

- практическая конференция «Научно-технический прогресс в спиртовой и ликероводочной отрасли». Тезисы докладов. — М.: Пищевая промышленность, 2001. — С. 99–105.
12. *Мухачев С. Г.* Переработка спиртовой барды смешанной культурой дрожжей / С. Г. Мухачев, Р. Т. Валеева, Р. Р. Шайхутдинов, В. М. Емельянов [и др.] // 1-я Всероссийская научная конференция «Ресурсосберегающие, водо- и почвоохраняющие биотехнологии, основанные на использовании живых экосистем». — Казань. 2006. — С. 208–212.
13. *Пономарев С. В., Мищенко С. В., Дивин А. Г., Вертоградский В. А., Чуриков А. А.* Теоретические и практические основы теплофизических измерений / Под ред. С. В. Пономарева. — М.: Физматлит, 2008. — 408 с.

Рукопись статьи поступила в редакцию 29.07.2013

**Z.V. Lovkis, A.A. Shepsheliev, S.A. Arnaut, E.V. Korobko,
S.V. Vilanskaya, M.A. Zhurauski**

INVESTIGATION OF RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF DISTILLERY DREGS AND GRAIN MIXINGS UNDER CONTINUOUS SHEAR AND TORSIONAL DEFORMATION

The results of experimental investigation of rheological characteristics of samples of distillery dregs from rye and grain mixings from rye and wheat with different concentrations under continuous shear and torsional deformation are presented. The temperature dependence of the rheological characteristics in the temperature range 20–80°C is determined. It is found that the rheological behavior of samples of distillery dregs and grain mixings from rye with different concentrations in continuous flow can be described by the Herschel-Bulkley model and grain mixings samples from wheat by the Karo-Galaytnera model. The dependences of model parameters on the temperature and concentration of solid substances are determined. Effective viscosity and components of the complex shear modulus decrease in the temperature range 20–70°C; as temperature increases an increase of these quantities caused by the phase transition is observed.

УДК 621.929:664.7

В статье изучен вопрос струйного перемешивания жидкотекучих пищевых продуктов в цилиндрических аппаратах. Разработана технология струйного перемешивания жидкотекучих пищевых сред, расчетным и экспериментальным путем установлены основные оптимальные параметры струйного смесителя. Получены экспериментальные данные, которые позволили разработать методику инженерного расчета цилиндрических аппаратов со струйными мешалками.

ТЕХНОЛОГИЯ СТРУЙНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА АППАРАТА СО СТРУЙНОЙ МЕШАЛКОЙ

**РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Беларусь**

*З. В. Ловкис, заслуженный деятель науки Республики Беларусь, член-корреспондент
Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор;
А. А. Садовский, младший научный сотрудник отраслевой научно-исследовательской
лаборатории*

Технологиями производства пищевой продукции предусматриваются такие приемы как смешивание различных компонентов, перемешивание с целью достижения однородной консистенции смеси. Авторами предложен эффективный способ перемешивания жидкотекучих пи-

щевых сред в цилиндрических аппаратах гидравлической струей. Процесс перемешивания осуществляется за счет взаимодействия турбулентных затопленных струй с обрабатываемой средой, причем создание локальных зон турбулизации обеспечивает создание закрученных потоков и вихрей, которые обеспечивают интенсивность перемешивания. Применение статически закрепленных насадок, погруженных в жидкую среду, для создания потока струй обеспечивает возможность длительной эксплуатации мешалки и простоту обслуживания.

Технология струйного перемешивания успешно может быть использована в спиртовом производстве, в частности при гидродинамической тепловой обработке зернового замеса. Подготовленная водно-зерновая смесь представляет собой дисперсную систему, твердые частицы которой, находятся во взвешенном состоянии в замесе. По используемой на предприятиях технологии должны выполняться по измельчению зерна: 80 — 90 % помола должно проходить через сито диаметром ячейки 1 мм, а в дальнейшем, в зерновом замесе соотношение сухих компонентов к жидкой части должно составлять 1 к 3. В процессе обработки и подготовки замеса к дальнейшей переработке необходимо достичь растворения внешних оболочек зерна при температурах набухания крахмала с сохранением компонентов, которые потребляются дрожжами [1].

На рис. 1 показан зерновой замес в рабочей емкости во время обработки.



Рис. 1. Водно-зерновой замес

Схема работы классического аппарата гидродинамической обработки замеса приведена на рис. 2. Замес от смесителя подается в аппарат, который представляет собой вертикальный резервуар 1 с цилиндрической обечайкой и коническим днищем. Вместимость аппарата может достигать 250 — 300 м³ и более при заполнении замесом на 95 — 98 %. Для интенсификации массообмена и предотвращения образования застойных зон замес перемешивают центробежными насосами 2, 3 по двум замкнутым контурам. По одному контуру замес перекачивают в верхнюю, а по второму - в нижнюю части обечайки. На верхнем циркуляционном контуре устанавливают теплообменник типа «труба в трубе» для поддержания необходимой температуры.

Существуют так же цилиндрические аппараты в которых, для дополнительной интенсификации используют механические мешалки, которые представляют собой пропеллерную мешалку установленную у дна резервуара и лопастную, установленную на оси аппарата в верхней его части.

Технология струйного перемешивания предполагает замещение механических мешалок на струйный смеситель. Технологическая схема процесса струйного перемешивания непосредственно в цилиндрическом аппарате представлена на рис. 3. Способ струйного перемешивания реализуется следующим образом. Воднозерновой замес насосом подается в загрузочный трубопровод 4 и в рабочую емкость 1, после заполнения рабочего объема аппарата включается

насос 6 и обрабатываемая среда поступает в циркуляционный трубопровод 3, который соединен со струйной мешалкой 5. Создаваемый насосом напор жидкой среды при выходе из насадок 7 создает турбулентные струи и обеспечивает перемешивание замеса. Определенное расположение насадок обеспечивает по всему объему аппарата создание зон интенсивного перемешивания. Наличие циркуляционного трубопровода обеспечивает вертикальное передвижение продукта и таким образом позволяет равномерно обрабатывать весь объем продукта. По завершении цикла гидродинамической обработки готовый продукт поступает по трубопроводу 2 для дальнейшей переработки.

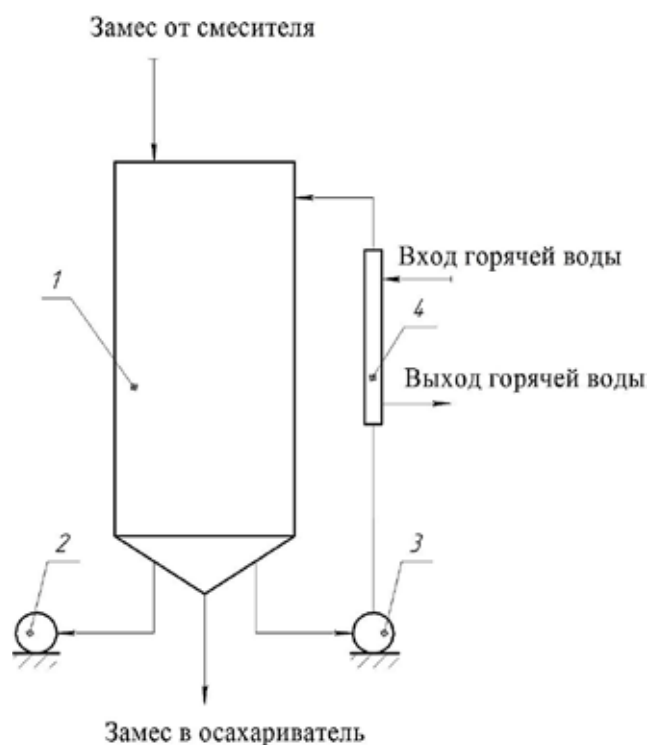


Рис. 2. Технологическая схема работы классического аппарата для гидродинамической тепловой обработки: 1 — цилиндрический резервуар; 2, 3 — центробежные насосы; 4 — теплообменник

При исследовании и проектировании цилиндрических аппаратов со струйной мешалкой получены значения влияния скорости исчерпания затопленной струи для различных насадок конструкцию и технологических показателей τ . Основными параметрами данной системы являются: ρ — плотность жидкости, μ — динамическая вязкость, d_0 — диаметр насадка, v_0 — начальная скорость струи, τ — время перемешивания. Установлено, что время перемешивания зависит от плотности жидкости, вязкости, диаметра сопла и начальной скорости струи.

С учетом известных величин, участвующих в процессе перемешивания, установлена зависимость для продолжительности перемешивания τ расчетным путем: $\tau = f(Re, h, g)$ и методом анализа размерностей: $\tau = f(v, D, g)$. По результатам экспериментов при постоянных значениях кинематической вязкости (ν), диаметра аппарата (D) и ускорения свободного падения (g). Получены уравнения, которые использованы в методике инженерного расчета.

Диаметр насадка d_0 зависит от диаметра емкости D :

$$D/d_0 \leq 180 \quad (1)$$

Длина насадка находится в пределах $l = (3...5)d_0$.

Количество насадок при горизонтальном расположении определяется их размещением из условия максимального заполнения по высоте емкости расчетными площадями струй с D_s в сечении корпуса на расстоянии S от среза насадка.

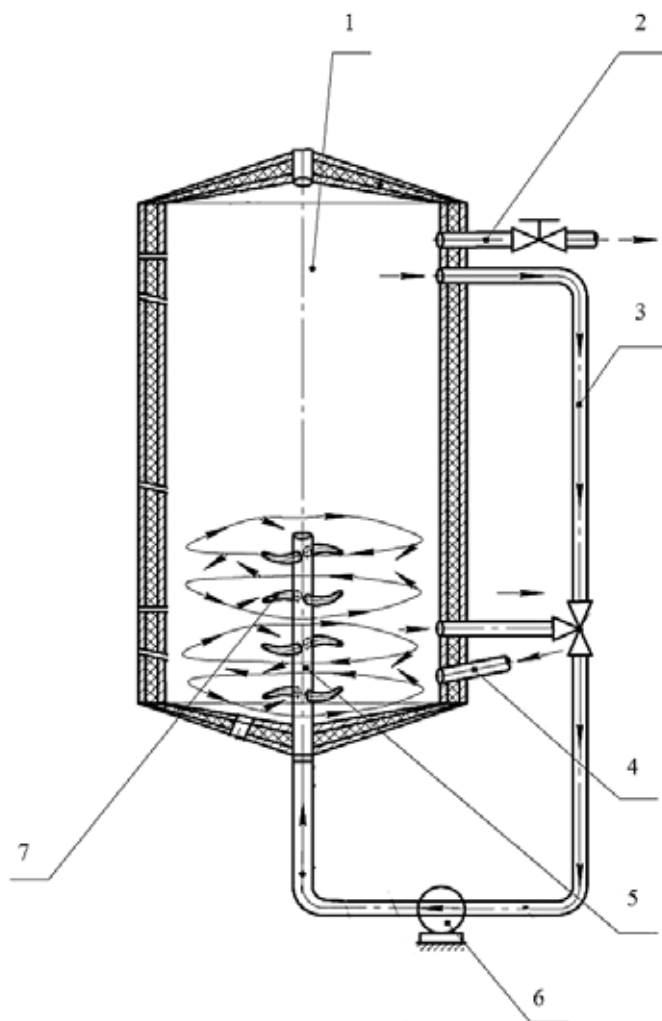


Рис. 3. Технологическая схема процесса струйного перемешивания:
 1 — рабочая емкость; 2 — трубопровод; 3 — циркуляционный трубопровод; 4 — трубопровод;
 5 — струйная мешалка; 6 — насос; 7 — насадки;

Расстояние h между дном емкости и нижним соплом необходимо принимать равным $(9-10) \cdot d_0$, с целью обеспечения захвата перемешиваемой среды струей со дна сосуда и максимальной турбулизации придонных слоев. Расстояние X в горизонтальной плоскости между осями выходных отверстий насадок при их осесимметричном расположении необходимо принимать $(0,4-0,5) \cdot D$.

Расход через одно сопло Q_1 , скорость на срезе сопла v_0 , критерий Re определяются по следующим выражениям (2)

$$Q_1 = \frac{Q}{n}; v_0 = 4Q_1 / \pi d_0^2; Re = \frac{v_0 d_0 \rho}{\mu}. \quad (2)$$

Параметры струи рассчитываются из выражений 3 и 4 [2]:

$$D_s = d_0 + 6,8a S_{max}; \quad (3)$$

$$v_x = v_0 \frac{0,48d_0}{aS \max 0,14S_0}; \quad (4)$$

где $S_{max} = 100 \cdot d_0$ расстояние, на котором поток вытекающей жидкостью из сопла еще сохраняет способность захватывать жидкость из окружающих слоев перемешиваемой среды: a — коэффи-

циент структуры струи, величина устанавливается экспериментальным путем, $a = 0,06...0,07$, S_0 — площадь сечения струи на срезе сопла.

Время перемешивания τ с учетом проведенных исследований определяется следующим образом:

$$\tau = 0,34 \left(\frac{H}{h} \right)^{0,33} \frac{H^{0,6} D^{1,19} \rho^{0,26}}{\mu^{0,26} g^{0,07} v_0^{0,6} d_0^{0,6}}, \quad (5)$$

где H — высота уровня заполнения рабочей емкости цилиндрического аппарата, м; h — высота установки сопла относительно дна цилиндрического аппарата, м; D — диаметр рабочей цилиндрической емкости, м; μ — динамическая вязкость, Па·с; ρ — плотность жидкой среды, кг/м³.

На рис. 4 представлена расчетная схема основных параметров цилиндрического аппарата с мешалкой.

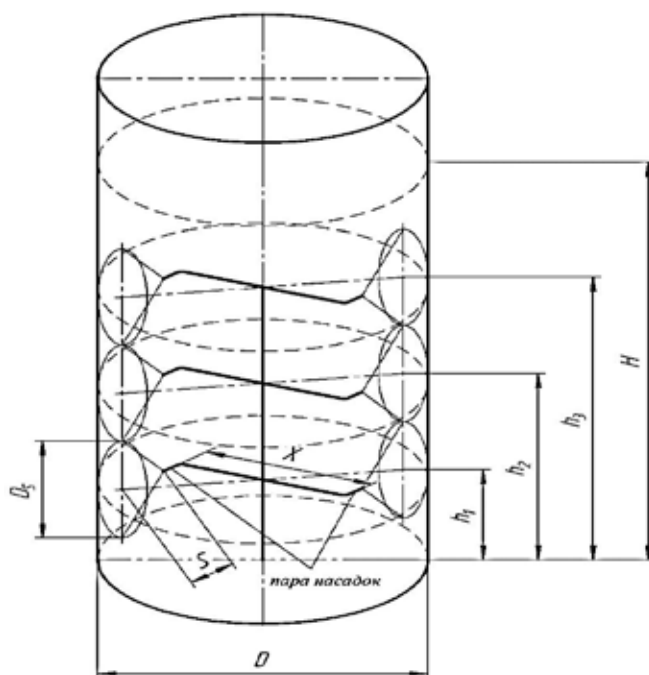


Рис. 4. Расчетная схема цилиндрического аппарата с мешалкой

Система сопел струйной мешалки на рис. 4 представляет собой пары насадок установленных в одной плоскости и направленные выходными отверстиями в противоположные друг другу стороны. Количество пар насадок выбирается исходя из высоты уровня жидкости H таким образом, что бы диаметры распыла D_s факелов рабочих струй на расстоянии S от среза насадка суммарно составляли величину высоту рабочего уровня емкости. При выполнении такого условия турбулизации подвергается наибольший объем обрабатываемой жидкой среды. Значения h_1, h_2, h_3 — расстояния от дна емкости до уровня установки пар насадок.

Выводы. Разработана технология струйного перемешивания жидкотекучих пищевых сред, расчетным и экспериментальным путем установлены основные оптимальные параметры струйного смесителя, технология внедрена на предприятиях пищевой промышленности. Полученные экспериментальные данные позволили разработать методику инженерного расчета цилиндрических аппаратов со струйными мешалками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рухлядева, А. П. Справочник для работников лабораторий спиртовых заводов / А. П. Рухлядева, Т. Г. Филатова, В. С. Чередниченко. — Москва: Пищевая промышленность, 1979. — 232 с.

2. Чугаев, Р. Р. Гидравлика / Р. Р. Чугаев. — Ленинград: Энергия, 1975. — 600 с.

Рукопись статьи поступила в редакцию 30.07.2013

Z.V. Lovkis, A.A. Sadovski

JET MIXING TECHNOLOGY AND ENGINEERING METHOD OF CALCULATING THE MACHINE WITH JET MIXER

The article are explored jet mixing flowable foodstuffs cylindrical apparatus. Are developed technology of jet-mixing of fluid food media, by calculation and experiment are established the basic parameters of the optimal jet mixer. The experimental data are used to develop the methodology of engineering analysis of cylindrical machines with jet mixers.

УДК 66.063.8

В статье изучен механизм процесса смешивания жидкости и твердых материалов в зависимости от свойств смешиваемой среды, конструктивных и кинематических параметров смесителя. Проведен анализ силового воздействия на материальную точку, находящуюся на поверхности эллипсного диска. Получена теоретическая зависимость, позволяющая определить мощность, затрачиваемую на смешивание, введен поправочный коэффициент, учитывающий физико-механических свойств смешиваемой среды и режимы работы смесителя.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ В СМЕСИТЕЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЛИПСНЫХ ДИСКОВ

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск, Беларусь

*З. В. Ловкис, заслуженный деятель науки Республики Беларусь,
член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси,
доктор технических наук, профессор;
А. В. Садовская, младший научный сотрудник*

Процессы смешивания применяются в различных отраслях пищевой промышленности для равномерного распределения составных частей в смесях жидких, твердых и сыпучих компонентов. Смешивание жидкости и твердых материалов приводит к образованию тестообразных масс, таких как мучное тесто, мясные и рыбные фарши, кондитерские и творожная массы. Механизм процесса смешивания таких продуктов зависит от целого ряда факторов, является наименее изученным процессом, основную сложность при этом представляет теоретическое описание процесса смесеобразования [1].

Изучение механических смесителей с вертикальным и горизонтальным расположением валов с рабочими элементами, анализ литературных источников позволили создать рабочий орган смесителя в виде эллипсного диска, установленного под углом к оси вращения. При вращении вала смесителя эллипсный диск, установленный под углом, перемещает некоторый объем среды. Частицы смеси, находясь в контакте с поверхностью лопасти, перемещаются по некоторой траектории вращения, сходят с поверхности одного диска и, увлекаясь потоком, попадают на другую поверхность диска, скользят и сходят, продолжая свое перемещение до полного смешивания. Частица смеси, перемещаясь по диску, достигает верхней кромки диска и далее двигается свободно.