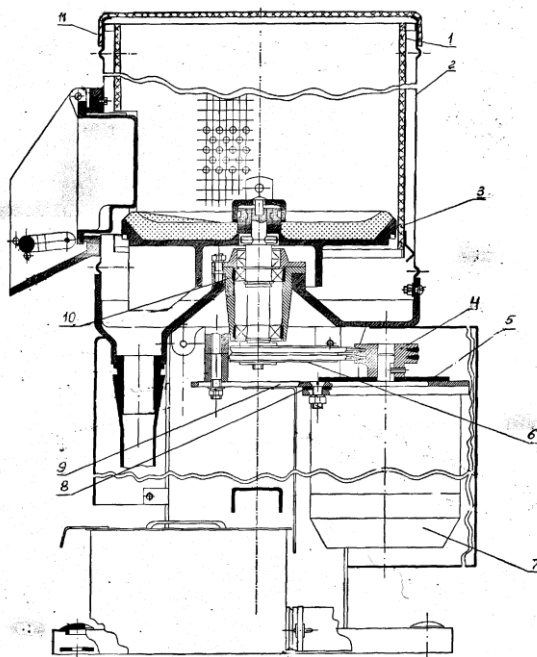


Рисунок 2 – Усовершенствованная конструкция машины МОК-150 М

В таблице 1 указаны величины снижения ВАХ по сравнению с работой машины до модернизации.

Анализ результатов показал, что наибольшей эффективностью обладает 3 и 4 модернизации, которые, практически, не отличаются между собой по эффективности. Отсюда следует, что уплотнение между крышкой и корпусом машины можно не ставить, а достаточно обеспечить лишь минимальный зазор 0,5-1мм, либо выполнить по посадке с зазором. Наиболее высокая эффективность достигается на средних и высоких частотах. Предложенная модернизация запатентована и позволяет улучшить ВАХ машины МОК до санитарных норм.

Таблица 1 - Эффективность изменения ВАХ при модернизации МОК-150

Номер модернизации	Режим работы	Корректируемый уровень, дБА	Уровни звуковой мощности в октавных полосах частот, дБА							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	ХХ	2	4,5	9	-	8,5	6	7,5	4,5	6
	РХ	2	5	2	5	6	6	8	8	11
2	ХХ	3	-	-	2	5	3	1	1	1
	РХ	-	3	3	-	-	-	1	1	3
3	ХХ	3	2,5	9	11,5	13,5	8	8	5,5	-
	РХ	4,5	2	8	6	10	13	15	11	15
4	ХХ	3	2	9	11	12	8	8	5	-
	РХ	5	2	5	8	10	13,5	14	11	13

Усовершенствованные конструкции машин очистки корнеклубнеплодов типа МОК внедрены на предприятиях питания: Комбинате питания ОАО Донецкий металлургический завод, производственном цехе заводской столовой АО «Группа Норд». На машиностроительном заводе ЗАТ «Интертехника» г.Донецк выпущена опытно-промышленная партия усовершенствованных машин МОК-150М. Внедрение усовершенствованных машин МОК с повышенной экологической безопасностью улучшили санитарно-гигиенические условия труда персонала предприятий питания.

Литература

1. Заплетников, И.Н. Моделирование виброакустических процессов технологического оборудования пищевых производств [Текст] : монография / И.Н. Заплетников. – Донецк : ДонГУЭТ, 2001. – 141с.

Goal. Development of recommendations for designing equipment with improved vibro-acoustic characteristics.

Methodology. The noise characteristics of the equipment are determined experimentally by the method 4 in accordance with GOST 12.1.026-80 and method 5 in accordance with GOST 12.1.028-80 in the muted chamber, in conditions of a free sound field, in laboratories and production premises in various operating modes.

Results. In the course of experimental studies, noise characteristics of various technological equipment of power plants are obtained, which are sufficiently correlated with previously developed statistical predictive models of the evolution of vibro-acoustic characteristics. The obtained data made it possible to propose a lot of improvements in the design of equipment to reduce its vibro-acoustic characteristics.

Scientific novelty. Recommendations for designing equipment with improved vibro-acoustic characteristics have been developed.

Practical significance. Improved designs of machines for cleaning root crops have been introduced at food enterprises in Donetsk. At the engineering plant "Intertehnika" in Donetsk, a pilot industrial lot of improved machines МОК-150М

was manufactured. The introduction of refined machines for cleaning root crops with increased environmental safety improved the sanitary and hygienic working conditions of the personnel of food enterprises.

Key words: *vibro-acoustic characteristic, technological equipment, food enterprise.*

Статья рекомендована к публикации зав.кафедрой общеинженерных дисциплин ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», доктором технических наук, доцентом Соколовым С.А.

Дата поступления рукописи 05.09.2017г.

УДК [621.9.02:[635.1/8:641.512]]:534.6

И.Н. Заплетников, д-р техн.наук, профессор, А.В. Шеина, И.С. Севаторова, С.В. Канибер, магистрант

ГО ВПО "Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, г. Донецк, e-mail: oblagn@kaf.donnuet.education

О ВЛИЯНИИ НА МОДУЛЬ УПРУГОСТИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

I.N. Zapletnikov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, A.V. Sheina, I.S. Sevatorova, S.V. Kaniber, undergraduate

SO HPE «Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky», Donetsk, e-mail: oblagn@kaf.donnuet.education

ABOUT INFLUENCE ON THE ELASTICITY MODULE OF VEGETABLE RAW MATERIAL OF THE LOAD SPEED OF LOADING TOOLS

Цель. Установить зависимости модуля упругости овощей от величины и скорости их деформации.

Методика. Экспериментально определить модули упругости овощей при изменении скорости резания.

Результаты. Получены эмпирические зависимости для определения модуля упругости овощей при различных величинах нагружения.

Научная новизна. Установлены зависимости модуля упругости овощей от скорости нагружения при резании.

Практическая значимость. Результаты работы применимы для расчета кинематических и динамических параметров резания овощного сырья.

Ключевые слова: *овощи, модуль упругости, скорость нагружения.*

Для овощного сырья при резании пластинчатым ножом деформирование продукта лезвием в момент реза не превышает 10%, что позволяет придерживаться линейной зависимости между напряжением сжатия и относительной деформацией продукта. Это допущение позволяет значительно

упростить расчет при вычислении модуля упругости, который является своеобразным коэффициентом пропорциональности между напряжением и деформацией материала и характеризует его упругие свойства. При величине относительной деформации свыше 10-15% определение модуля упругости растительного сырья подчиняется другим закономерностям [1].

Анализ литературных источников [2, 3, 4, 5, 6, 7] показал, что на упругие свойства овощей оказывает влияние ряд факторов, которые можно отнести как к биологическим, так и к технологическим. К биологическим факторам относится вид продукта, его сорта, структура, условия выращивания и хранения. К технологическим факторам относятся: скорость и характер сжатия материала (одноосное, объемное и т.д.); геометрические размеры продукта, коэффициент формы; температура продукта; расположение продукта относительно плоскости действия нагрузки (вдоль либо поперек волокон); продолжительность действия сжимающей загрузки.

Эти факторы изменяются в процессе переработки. Для их учета, при проектировании измельчительного оборудования используется основной параметр – модуль упругости растительного сырья, который во многом зависит от скорости нагружения и ее величины. Этот процесс изучен недостаточно.

Целью работы является установление зависимости модуля упругости овощей от величины и скорости их деформации.

Согласно результатам проведенных исследований [1], между модулем упругости E и скоростью деформации $\dot{\epsilon}$ имеет место степенная зависимость, описываемая уравнением (1):

$$E = k_1 \cdot \dot{\epsilon}^n, \quad (1)$$

где k_1 и n – коэффициенты, определяемые экспериментально (таблица 1).

Для растительного сырья графическая интерпретация этой зависимости представлена на рисунке 1.

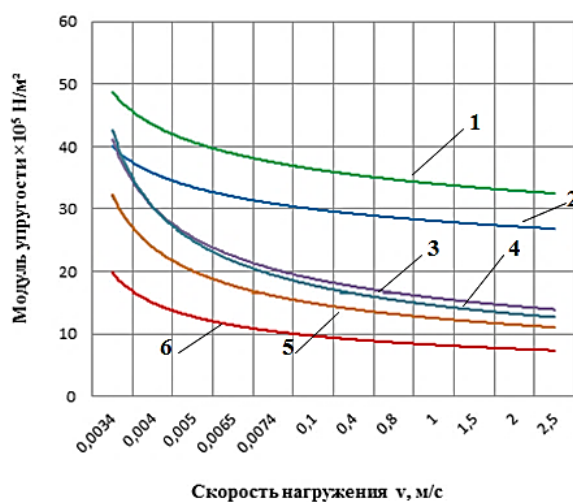


Рисунок 1 – Влияние скорости нагружения на модуль упругости растительного сырья

1 – картофель, 2 – морковь, 3 – кабачки, 4 – баклажаны,
5 – огурцы, 6 – лук репчатый

Согласно рисунку 1, в интервале скоростей нагружения от 0,0034 до 2,5 м/с модуль упругости уменьшается в 2...2,5 раза. То есть, максимальное влияние на модуль упругости фактор скорости оказывает лишь при статическом нагружении. С увеличением скорости нагружения, ее влияние на значение модуля упругости становится менее значительным.

Таблица 1 - Зависимость модулей упругости растительного сырья от скорости нагружения

Продукт	Формула	k_1	n	Достоверность аппроксимации функции R^2
Морковь	$E = k_1 \cdot \dot{\epsilon}^n$	40,023	-0,161	0,937
Лук репчатый		19,8	-0,399	0,958
Картофель		48,746	-0,163	0,846
Огурец		32,228	-0,431	0,966
Баклажаны		42,715	-0,489	0,946
Кабачок		41,169	-0,437	0,958

В овощерезательном оборудовании, используемом предприятиями пищевой промышленности, применяют скорости вращения ножей от 0,4 до 2,5 м/с. Скорости интервала от 0,25...0,4 м/с используются при нарезке вареных овощей. С учетом этого факта, на рисунке 2 показано влияние скоростей нагружения на модули упругости вареных овощей.

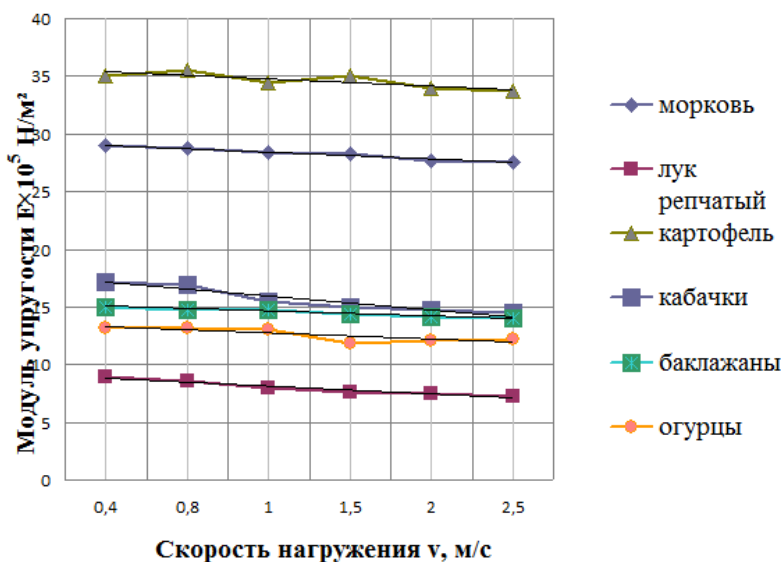


Рисунок 2 – Изменение модулей упругости растительного сырья при динамическом режиме нагружения

Таким образом, в интервале скоростей вращения ножей от 0,4 до 2,5 м/с зависимость между модулем упругости и скоростью деформации с высокой степенью достоверности можно описать линейной функцией:

$$E = -k'v + k'' \quad (2)$$

где k' и k'' – коэффициенты, определяемые экспериментально (таблица 2).

Зависимость (2) позволяет определять модули упругости различного овощного сырья, представленного в таблице 2.

Таблица 2 - Зависимость модулей упругости растительного сырья от скорости нагружения

Продукт	Уравнение кривой	Достоверность аппроксимации R^2
Морковь	$-0,306v+29,35$	0,963
Лук репчатый	$-0,340v+9,173$	0,950
Картофель	$-0,293v+35,65$	0,675
Огурец	$-0,268v+13,54$	0,710
Баклажаны	$-0,588v+17,69$	0,913
Кабачки	$-0,214v+15,27$	0,947

В таблице 3 приведены экспериментальные значения модулей упругости для некоторых видов овощей.

Таблица 3 - Модули упругости овощей при скорости нагружения 0, 4 м/с

Продукт	Модуль упругости E , МПа	
	$\varepsilon = 10 \%$	$\varepsilon = 20 \%$,
Картофель	7,14	3,57
Морковь	5,80	2,90
Лук	3,62	1,81
Огурец	2,65	1,32
Баклажан	3,00	1,5
Кабачок	3,44	1,72
Свекла	8,00	4,0
Капуста белокочанная	8,00	4
Перец болгарский	4,20	2,1
Редис	7,00	3,5
Сельдерей	6,41	3,2
Хрен	10,2	5,1
Цветная капуста	7,0	3,5
Брокколи	5,60	2,8
Редька черная	11,20	5,6
Тыква	7,60	3,8

Для исследуемого сырья, при динамическом нагружении образца со скоростью от 0,4 до 2,5 м/с, наблюдается снижение модуля упругости в 1,2 раза.

Снижение упругих свойств мякоти овощей с увеличением скорости нагружения связано с развитием в продукте замедленной упругой деформации. Изначально, при нагружении вязко-упругого образца, в нем возникает

мгновенная и замедленная упругие деформации. Мгновенная упругая деформация развивается достаточно быстро – ее практически невозможно зафиксировать экспериментальным путем, потому что она обозначается условно и на практике принимается равной нулю. Замедленная упругая деформация – это та величина, которую можно численно определить. Распространение замедленной упругой деформации напрямую зависит от скорости нагружения. Чем больше скорость нагружения, тем меньше проявляется действие замедленной упругой деформации. Согласно [8], при увеличении скорости нагружения (резания), деформации, скорость распространения которых меньше скорости деформирования, развиваться не будут.

Таким образом, увеличение скорости деформирования приводит к тому, что вязкоупругие напряжения в образце продукта практически не релаксируют, предел прочности наступает непосредственно за пределом текучести, пластическая деформация отсутствует и наблюдается хрупкий излом. Общая работа деформирования продукта будет снижаться.

Динамика изменения модуля упругости от скорости деформации несколько отличается для различных видов овощей, что связано со структурным строением исследуемых продуктов, содержанием в них влаги.

Заключение. Поскольку величина относительной деформации продукта при воздействии на него лезвия ножа составляет 10...20% (что зависит от множества факторов: скорости внедрения ножа в слой, наличия кожуры на поверхности плода, вялости плода, остроты режущей кромки и др.), расчеты овощерезательного оборудования по полученным зависимостям рекомендуется вести по максимальному значению модуля упругости с учетом возможных факторов влияния.

Литература

1. Заплетников И.Н. Экспериментальные исследования процесса резания растительных материалов [Текст] / Заплетников И.Н., Шеина А.В., Гордиенко А.В. // Актуальные вопросы современной науки: сборник научных трудов. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2014. – Выпуск 33, С. 52-62.
2. Gołacki K. Metoda wyznaczania lepkościowego współczynnika Poissona materiałów roślinnych w warunkach obciążeń uderowych / K.Gołacki, Z. Stropiek. - Acta Agrophysica, №45, 2001. – s. 79-83.
3. Rao M. A. Engineering Properties of Foods/ Rao M. A., Rizvi S. S. H. - Dekker, 1995 – 531 p.
4. Rumsey T.R. A method for determining the shear relaxation function of agricultural materials / T.R. Rumsey, R.B. Fridley. - Transaction of the ASAE, №20, 1977. - pp. 386-389.
5. Левіт І. Б. Реологія харчових продуктів: монографія / І.Б. Левіт, В.О. Сукманов, Д.С. Афенченко. - Донецьк: ДонНУЕТ, 2012. – 408 с.
6. Мачихин Ю.А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю. А. Мачихин, С. А. Мачихин - М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1981. – 216 с.
7. Мачихин Ю. А. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник / Ю. А. Мачихин. – М.: Агропромиздат. – 1990. – 271 с.

8. Львов Д.Л. Совершенствование процесса скользящего резания пищевых полуфабрикатов пластинчатыми ножами [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Кемерово, 2009. - 163 с.

Goal. Establish the dependence of the modulus of elasticity of vegetables on the magnitude and rate of their deformation.

Methodology. Experimentally determine the modulus of elasticity of vegetables with a change in the cutting speed.

Results. Empirical relationships were obtained to determine the modulus of elasticity of vegetables for various loading values.

Scientific novelty. The dependences of the modulus of elasticity of vegetables on the loading rate during cutting are established.

Practical significance. The results of the work are applicable for calculating the kinematic and dynamic parameters of cutting vegetable raw materials.

Key words: *vegetables, modulus of elasticity, loading rate.*

Статья рекомендована к публикации профессором кафедры оборудования пищевых производств ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», доктором технических наук Поперечным А.Н.

Дата поступления рукописи 16.09.2017г.

УДК 664.8.047

В.Г. Корнийчук, канд. техн. наук, доцент, В.А. Мельников

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского», г. Донецк, e-mail doc.12022007@mail.ru

СУШКА ЯБЛОЧНЫХ ВЫЖИМОК В СУШИЛКАХ С ИК НАГРЕВОМ

V.G. Korniychuk, Cand. tech. Sci., Associate Professor, V.A. Melnikov

SO HPE "Donetsk National University of Economics and Trade. Mikhail Tugan-Baranovsky ", Donetsk, e-mail doc.12022007@mail.ru

DRYING APPLE EXCESSES IN DRYERS WITH IR HEATING

Цель данной работы - экспериментальное определение основных характеристик процесса сушки яблочных выжимок в конвективных сушилках с неподвижным слоем материала и в сушилках с ИК нагревом.

Результаты. Представлены результаты экспериментальных исследований кинетики сушки яблочных выжимок в конвективной сушилке с неподвижным слоем материала и в сушилке с ИК нагревом.

Практическая значимость. Полученные данные по сушке яблочных выжимок могут быть использованы для расчета вновь создаваемого сушильного оборудования.

Ключевые слова: Яблочные выжимки, плоды, сушка кинетика, ИК нагрев.

Для выполнения задач по экономии сырьевых и топливно-энергетических ресурсов во всех отраслях народного хозяйства необходимо коренным образом улучшить использование сырья и сократить расходы на всех стадиях движения производства готовой продукции.

Пищевая промышленность одна из самых развитых отраслей материального производства и одновременно – один из крупнейших источников образования отходов. Объемы образования некоторых отходов весьма значительны [1].

Яблочные выжимки образуются при отжиме сока из яблок. Количество образующихся выжимок зависит от ряда факторов, помологического сорта и степени зрелости яблок, используемого оборудования (дробилок и прессов), квалификации обслуживающего персонала, качества вспомогательных материалов, применяемых при прессовании (прессовальные салфетки, дренажные решетки), продолжительности хранения сырья до переработки и т.д. В среднем, количество яблочных выжимок составляет 60% от массы исходного сырья. Как правило, их переработкой занимаются только крупные производители сока, а в основном их используют как удобрения и на корм животным.

По сравнению с исходным сырьем — яблочные выжимки содержат меньше растворимых и пектиновых веществ. По содержанию сахара и кислот выжимки незначительно отличаются от исходного сырья и поэтому имеют пищевую ценность. В то же время выжимки содержат большое количество клетчатки.

Ввиду высокого содержания сахаров, кислот и пектина яблочные выжимки могут быть использованы для получения пектина, сахаросодержащего порошка, для кормовых целей, для извлечения семян, предназначенных в качестве посевного материала или для получения масла.

Яблочный порошок, полученный из выжимок, содержит: 40—70 % сахара в виде, фруктозы и глюкозы (в соотношении 1:1), 7—15 % пектина, натуральные органические кислоты, 2,5—3,5 % тритерпеноидов, обладающих выраженным противосклеротическим и противоаллергическим действием, 1,5—3,0 % минеральные вещества, от 1 до 40 мг % витаминов В₁, В₂, В₉, А, С, Р, Е, К, аминокислоты и другие ценные вещества. Одна тонна яблочного порошка влажностью 4—6 % по содержанию сухих веществ и их пищевой ценности эквивалентна 6—8 т яблок влажностью 85—86 %.

Порошки из яблочных выжимок находят применение прежде всего в кондитерской, консервной промышленности и в хлебопекарном производстве, где они повышают биологическую и пищевую ценность продуктов. Одна тонна фруктовых порошков, например, в производстве кондитерских изделий заменяет 900 килограммов сахара, 50 килограммов лимонной кислоты

Важной научно-технической проблемой производства продуктов питания является разработка и внедрение новых видов изделий с использованием

нетрадиционного сырья. Применение порошков из вторичных сырьевых ресурсов (ВСР), полученных по безотходной технологии при комплексной переработке сельхозпродуктов, позволяет дополнительно вносить в изделия макро- и микроэлементы, органические и минеральные вещества, витамины, пектин, пищевые волокна, тем самым улучшая их качество и повышая биологическую ценность.

Атмосфера многих городов Донбасса, насыщена органическими и неорганическими соединениями, концентрация которых больше предельно допустимой. Предупреждение профессиональных заболеваний является задачей, которая решается с помощью лечебно-профилактического питания с использованием порошков из растительного сырья. Основа этого питания — рацион, составленный с учетом метаболизма ксенобиотиков в организме и роли отдельных компонентов пищи, оказывающих защитный эффект при воздействии химических соединений, факторов окружающей среды и условий производства. Кроме того, питание должно предупреждать старение организма и развитие атеросклероза, онкологической патологии и других "болезней цивилизации", отнесенных к группе заболеваний обмена веществ.

Благодаря наличию большого количества биологически активных веществ порошки из ВСР могут использоваться в качестве лечебно-профилактических средств. В них содержатся все необходимые с точки зрения физиологии питания компоненты: белки, углеводы, аминокислоты, пищевые волокна, витамины, минералы, микроэлементы, вкусовые и ароматические вещества.

Углеводы, составляющие значительную часть порошков из ВСР, чаще всего представлены фруктозой и глюкозой, что обеспечивает их легкую усвояемость в организме; они же являются важными носителями энергии [2].

Клетчатка, или целлюлоза, - балластное вещество, которым бедно наше питание, - играет важную роль в механической стимуляции кишечной деятельности. Пищевые порошки из ВСР — это источник клетчатки и большого количества безводных соединений, что позволяет ими круглогодично обеспечивать население.

Для получения порошка из яблочных выжимок их сушат, измельчают, просеивают через сита.

При получении порошков из яблочных выжимок 80% энергии расходуется на процесс сушки, поэтому создание энергосберегающей технологии требует использования сушильных установок и режимов сушки с минимальными затратами энергии, при сохранении производительности установки и качества готовой продукции.

При хорошей работе прессового оборудования влажность выжимок должна быть не более 70 %. Однако при использовании перезрелого сырья, недоброкачественных прессовальных салфеток и дренажных решеток влажность выжимок может быть значительно выше.

Влажность сухих выжимок должна быть не более 8 %, они не должны содержать крупных частиц и комков. Сухие выжимки содержат: пектина – 7-

8%, клетчатки – 14%, жира – 5%, золы – 4%, протеина -7%, безазотистых экстрактивных веществ - 59 %.

В настоящее время сушку яблочных выжимок проводят на вальцовых сушилках, в сушилках кипящего слоя, вибросушилках с мелющими телами и в конвективных сушилках (барабанных, тоннельных, конвейерных).

Сушка на вальцовых сушилках позволяет повысить качество готового продукта, снизить его термопластичность. Однако способ трудоемок в технологическом процессе, на обрабатываемую массу воздействуют острым паром, давлением 0,42 МПа, нагревая ее до 90-95°C, что неминуемо приводит к разложению клетчатки и сворачиванию белка в обрабатываемой массе и, как следствие, к снижению качества готового продукта.

Сушка в кипящем слое позволяет повысить качество готового продукта. Однако предварительная тепловая обработка при довольно высокой температуре, а затем сушка в потоке теплоносителя сказываются на желирующей способности и качестве порошка, а сам процесс технологически трудоемок и энергоемок, при этом продолжительность сушки составляет в среднем 1 час [3].

Недостатком использования вибросушилок с мелющими телами является использование дорогостоящих вакуум аппаратов и намол материала мелющих тел.

Недостатком конвективной сушки является длительный технологический процесс. Кроме того, для сокращения времени сушки необходим постоянный контроль за количеством яблочных выжимок, поступающих в сушилку, т.к. увеличение высоты слоя материала увеличивает продолжительность процесса и повышение температуры, в результате чего готовый продукт приобретает темно-коричневый цвет, обусловленный карамелизацией сахаров, что сказывается на вкусовых и пищевых качествах.

Наиболее прогрессивным способом сушки, с точки зрения энергосбережения и сохранения полезных веществ, в настоящее время, является сушка с ИК нагревом. Инфракрасная сушка продуктов питания основана на том, что инфракрасное излучение определенной длины волны поглощается жидкостью, которая содержится в продукте, и не поглощается тканью высушиваемого продукта. Удаление влаги возможно при температуре 40-60°C. Это практически полностью - на 80-90% - сохраняет витамины, биологически активные вещества, естественный цвет, вкус и аромат продуктов.

При непродолжительном замачивании в течение 10-20 минут продукт восстанавливает все свои натуральные свойства и может употребляться в свежем виде или подвергаться кулинарной обработки. По сравнению с обычной сушкой, овощи, прошедшие обработку инфракрасной сушкой, после восстановления обладают вкусовыми качествами, приближенными к свежим продуктам. Инфракрасная сушка дает продукты, не содержащие консервантов и других посторонних веществ, эти продукты не подвергаются воздействию вредных электромагнитных полей и излучений. Инфракрасное излучение безопасно как для окружающей среды и человека, так и для оборудования. Прошедший сушку продукт не требует особых условий хранения и стоек к

развитию микрофлоры. Продукты могут храниться без специальной тары около года (при соответствующих условиях хранения). В герметичной таре продукт может храниться до двух лет.

При помощи технологии сушки продуктов в сушилках с ИК нагревом можно практически на 100% использовать подведенную к материалу энергию.

При температуре 40-60 °С такая сушка продукта дает следующие преимущества:

- при таких температурах максимально сохраняется продукт: не рвутся клетки, не уничтожаются витамины, не карамелизируется сахар;
- низкие температуры не греют сушильное оборудование, то есть, практически нет потерь тепла через стенки;
- сушка продуктов производится с высокой скоростью - 30-200 мин;
- простота и надежность, низкая цена и высокая окупаемость.

В то же время инфракрасное излучение при температуре 40-60 °С позволяет уничтожить всю микрофлору на поверхности продукта, делая продукт практически стерильным.

Для расчета производительности сушилки по испаренной влаге и расхода энергии на сушку, необходимо знать, как изменяется влагосодержание продукта во времени [4].

Эксперименты по изучению кинетики сушки яблочных выжимок проводились в конвективной сушилке с неподвижным слоем и сушилке с ИК нагревом в вакууме в диапазоне температур 40-60 °С, и давлении 10132Па.

Через заданные интервалы времени из сушильных камер делали отбор проб продукта в бюксы, для определения влагосодержания по методу высушивания до постоянной массы согласно ГОСТ 15113.4-77.

Полученные данные представлены на рисунке 1 и 2.

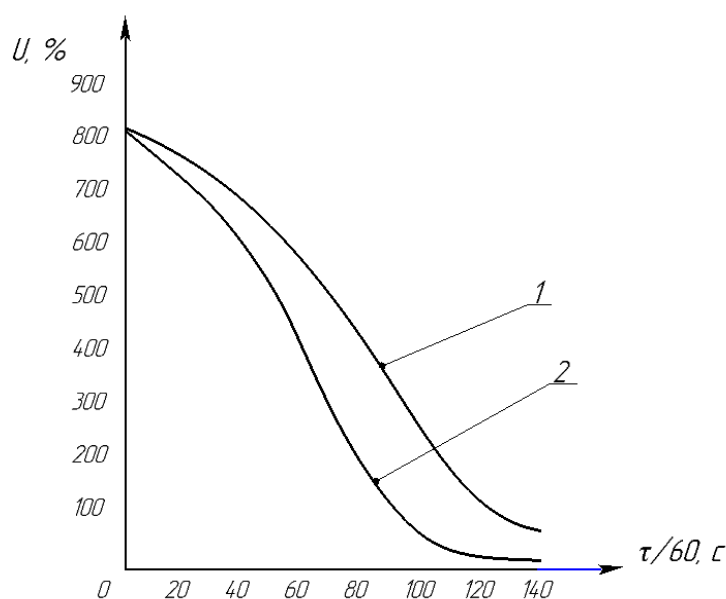


Рисунок 1 - Кривые сушки яблочных выжимок при конвективной сушке в неподвижном слое: 1- $t = 40$ °С; 2- $t = 60$ °С

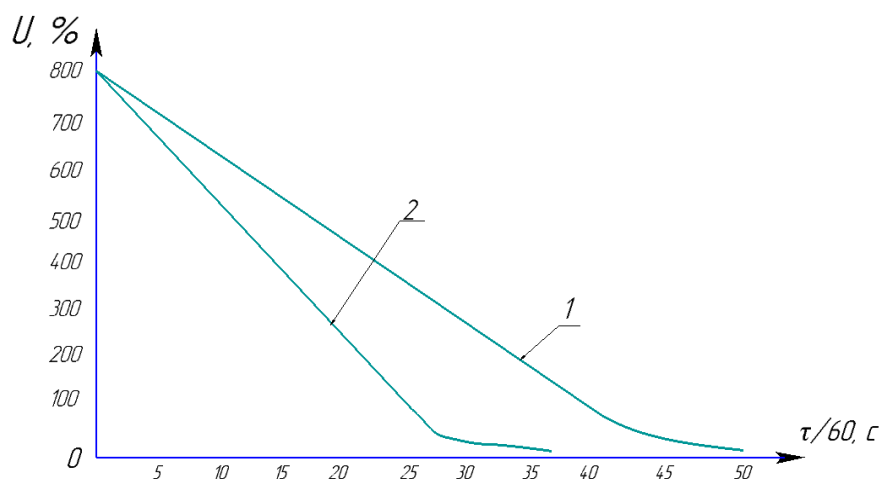


Рисунок 2 - Кривые сушки яблочных выжимок в сушилке с ИК нагревом
1 - $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2- $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Анализ кривых скорости сушки показывает, что для их математического описания с достаточной степенью точности может быть использована модель А.В. Лыкова, предусматривающий замену действительной кривой скорости сушки во втором периоде прямой [4].

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы:

Процесс удаления влаги протекает практически в два периода – постоянной и убывающей скорости, участки которых четко прослеживаются на кривых удаления влаги и кривых скорости процесса.

Начальная стадия процесса – прогрев материала – на графиках не просматривается. Критическая точка, характеризующая переход от периода постоянной скорости к периоду падающей скорости сушки, определяется влагосодержанием яблочных выжимок около 100 – 120 %, причем положение этой точки слабо зависит от установленного режима сушки.

Продолжительность периода постоянной скорости при конвективной сушке в неподвижном слое составляет около 6000 с, а при сушке в сушилке с ИК нагревом 2200 с. Как видно из приведенных выше данных, при сушке яблочных выжимок в сушилке с ИК нагревом время процесса сокращается практически в три раза по сравнению с конвективной сушкой в неподвижном слое.

Полученные результаты будут использованы для определения рациональных параметров сушки плодового дикорастущего сырья, а также для расчета сушильных аппаратов.

Литература

1. Вторичные Материальные Ресурсы. Образование и использование справочник под общ. Ред. Л.Е. Юрченко. – Москва: Экономика. - 1984. – 327с.
2. Снежкин Ю.Ф. Энергосберегающие теплотехнологии производства пищевых порошков из вторичных сырьевых ресурсов [Текст] / Ю.Ф. Снежкин, Л.А. Боряк, А.А. Хавин. – Киев: Наукова думка, 2004. - 228с.

3. Поперечный А.Н. Перспективы переработки дикорастущего плодово-ягодного сырья / А.Н. Поперечный, В.Г. Корнийчук, С.А. Боровков // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. VII Международная научно-техническая конференция: Материалы конференции. [Санкт-Петербург, Россия], 2015. - Т2 - С.106-109.
4. Лыков А.В. Теория сушки [Текст] /А.В. Лыков – Москва: Энергия, 1968. - 472 с.

A purpose of this work is experimental determination of basic descriptions of process of drying of apple spues in konvektivnykh dryers with the immobile layer of material and dryers with IK heating.

Methodology. Experiments are conducted on the experimental setting.

Results. The results of experimental researches of kinetics of drying of apple spues are presented in a konvektivnoy dryer with the immobile layer of material and in a dryer with IK heating.

Practical significance. Findings on drying of apple spues can be used for a calculation again.

Keywords: apple squeezes, fruits, drying kinetics, IR heating.

Статья рекомендована к публикации доцентом кафедры оборудования пищевых производств ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», кандидатом технических наук Антроповой Л.Н.

Дата поступления рукописи 20.11.2017г.