

10. *Лейкин, Ю. А.* Уравнение Грегора для описания кислотно-основного равновесия фосфорсодержащих катионитов / Ю. А. Лейкин, Т. А. Черкасова // Журнал физич. химии. — 2004. — Т.4. — № 5. — С. 625–638.
11. *Jian-Feng Chen.* Derivative analysis of potentiometric titration data to obtain protonation constant / Jian-Feng Chen, Yuan-Xian Xia, Gregory R. Choppin // J. anal. chem. 1996. — Vol. 68. — P. 3973–3978.
12. *Залкин, В. М.* Влияние межзатомного взаимодействия контактирующих веществ на свойства их граничных слоев / В. М. Залкин. // Журнал физич. химии. — 1996. — Т.70. — № 9. — С. 1638–1642.
13. *Овчинников, Ю. А.* Структура и функции ионных насосов биологических мембран / Ю. А. Овчинников, Н. Н. Модянов // Науч. сообщ. Вест. АН СССР. — 1987. — № 12. — С. 34–45.
14. *Lifson, S.* Neighbour interactions and symmetric properties of polyelectrolytes / S. Lifson, B. Kaufman, H. Lifson. // J. Phys. Chem. — 1957. — Vol.27. — № 6. — P. 1356–1362.

Рукопись статьи поступила в редакцию 05.02.2015

V. V. Litvyak, Z. V. Lovkis, S. A. Mechkovsky, I. V. Melsitova, V. I. Domash

STUDY CHARACTERISTICS CONTAINING PROTEIN PREPARATIONS DERIVED FROM CELLULAR POTATO JUICE

The morphological and phase analysis of potato containing squirrels of preparations «Tuberit» and «Tubelak» is carried out, and also I_k-spectroscopic researches are carried out, studied сорбционные свойства (influence essential and toxic metals on sorption capacity) a potato preparation containing fiber «Tuberit».

УДК 663.52

В статье рассмотрен процесс струйного перемешивания жидких пищевых сред, изучена схема взаимодействия струйных потоков, создаваемых статически закрепленными насадками, погруженными в жидкую среду. Предложена конструкция аппарата со струйным смесителем, проведены теоретические исследования и получены аналитические зависимости для определения скорости истечения затопленной струи для конического сходящегося насадка, установленного в цилиндрическом аппарате, скорости распространения струи на расстоянии от насадка, учитывающие конструктивные и технологические параметры струйного смесителя и насадка, силы реакции струи, а также влияние физико-механических свойств обрабатываемой среды.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОТЕКУЧИХ ПИЩЕВЫХ СРЕД

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

З. В. Ловкис, заслуженный деятель науки Республики Беларусь, член-корр. НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, генеральный директор;

А. А. Садовский, кандидат технических наук

Процесс перемешивания жидкотекучих сред широко используется с целью совершенствования технологических процессов и получения однородных дисперсных продуктов [1].

Самыми распространёнными способами перемешивания являются механический (с использованием лопастных мешалок) и циркуляционный (с использованием реакции струи жидкости).

Основным способом перемешивания является механический, при котором используются мешалки с вращательным и возвратно-поступательным движением рабочих органов. Если выбран несоответствующий тип мешалки, то большая часть механической энергии затрачивается напрасно. Кроме того, использование больших лопастных мешалок уменьшает полезный объем аппаратов, а наличие подвижных частей снижает надежность конструкции в целом. К общим недостаткам лопастных мешалок относятся малая интенсивность перемешивания густых и вязких жидкостей, а также полная непригодность для перемешивания легко расслаивающихся веществ.

Проведенные исследования показали, что использование в аппаратах гидродинамической ферментативной обработки струй в процессе перемешивания значительно повышает качественные характеристики сырья перед этапами осахаривания и брожения, что прямым образом влияет на эффективность и производительность технологического процесса производства спирта.

Циркуляционное перемешивание осуществляется при помощи создания напора жидкости двигающейся по замкнутой системе: смеситель—емкость—насос—смеситель. Интенсивность циркуляционного перемешивания зависит от кратности циркуляции, т. е. подачи жидкости в единицу времени к объему жидкости в аппарате. Перемешивание данным способом характеризуется повышением интенсивности и равномерности процесса.

Исследование процесса перемешивания для конкретных продуктов с учетом их свойств и требований, разработка методик расчета перемешивающих устройств, применяемых при гидродинамической обработке смесей, позволяет в конечном итоге повысить эффективность производств различных отраслей промышленности.

При струйном перемешивании передача движения покоящейся жидкости происходит за счет сил трения между элементарными объемами жидкости струи и контактируемой поверхности [2]. Скорость жидкости струи, ее форма и параметры зависят от конфигурации насадка, расхода и давления жидкости, свойств перемешиваемого продукта. Схема перемещения и перемешивания жидкой среды в потоке представлена на рис. 1.

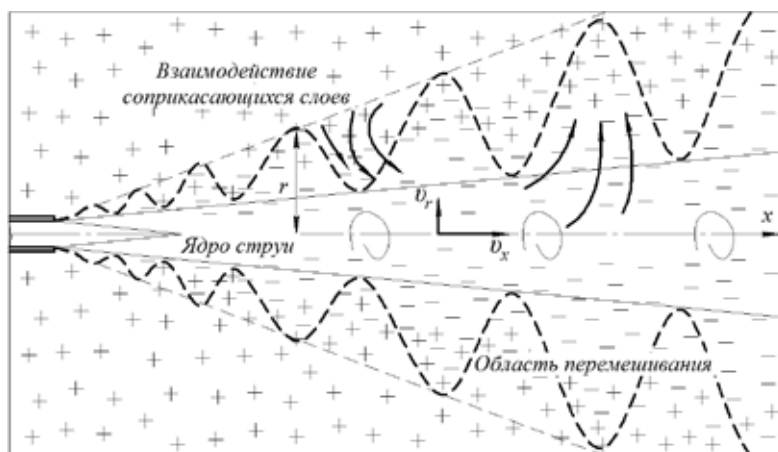


Рис. 1. Схема перемещения и смешивания жидкой среды в потоке:

v_r — скорость потока в поперечном направлении от оси струи; v_x — скорость потока вдоль оси струи;
 r — расстояние от оси струи в поперечном направлении; x — расстояние от насадка по оси струи

Количество вещества, уходящего из струи за счет поперечных пульсаций скорости, увеличивает количество жидкости, увлекаемое из соседних слоев, и интенсифицирует сам процесс, при этом возрастает скорость соседних со струей слоев жидкости. Взаимодействие турбулентных затопленных струй с обрабатываемой средой приводит к созданию локальных зон турбулизации, что обеспечивает создание закрученных потоков и вихрей, которые повышают интенсивность перемешивания. Создание струй обеспечивается применением статически закрепленных насадков, погруженных в жидкую среду [3]. Такой способ перемешивания увеличивает эксплу-

атационную долговечность оборудования, обеспечивает простоту обслуживания и минимальные энергозатраты. Эпюры скоростей и воздействия затопленной струи на преграду схематично изображены на рис. 2.

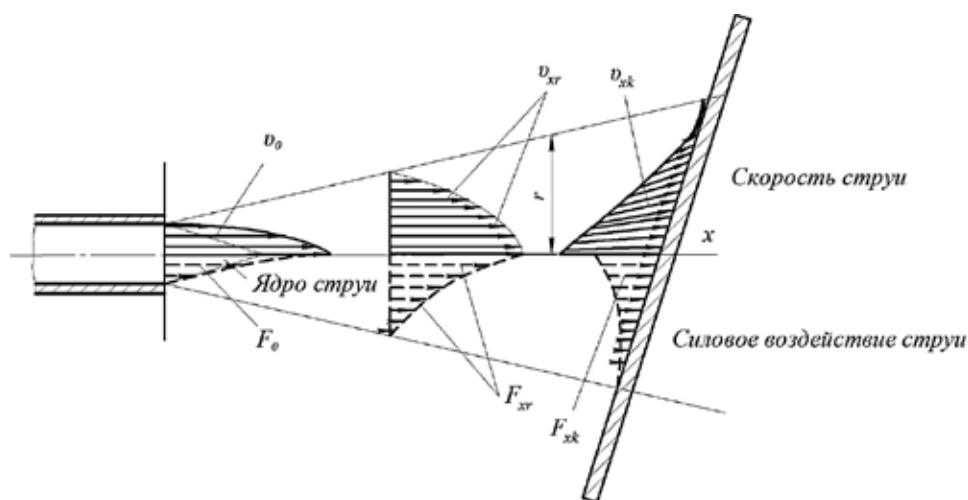


Рис. 2. Эпюры скорости (v_0 , v_{xr} , v_{xk}) и удельной силы (F_0 , F_{xr} , F_{xk}) затопленной струи: v_0 и F_0 — скорость и удельная сила потока при выходе из насадка по оси струи; F_{xr} — удельная сила потока на расстоянии x от насадка и расстоянии r_1 от оси струи; v_{xr} — удельная скорость потока на расстоянии x от насадка и расстоянии r_1 от оси струи; v_{xk} — скорость потока при встрече с преградой; F_{xk} — удельная сила воздействия потока на преграду

Технология струйного перемешивания может быть успешно использована в пищевом производстве, в частности при гидродинамической тепловой обработке зернового замеса, при перемешивании вязкотекучих сред в кондитерской и консервной отраслях, технологиях купажирования растительных масел, винодельческом производстве. Техническим решением для перемешивания жидкотекучих технологических сред являются цилиндрические аппараты со струйным смесителем.

На рис. 3 представлена принципиальная схема цилиндрического аппарата со струйным смесителем. Принцип работы аппарата основан на рециркуляции обрабатываемой жидкости по трубопроводу 3 и струйном перемешивании внутри емкости 1, которое обеспечивают насадки 6. Необходимое для работы давление внутри системы трубопроводов создает насос 4. Насадки струйного смесителя могут быть установлены парами в одной или разных плоскостях, их выходные отверстия могут быть направлены в вертикальных и горизонтальных плоскостях. Количество пар насадков выбирается таким образом, что бы диаметры распыла D_s факелов рабочих струй на расстоянии S от среза насадка суммарно составляли величину рабочего уровня емкости H_p . При выполнении такого условия турбулизации подвергается наибольший объем обрабатываемой жидкой среды.

При исследовании и проектировании цилиндрических аппаратов со струйным смесителем проведены теоретические исследования, получены аналитические зависимости скорости истечения затопленной струи для различных по конструкции насадков на технологические показатели. Основными параметрами при исследовании данной системы являются: ρ — плотность жидкости, кг/м³; μ — динамическая вязкость, Па·с; d_0 — диаметр насадка, мм; v_0 — начальная скорость струи, м/с.

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

Расстояние h между дном емкости и нижней насадкой принимается с учетом обеспечения захвата перемешиваемой среды со дна аппарата и максимальной турбулизации придонных слоев. Расстояние X в горизонтальной плоскости между осями выходных отверстий насадков при их

осесимметричном расположении определяется в соответствии с диаметром емкости и дальностью распространения струи.

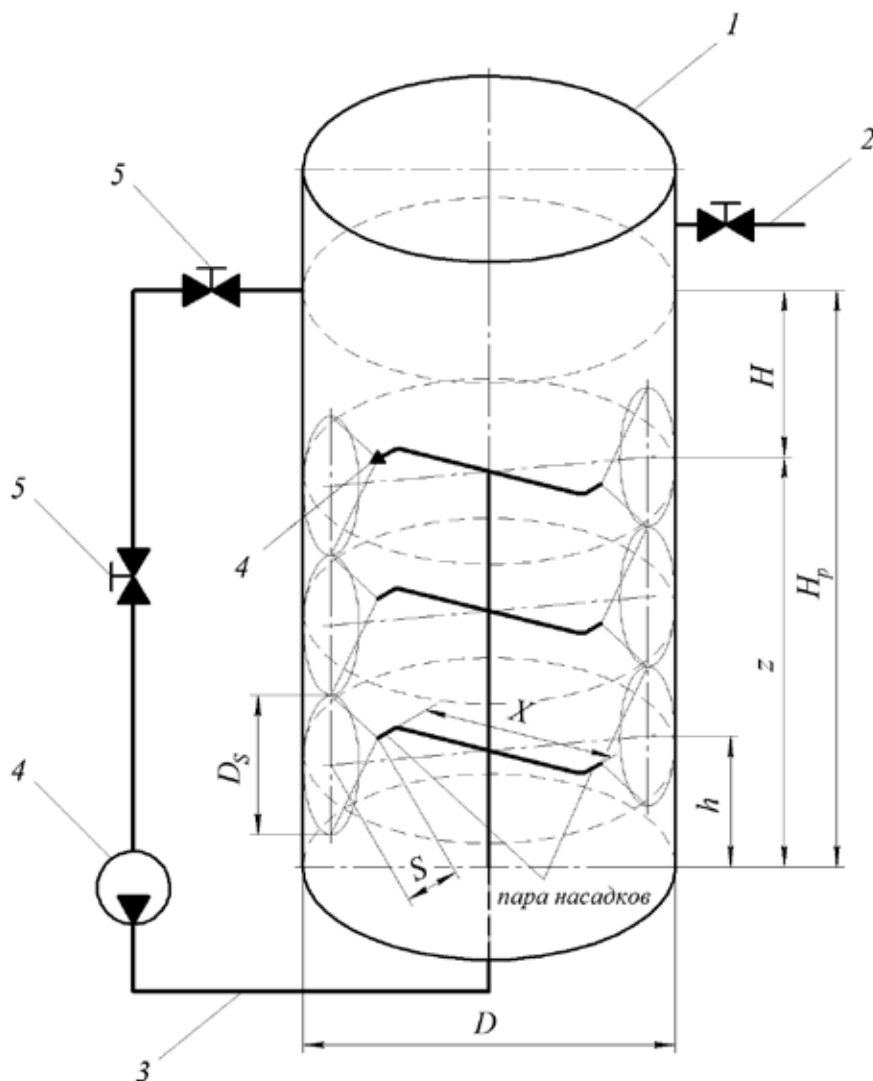


Рис. 3. Схема струйного смесителя:

- 1 — цилиндрическая емкость;
 2 — трубопровод для выгрузки; 3 — циркуляционный трубопровод; 4 — насос;
 5 — система регулировочных клапанов; 6 — насадок

Для определения скорости истечения жидкости через насадок, v_0 с учетом потерь в элементах коммуникаций, составлено и исследовано уравнение Д. Бернулли, получена аналитическая зависимость [4]:

$$v_0 = \phi \sqrt{2g(z+H) + \frac{16Q^2}{\pi^2} \left(\frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4} + \frac{256\nu Q}{\pi d_1^4} (L_1 + L_2) + \frac{16Q^2}{\pi^2 d_1^4} (\xi_1 - \xi_2) + \frac{16Q^2}{\pi^2 d_2^4} (\xi_{отв} + \xi_{расш}) \right)}, \quad (1)$$

где ϕ — коэффициент скорости; z — геометрический напор для сечений, м; H — высота столба жидкости над насадком, м; Q — расход, м³/с; g — ускорение свободного падения, м/с²; d_1 — диаметр циркуляционного трубопровода, м; d_2 — диаметр выходного сечения насадка, м; ν — коэффициент кинематической вязкости жидкой среды, м²/с; L_1 — длина вертикальной части трубопровода, м; L_2 — длина горизонтальной части трубопровода, м; ξ_1 — коэффициент местных потерь напора при повороте трубопровода на 90°; ξ_2 — коэффициент местных потерь напора

при повороте трубопровода на угол α ; $\zeta_{\text{отв}}$ — коэффициент местных потерь напора при огибании кромки насадка; $\zeta_{\text{расш}}$ — коэффициент местных потерь напора при расширении насадка.

Скорость выхода струи из насадка, рассчитанная по зависимости (1), при уменьшении плотности и вязкости перемешиваемой среды уменьшается с 10,3 м/с до 8,1 м/с при диаметре насадка 12 мм. Струя, истекающая в пространство, на выходе из насадка обладает начальной скоростью v_0 , а диаметр сечения осесимметричной круглой струи равен диаметру насадка d_2 . При удалении от начального сечения, скорость струи уменьшается, а диаметр ее сечения увеличивается. На рис. 4 представлена зависимость изменения скорости v_2 для различных диаметров выходного отверстия насадка для начальных условий: $d_1 = 0,032$ м; $z = 1$ м; $H = 2$ м; $\rho = 1000-1400$ кг/м³; $\nu = 1004 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $L_1 = 1$ м; $L_2 = 0,2$ м; $\zeta_1 = 0,14$; $\zeta_2 = 0,05$; $\zeta_{\text{отв}} = 0,1$; $\zeta_{\text{расш}} = 0,5$.

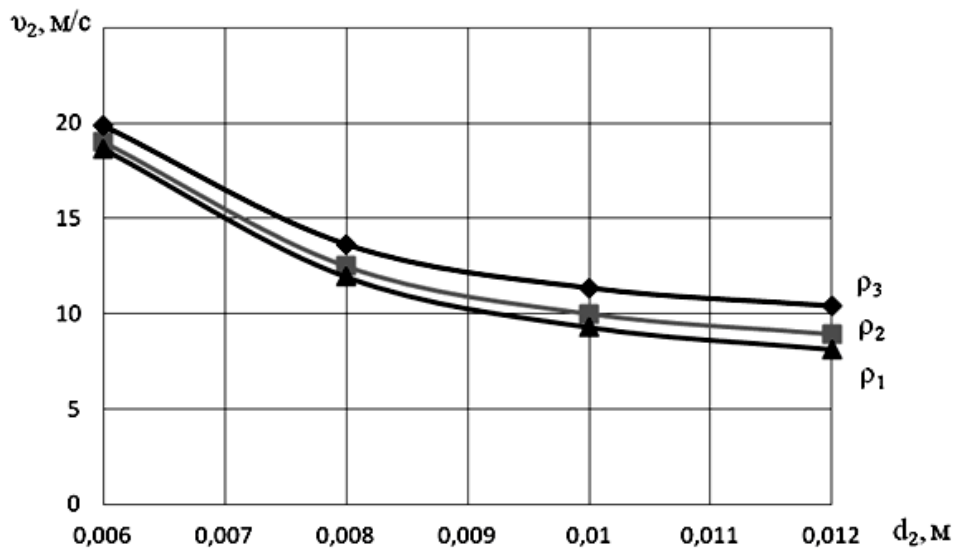


Рис. 4. Зависимость скорости v_0 от диаметра выходного отверстия насадка d_2 при установившемся расходе $Q = 2$ м³/ч: $\rho_1 = 1000$ кг/м³, $\rho_2 = 1200$ кг/м³, $\rho_3 = 1400$ кг/м³

Выражение (1) характеризует распределение скорости по длине струи в свободном неограниченном пространстве, однако, для практического применения струй в промышленных аппаратах необходимо учитывать конструктивные особенности применяемого оборудования и технологические режимы эксплуатации. На рис. 5 представлена схема расположения элементов струйного смесителя в цилиндрическом аппарате.

С учетом расстояния x и скорости выхода струи из насадка было получено выражение для определения скорости затопленной струи v_x на расстоянии x от насадка по оси струи в цилиндрическом аппарате:

$$v_x = \frac{0,96d}{2k\sqrt{R^2 - \sin^2 \alpha (l_{mp} + 4,5 \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot d_{mp} - l_{mp} \cos \alpha - 4,5 \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} (\cos \alpha + 1) \cdot d_{mp} - 4,22(d_{mp} - d_2) + 0,29d_2)}} \times \sqrt{2g(z + H) + \frac{16Q^2}{\pi^2} \left(\frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4} \right)}, \quad (2)$$

где R — радиус цилиндрического аппарата, м; α — угол установки насадка относительно оси Y , °; l_{mp} — длина трубопровода, м; d_{mp} — диаметр трубопровода, м.

С помощью затопленных струй, в зависимости от их расположения, возможно создать как зоны локальной турбулентности создавая встречные потоки, так и обеспечить движение жидкой сре-

ды по всему объему аппарата, устанавливая насадки тангенциально цилиндрической поверхности аппарата.

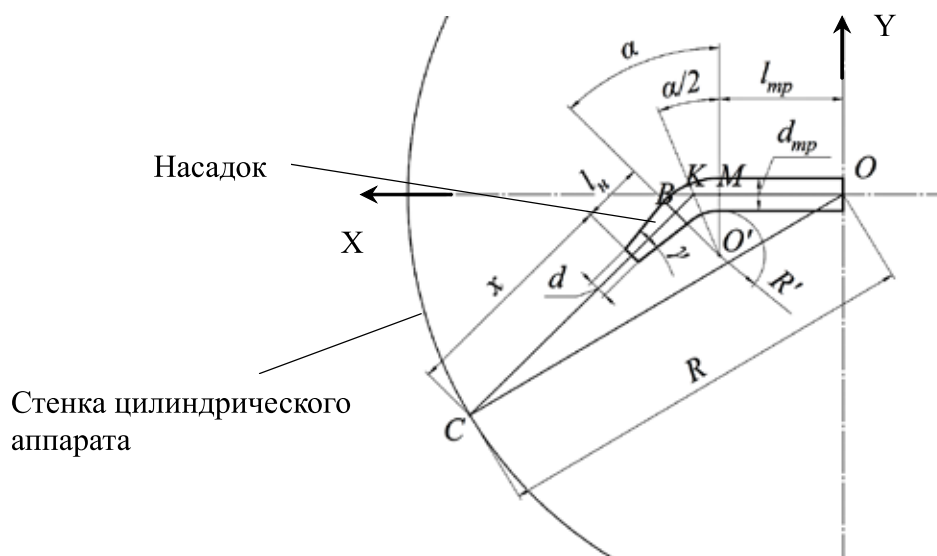


Рис. 5. Схема расположения рабочего органа струйного смесителя в цилиндрическом аппарате

На рис. 6 представлена зависимость относительной скорости струи (v_x/v_0) на расстоянии x от 0 до 1 м для насадков различного диаметра.

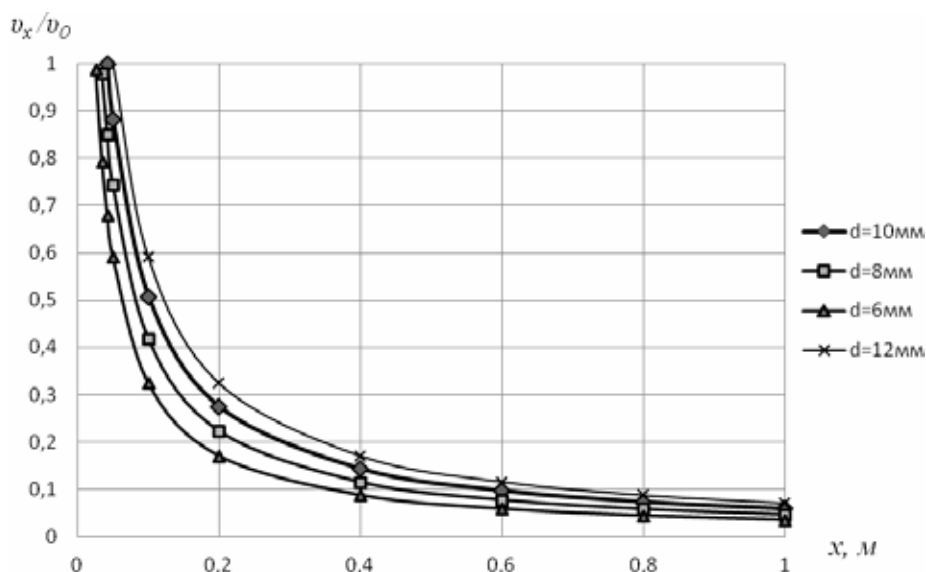


Рис. 6. Зависимость относительной скорости струи от расстояния x до насадка:
 v_x — скорость на расстоянии x от насадка; v_0 — начальная скорость струи при выходе из насадка;
 d — диаметр выходного отверстия насадка

Полученные результаты исследований воздействия затопленных струй на однородную среду позволили обосновать конструктивные параметры струйных смесителей при проектировании нового и модернизации существующего оборудования.

В реальных аппаратах при выходе из насадка, с целью исключения залипания, струя жидкости должна воздействовать на стенку емкости. При встрече со стенкой струя разделится на две части. Согласно теореме Л. Эйлера об изменении количества движения жидкости и анализа

полученных результатов исследований эмпирических зависимостей получено уравнение (3) для определения удельной силы F воздействия струи на стенку аппарата:

$$F = p \frac{\pi d_2^2}{4} \left(\frac{\pi d_2^2 (2p_1 - 2g(H+z) + \frac{16Q^2(1-\xi_1-\xi_2)}{\pi^2 d_1^4} - \frac{256vQ}{\pi d_1^4} (L_1 + L_2))}{4Q(1+\xi_{отв} + \xi_{расш})} \right)^2 \cos \alpha, \quad (3)$$

где p_1 — рабочее давление, Па.

На рис. 7 представлена зависимость удельной силы воздействия струи F для различных параметров насадков установленных под углом α ($0^\circ \dots 80^\circ$).

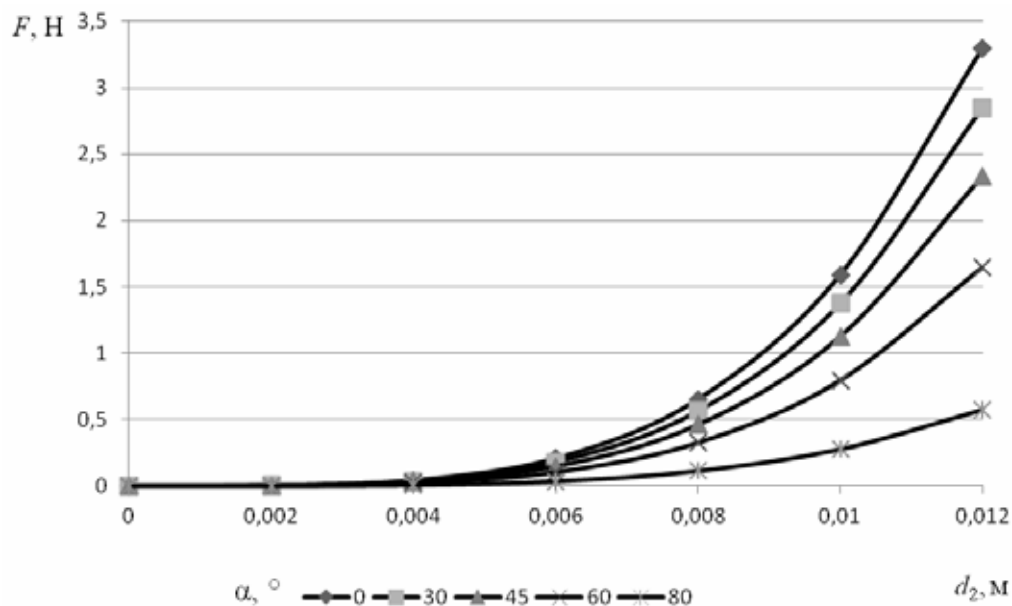


Рис. 7. Зависимость удельной силы воздействия струи F для насадков с выходным диаметром d_2 при различных углах его установки α

Исследования показали, что в зависимости от выходного диаметра насадка и высоты жидкости над ним, наблюдается ламинарный и турбулентный режимы течения. Это обусловлено тем, что с увеличением диаметра выходного отверстия насадка, при неизменном давлении в нагнетающем трубопроводе растет расход через отверстие и, соответственно, увеличиваются силовые характеристики струи и ее скорость. Явление двойственности режимов движения потока при смешивании, в зависимости от уровня жидкости и диаметра насадков, можно использовать для создания в одном аппарате зон турбулентного и ламинарного режимов движения, используя струйный смеситель с одним питающим трубопроводом при поддержании постоянного давления.

В результате теоретического анализа параметров конструкции струйного смесителя получены аналитические зависимости скорости выхода струи из конического сходящегося насадка, установленного в цилиндрическом аппарате, и скорости распространения струи на расстоянии от насадка, учитывающие конструктивные и технологические параметры струйного смесителя и насадка, силы реакции струи, а также влияние физико-механических свойств обрабатываемой среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ловкис, З. В. Гидравлика: учеб. пособие / З. В. Ловкис. — Минск: Беларус. навука, 2012. — 439 с.

2. *Абрамович, Г. Н.* Теория турбулентных струй / Г. Н. Абрамович, Т. А. Гиршович, С. Ю. Крашенинников. — 2-е изд. — Москва: Наука, 1984. — 716 с.
3. *Абрамзон, Л. С.* Гидравлика. Истечение жидкостей через отверстия и насадки. Гидравлические струи. Динамическое воздействие струи на преграду. Кавитация / Л. С. Абрамзон, Л. Г. Колпаков. — Уфа: Изд. Уфимск. нефт. ин-та, 1981. — 88 с.
4. *Садовский, А. А.* Гидродинамическое перемешивание зернового сырья при производстве спирта с обоснованием параметров струйного смесителя: дис. канд. тех. наук: 05.18.12 / А. А. Садовский. — Минск, 2014. — 118 л.

Рукопись статьи поступила в редакцию 26.05.2015

Z. V. Lovkis, A. A. Sadouskii

RESEARCHES OF MIXING OF LIQUID FOOD MEDIUM

In article the process of jet mixing of liquid food medium is considered, the scheme of interaction of the jet streams created by statically fixed orifices immersed into liquid medium is studied. The design of device with the jet mixer is offered, theoretical researches are conducted and analytical dependences for determination of outflow velocity of the flooded stream for conic orifice, installed in the cylindrical device, speed of distribution of a stream at the distance from the orifice, forces of reaction of the stream, and also influence of physical and mechanical properties of the processed medium are received.

УДК 633.1:663.478

В статье представлены результаты ранжирования зернового сырья белорусской селекции по совокупности технологических и биохимических показателей. Разработана номенклатура показателей качества и определены критерии их оценки для получения полисолодовых экстрактов высокого качества. Рассчитаны размеры отклонений и направленность их различий по технологическим и биохимическим показателям относительно разработанных критериев. Установлена последовательность сортов в порядке снижения степени их пригодности для получения полисолодовых экстрактов.

ВЫБОР ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ БЕЛОРУССКОЙ СЕЛЕКЦИИ МЕТОДОМ РАНЖИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИСОЛОДОВЫХ ЭКСТРАКТОВ

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

*Е. М. Моргунова, кандидат технических наук, доцент, заместитель
генерального директора по стандартизации и качеству продуктов питания*

**Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»,
г. Могилев, Республика Беларусь**

*С. Л. Масанский, кандидат технических наук,
профессор кафедры товароведения и организации торговли;
М. Л. Микулинич*

Введение. Для получения полисолодовых экстрактов высокой пищевой ценности необходимо использовать качественное сырье.

Проведенный анализ литературных данных показал, что имеются сведения о технологических свойствах и биохимическом составе зерновых культур, произрастающих в Республике Бе-