

5. Маргулис М. А. Звукохимические реакции и сонолюминисценция [Текст] / М. А. Маргулис. - М. : Химия, 1986, - 288с .
6. Birkhoff G. Jets, wakes and cavities [Text] / G. Birkhoff, E. N. Zarantonello. – New York: Academic press, 1957, 466 p.
7. Пат. 25775 Україна, МПК В01F 5/00. Кавітаційний пристрій для обробки води / Сілін Р.І., Гордєєв А.І., Гордєєв О.А., Третько В.В., Урбанюк Є.А. – № u200702555; Заявл. 12.03.2007; Опубл. 27.08.2007. Бюл. № 13. – 2 с.
8. Пат. 13941 А Україна, МПК В01F 3/08, В01F 5/00. Кавітаційний реактор / Шаповалюк М. І., Шаповалюк В. М., Боровський В. В., Федоткін І. М. - № 95114877; Заявл. 15.11.1995; Опубл. 25.04.1997. Бюл. № 2.
9. Пат. 4624 Україна, МПК В06В 1/20. Спосіб отримання коливань тиску та пристрій для його здійснення / Пилипенко В. В., Задонцев В. А., Манько І. К., Северін В. П., Томчаков М. Л. - № 4738607/SU; Заявл. 19.09.1989; Опубл. 28.12.1994, бюл. № 7.
10. Пат. 2123957 Российская Федерация, МПК В63В59/08, В08В3/02. Способ подводной гидродинамической очистки корпусов судов и устройство для его осуществления / Макитрук А.А., Шильников С.Н., Жудин Ю.Г., Мухтаров Р.И., Клоков И.А., Кийко М.Ю. – № 98111015/28; Заявл. 18.06.1998; Опубл. 27.12.1998.
11. Пат. 2001666 Российская Федерация, МПК В01F5/00. Гидродинамический кавитационный эмульгатор / Кузеев И.Р., Хафизов Ф.Ш., Хуснияров М.Х., Абызильдин Ю.М, Дегтярев Н.С., Шуверов В.М. – № 4892602; Заявл. 22.10.1990; Опубл. 30.10.1993.
12. Витенько Т. Н. Экстрагирование из капиллярно-пористых тел с использованием предварительной кавитационной обработки экстрагента [Текст] / Т. М. Витенько // Энерготехнологии и ресурсосбережение.- 2008. - №5.- с. 77-79.
13. Витенько Т. Н. Особенности кинетики обеззараживания воды, содержащей E.coli в условиях гидродинамической кавитации [Текст] / О. Р. Гашин, Т. Н. Витенько // Химия и технология воды.- 2008, т.30, №5.
14. Новиций Б. Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах [Текст] /М. А. Маргулис.- М. : Химия, 1983.- 192 с.
15. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности [Текст] / Л. А. Юткин.- Л. : Машиностроение, 1986.- 253 с.
16. Голубев В. С. Гидродинамические аспекты формирования каверны при глубоком проникновении излучения СО2-лазера в жидкости [Текст] / В. С. Голубев // Письма в ЖТФ, 2003.- том 29, вып. 5.

УДК 621.929:664.7

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЖИДКОСТЬЮ

**Ловкис З.В., член-корр. Нац. академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор,
Садовская А.В., аспирант
РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,
г. Минск**

С целью интенсификации производства, снижения энергопотребления, улучшения качества процессов смешивания, а также на основании теоретического анализа разработан экспериментальный образец установки-смеситель для приготовления смеси, рабочими органами которого являются эллипсные диски. В результате теоретического исследования установлены факторы, влияющие на процесс смешивания зернового материала с жидкостью, зависящие от геометрических и кинематических параметров разработанного смесителя: частота вращения вала смесителя, количество дисков, угол наклона дисков. Для исследования влияния факторов по степени их влияния выполнено планирование эксперимента и проведены экспериментальные исследования процесса смешивания. На основании полученных данных установлены оптимальные параметры смешивания.

For the purpose of an intensification of production, decrease of power consumption, improvement of mixing processes quality and also on the basis of the theoretical analysis the experimental model of installation (mixer) with ellipse working bodies is developed for the mixture preparation. In the issue of theoretical research the factors, that influence on the process of grain materials mixing with a liquid, depending from geometrical and

kinematic parameters of the developed mixer, such as rotation frequency of a shaft of the mixer, quantity of disks, and angle of disk slope are established. For research of factors influence on degree of their influence the planning of experiment is executed and experimental researches of mixing process are carried out. On the basis of the received data optimum parameters of mixing are established.

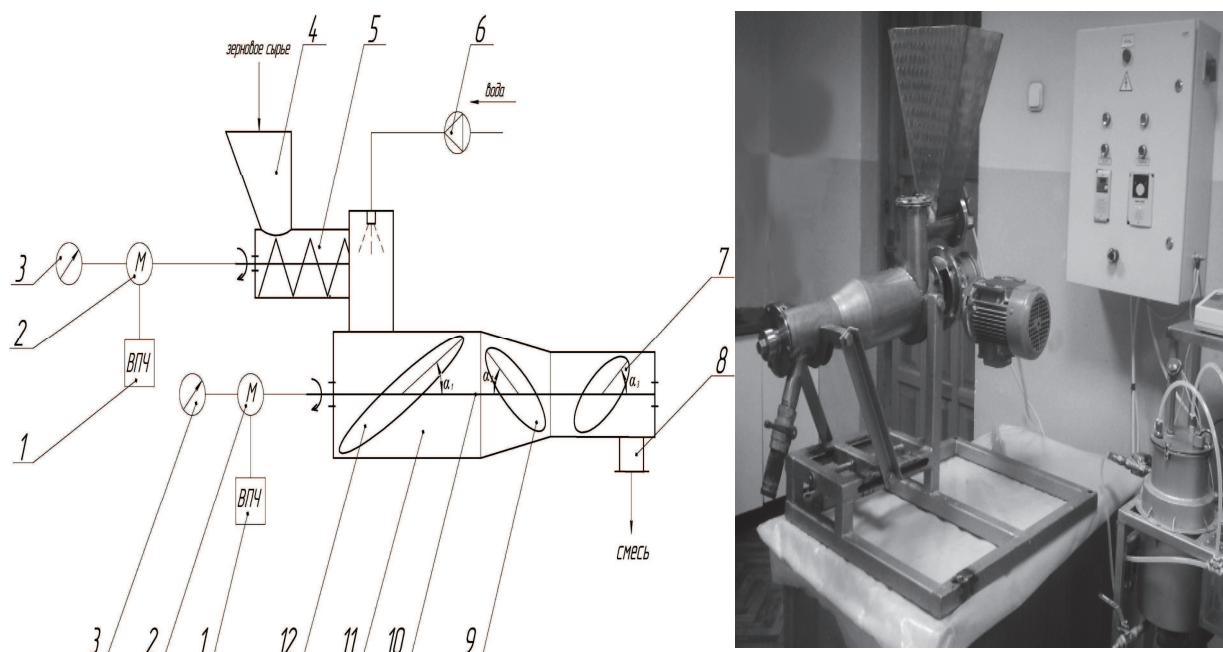
Ключевые слова: спиртовая промышленность, смеситель, смешивание, диски, зерновые материалы

Пищевая промышленность является одной из стратегических отраслей экономики страны и важной составной частью агропромышленного комплекса. От эффективности ее функционирования зависит уровень продовольственной безопасности и благосостояние народа [1]. В пищеперерабатывающей промышленности от подготовки сырья до упаковки готового продукта широко используются технологические процессы очистки, мойки, резания, измельчения, перемешивания, тепловой обработки и многие другие. Процесс смешивания является одним из самых распространенных в большинстве технологий, для которого аппараты с мешалками составляют 80–90 % от общего технологического оборудования. Основная задача процесса смешивания заключается в приготовлении однородных по составу смесей, так как качество смеси, полученной в результате смешивания, определяет качество готового продукта. Темпы развития пищевой промышленности требуют совершенствования конструкций смесительного оборудования, повышения его надежности и работоспособности, снижения себестоимости продукции, повышения ее качества и увеличения рентабельности производств. Данная проблема может быть решена путем внедрения новых технологий и техники, а также повышением эффективности использования оборудования. Особое требование к качеству проведения процесса смешивания предъявляется в спиртовой промышленности, от которого зависит процесс брожения, выход спирта и его себестоимость.

Цель исследования — повысить эффективность процесса смешивания зерновых материалов с жидкостью при наиболее рациональных режимах работы смесителя.

Зерновая смесь, образующаяся на этапе водно-тепловой обработки в спиртовой промышленности, представляет собой высококонцентрированную дисперсную систему, которая образуется за счет связывания дисперсионной среды (жидкости) с частицами дисперсной фазы (зерновым материалом). Рабочие органы смесителя образуют поверхности среза, в результате чего происходит многократное деление и деформирование объемов жидкости, при этом увеличивается площадь поверхности контакта частиц зернового материала с жидкостью и частицы оказываются покрытыми слоем жидкости, что соответствует началу образования высоковязкой системы. В этой случае поверхность раздела фаз будет равна свободной поверхности частиц. Перераспределение жидкости и увеличение поверхности контакта в высоковязкой массе достигается путем конвективного переноса. Скорость образования смеси из сыпучих и жидких компонентов зависит от геометрических и кинематических параметров аппарата. Изменение реологических характеристик, в частности вязкости, будет определяться равномерностью распределения составляющих. Вязкость двухфазных систем (сыпучие вещества–жидкость) линейно зависит от концентрации частиц. Интенсификация процесса смешивания, в частности уменьшение его продолжительности, возможно повышением скоростей рабочего органа. Ускорение процесса может быть средством повышения качества продукта, снижения энергозатрат, экономии сырья, что в конечном итоге определяет эффективность процесса [2].

На предприятиях спиртовой промышленности смешивание зернового материала с жидкостью осуществляется в устройстве, в котором зерновое сырье, проходя через крыльчатку устройства, смешивается с подаваемой через трубы водой, и смесь поступает в нагнетательный трубопровод. Используемое устройство обеспечивает получение однородной смеси, однако обладает высоким энергопотреблением и материалоемкостью. С целью интенсификации производства, снижения энергопотребления, улучшения качества процессов смешивания, а также на основании теоретического анализа разработан экспериментальный образец установка–смеситель для приготовления смеси, рабочими органами которого являются эллипсные диски (Рис. 1).



а)

б)

1,13 – векторный преобразователь частоты; 2,14 – электродвигатель; 3 – тахометр;
4 – загрузочный патрубкок; 5 – шнек; 6 – насос; 7,9,12 – эллипсообразные диски;
8 – разгрузочный патрубкок; 10 – вал; 11 – корпус

Рис. 1 – а) Схема экспериментальной установки; б) Экспериментальная установка

Смеситель работает следующим образом: зерно, измельченное в молотковой дробилке, основное требование к измельченному зерну: проход через сито с диаметром отверстий 1мм должен быть не менее 95%, остаток частиц на сите 2,0 мм отсутствует, поступает в загрузочную емкость 4 и шнеком 5 продвигается зону предварительного смачивания, где зерновое сырье орошается водой, подаваемой с помощью насоса 6. Гидромодуль измельченного зерна и воды устанавливается в соотношении 1:2,5–1:3,0 в соответствии с технологическим процессом спиртового производства. Далее зерновая масса поступает внутрь смесителя, в котором происходит взаимодействие с неподвижно установленными на валу 10 эллипсными дисками 7,9,12, расположенными под определенным углом на валу. Для привода вала с эллипсными дисками применяется электродвигатель 14, а для привода шнека электродвигатель 2. Для регулирования скорости вращения вала смесителя и шнека применялись частотные преобразователи 1 и 13. Полученная зерновая смесь выгружается через патрубкок 8 смесителя и проходит следующие этапы технологического процесса производства спирта.

Большие оси эллипсных дисков отклонены от оси вращения на угол α . Такая конструкция, в отличие от существующих, позволяет плавно, без динамических ударов, попеременно перемещать перемешиваемую среду вправо-влево, поднимая и сдвигая слои относительно поверхности лопасти [3].

Основное требование, предъявляемое к зерновой смеси, получаемой в смесителе — отсутствие комков, равномерность распределения смешиваемых компонентов.

В результате теоретического исследования установлено, что на эффективность процесса смешивания оказывают влияние различные факторы, классификация которых представлена на рисунке 2. Воздействие некоторых из приведенных факторов может быть незначительным, но суммарный эффект большого количества факторов является существенным. Результатом всех воздействий является изменение соотношения между компонентами, распределение концентраций в объеме (однородность смеси) [4]. При смешивании сыпучих материалов (зернового материала) с жидкостью наибольшее влияние имеют три фактора, которые зависят от геометрических и кинематических параметров разработанного смесителя: частота вращения вала смесителя, количество дисков, угол наклона дисков.



Рис. 2 — Классификация факторов, влияющих на процесс смешивания

Для исследования влияния отобранных факторов на качество смеси выполнено центральное композиционное планирование полного эксперимента ПФЭ–23 со звездным плечом. Работоспособность полученной модели подтверждается коэффициентом детерминации $R\text{-squared} = 92,49\%$. Полученная регрессионная модель позволяет определить направленность влияния факторов и их взаимодействий, а также определить оптимальный режим проведения процесса смешивания (Рис. 3). Анализ полученной модели и поверхности отклика показывает, что зерновая смесь достигает наилучшего качества при угле установки лопасти в интервале от 30° до 35° , при возрастании частоты вращения вала качество смеси улучшается, однако энергетические затраты также возрастают, поэтому оптимальная частота вращения вала $150\text{--}160$ мин $^{-1}$, с увеличением числа дисков смесителя улучшается качество смеси, однако увеличивается и материалоемкость смесителя и наиболее рациональное количество дисков $z=3$.

Проведены экспериментальные исследования процесса смешивания зерновых материалов с жидкостью. На рисунке 4 представлены зависимости качества получаемой зерновой смеси, производительности смесителя.

Анализ полученных экспериментальных данных, позволяет установить, что угол наклона эллипсных дисков при котором качество зерновой смеси соответствует предъявляемым требованиям, находится в пределах $30^\circ\text{--}35^\circ$, наиболее оптимальная частота вращения вала смесителя $150\text{--}160$ мин $^{-1}$, потребляемая электроэнергия при этом $0,3\text{--}0,35$ кВт/ч, производительность смесителя 440 кг/ч. При частоте вращения вала смесителя более 160 мин $^{-1}$ качество зерновой смеси изменяется незначительно, однако при этом значение потребляемой электроэнергии увеличивается в два раза.

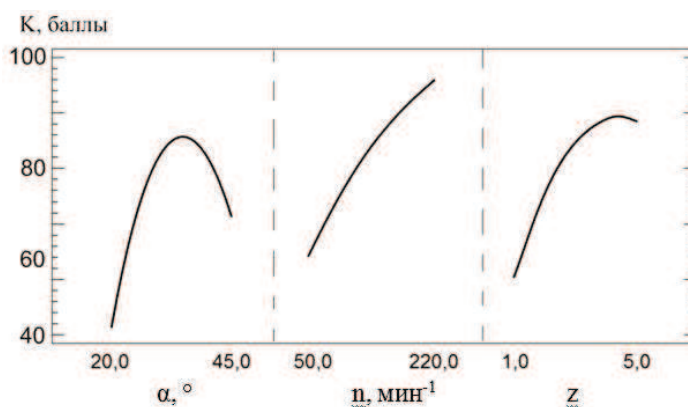
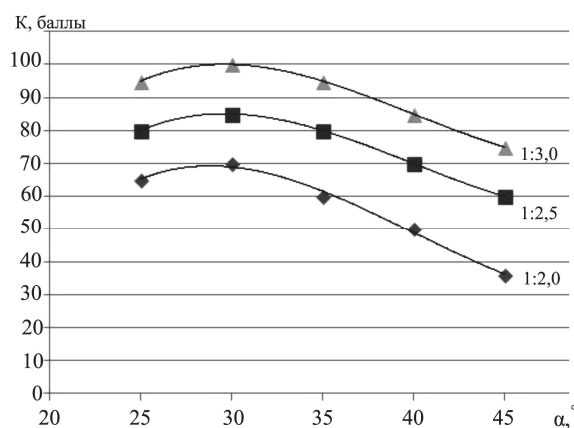
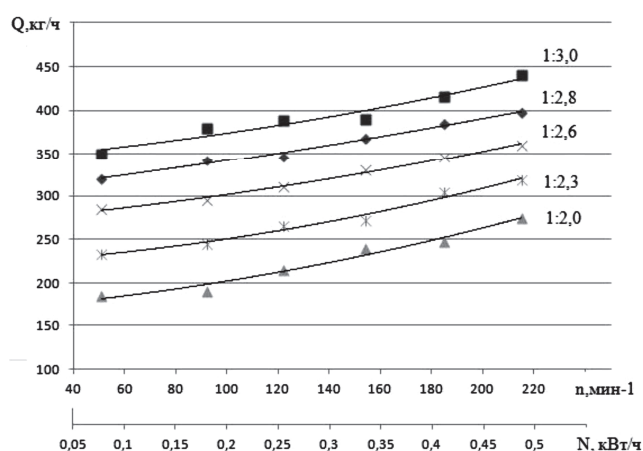


Рис. 3 – Главные эффекты отклика для показателя качества смешивания



а) Зависимость качества смеси от углов наклона эллипсных дисков при $n=150 \text{ мин}^{-1}$



б) Зависимость производительности смесителя от частоты вращения вала при изменении гидромодуля 1:2,0–1:3,0

Рис. 4 – Результаты экспериментальных исследований смесителя

Выводы

Решение задачи по интенсификации процесса смешивания зернового материала с жидкостью позволит повысить эффективность технологического процесса производства спирта, качество и конкурентоспособность продукции. С целью интенсификации производства, снижения энергопотребления, улучшения качества процессов смешивания, а также на основании теоретического анализа разработан экспериментальный образец установка-смеситель для приготовления смеси, рабочими органами которого являются эллипсные диски. В результате теоретического исследования установлены факторы, влияющие на процесс смешивания зернового материала с жидкостью, зависящие от геометрических и кинематических параметров разработанного смесителя: частота вращения вала смесителя, количество дисков, угол наклона дисков. Для исследования влияния факторов по степени их влияния выполнено планирование эксперимента и проведены экспериментальные исследования процесса смешивания. На основании полученных данных установлены оптимальные параметры смешивания: угол наклона лопастей $\alpha=30^{\circ}-35^{\circ}$, частота вращения вала $n=150-160 \text{ мин}^{-1}$, количество дисков $z=3$, потребление электроэнергии $0,3-0,35 \text{ кВт/ч}$, при этом получаемая зерновая смесь обладает высоким качеством.

Литература

1. Лазаревич, М. И. Пищевая промышленность Беларуси: анализ тенденций и стратегические ориентиры развития/ М. И. Лазаревич, Т. Н. Ждановская.–С. 4–13.
2. Панфилов, В.А. Теоретические основы пищевых технологий: В 2-х книгах. Книга 1.– М.:КолосС, 2009.–608с.

3. З.В. Ловкис Теоретический анализ взаимодействия эллипсного рабочего органа смесителя со смешиваемой средой/ Ловкис З.В., Садовская А.В.// Пищевая промышленность: наука и технологии.–2011.– №3(13).–С. 88–95.
4. Надежин, Е. С. Интенсификация режимов работы смесителей лопастного типа для получения тиксотропных смесей/ дисс... канд. техн. наук: 05.02.13/ Е. С. Надежин .–Тула, 2006.–182с.

УДК 66.47:378.147

УПРОЩЕННЫЙ ВАРИАНТ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛОК

Калишук Д.Г., канд. техн. наук, доцент,
Саевич Н.П., канд. техн. наук

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Дан анализ сущности аналитического и графоаналитического методов расчета конвективных сушилок. Представлен критический обзор изложения этих методов в научной и учебной литературе. Описан алгоритм графоаналитического метода, упрощающий его практическое применение и позволяющий выполнить графические построения с большей точностью.

The analysis of the essence of the analytical methods and graph-analytical calculation of convective dryers. A critical review of the presentation of these techniques in scientific and educational literature. An algorithm for graph-analytical method, which simplifies its practical application, and allows you to run graphical representations with greater accuracy.

Ключевые слова: сушка, энтальпия, температура, относительная влажность, диаграмма Рамзина, конвективная сушилка.

Процесс термической сушки является одним из распространенных и значимых процессов химической, пищевой и других отраслях промышленности, позволяющий достичь на конечной стадии технологической цепочки заданных качеств производимого продукта. Поэтому вопросы теории процесса, его аппаратно-технологического оформления, расчета, моделирования и оптимизации сушильных установок и аппаратов являются актуальными и востребованными. При расчетах сушильных установок любого типа, в том числе конвективных, подлежат определению расходы сушильного агента (газовой фазы, с помощью которой от высушиваемого материала отводится испаренная влага) L , кг/с, и тепла на проведение процесса Q , Вт. С использованием значений указанных параметров для конвективных сушилок ведется расчет размеров активной зоны аппарата (сушильной камеры), подбирается и рассчитывается вспомогательное оборудование (топки при сушке топочными газами, калориферы при сушке воздухом, вентиляторы, дымососы, газоочистные устройства и т.д.), рассчитываются показатели энергетической эффективности. Определение значения J_2 и x_2 осуществляют при совместном решении уравнений материального и теплового баланса по методике, разработанной и опубликованной профессором Рамзиным Л. К. в 1930 году [1]. Изложение методики профессора Рамзина Л. К., как правило, в усеченном объеме, вошло в большинство классических монографий по сушке, а также учебников, учебных пособий и справочной литературы по процессам и аппаратам химической технологии, теплотехническим агрегатам и установкам, промышленной теплотехнике [2–20]. Данная методика и на сегодняшний день не потеряла своей актуальности и отражена в современных справочниках, учебниках, монографиях и пособиях, примерами которых могут служить [21–25].

Рамзиным Л. К. предложены аналитический и графоаналитический методы расчета. Ниже приведено краткое изложение основных положений этих методов для наименее сложного варианта организации сушильного процесса, получившего в научно-технической литературе наименование простого. При простом сушильном варианте предусмотрен однократный, без частичной рециркуляции, проход сушильного агента через сушильную камеру. Нагрев сушильного агента при этом осуществляется однократно перед подачей в сушильную камеру, а распределенный ввод его в камеру отсутствует.

При расчетах как с использованием аналитического, так и графоаналитического метода базовой является следующая система уравнений: