

Технологические процессы и оборудование

УДК 664.761

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В РЕШЕНИИ ПРИОРИТЕТНЫХ ЗАДАЧ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ

В.Н. Николаев, Ю.И. Кретова

В статье приводятся данные о состоянии пищевой и перерабатывающей промышленности. На сегодняшний день во многих отраслях агропромышленного комплекса существует ряд системных проблем, к их числу можно отнести недостаток сельскохозяйственного сырья с определенными качественными характеристиками для промышленной переработки; моральный и физический износ технических средств, недостаток производственных мощностей по отдельным видам переработки сельскохозяйственного сырья; низкий уровень конкурентоспособности российских производителей пищевой продукции на продовольственных рынках; слабая инфраструктура хранения, транспортировки и логистики товародвижения пищевой продукции; недостаточное соблюдение экологических требований в промышленных зонах организаций пищевой промышленности. Проведенный анализ отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности в условиях становления рыночной экономики показал, что темпы обновления основных производственных фондов в различных отраслях недостаточны для обеспечения внутреннего рынка в полной мере отечественной продукцией на основе импортозамещения. В связи с этим приоритетными задачами в сфере производства пищевых продуктов являются: модернизация организаций с внедрением современных достижений науки и техники в агропромышленном комплексе для снижения энергопотребления; применение в пищевой и перерабатывающей промышленности ресурсосберегающих технологий и технических средств. Кондитерская промышленность не стала исключением в решении данных задач. Поэтому на сегодня остро стоит решение вопроса о необходимости создания и внедрения новых прогрессивных технологий на базе эффективных технических средств, которые способны устранить данные проблемы. Решить данную задачу можно с помощью новой технологии на базе эффективных технических средств, в особенности смесителей. В статье кратко представлена классификация оборудования для смешивания пищевых сред и проведен ее анализ. Указана необходимость создания новых прогрессивных технологий на базе эффективных технических средств, внедрение которых обеспечивает комплексную механизацию и автоматизацию технологических процессов приготовления сыпучих пищевых сред.

Ключевые слова: пищевая и перерабатывающая промышленности, качество сырья, энергосберегающие технологии и оборудование, смешивание, вибрация, вибрационный смеситель, сыпучие компоненты смеси.

В настоящее время обеспечение гарантированного и устойчивого снабжения населения страны безопасными и качественными продуктами питания является стратегической целью пищевой и перерабатывающей промышленности. Гарантией ее достижения является стабильность внутренних источников продовольственных и сырьевых ресурсов, а также наличие необходимых резервных фондов [1].

На сегодняшний день во многих отраслях агропромышленного комплекса существует ряд системных проблем, к их числу можно отнести недостаток сельскохозяйственного сырья с определенными качественными характеристика-

ми для промышленной переработки; моральный и физический износ технических средств, недостаток производственных мощностей по отдельным видам переработки сельскохозяйственного сырья; низкий уровень конкурентоспособности российских производителей пищевой продукции на продовольственных рынках; слабая инфраструктура хранения, транспортировки и логистики товародвижения пищевой продукции; недостаточное соблюдение экологических требований в промышленных зонах организаций пищевой промышленности.

Проведенный анализ отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности в усло-

Технологические процессы и оборудование

виях становления рыночной экономики показал, что темпы обновления основных производственных фондов в различных отраслях недостаточны для обеспечения внутреннего рынка в полной мере отечественной продукцией на основе импортозамещения.

В связи с этим приоритетными задачами в сфере производства пищевых продуктов являются: модернизация организаций с внедрением современных достижений науки и техники в агропромышленном комплексе для снижения энергопотребления; применение в пищевой и перерабатывающей промышленности ресурсосберегающих технологий и технических средств.

Кондитерская промышленность не стала исключением в решении данных задач, в ней существуют ряд проблем, связанных с качеством приготовления полуфабрикатов для производства кондитерских изделий и износом производственного оборудования, которое составляет в целом по отрасли 40 % [1].

Поэтому на сегодня остро стоит решение вопроса о необходимости создания и внедрения новых прогрессивных технологий на базе эффективных технических средств, которые способны устранить данные проблемы.

Так, в производстве мучных кондитерских изделий наиболее перспективным считается использование готовых концентратов и продуктов многокомпонентного состава – мучных композитных смесей, основными компонентами которых являются сыпучие ингредиенты. Например, в рецептуру сахарного печенья входят мука, сахар-песок или сахарная пудра, крахмал, соль, сухое молоко, какао-порошок, кофе, ванильная пудра, хими-

ческие разрыхлители и другие компоненты. При этом одной из основных проблем является равномерное распределение различных добавок по физико-механическим свойствам, вносимых в небольших количествах по всему объему смеси. Приготовление однородной сыпучей пищевой массы во многом зависит от соотношения смешиваемых компонентов. В связи с этим получение смеси высокого качества при низкой энергоемкости процесса является актуальной задачей.

Решить данную задачу можно с помощью новой технологии на базе эффективных технических средств, в особенности смесителей, основанных на полезном использовании вибрации, внедрение которых обеспечивает комплексную механизацию и автоматизацию технологических процессов приготовления сыпучих пищевых материалов.

Оборудование для смешивания пищевых материалов является ведущим в технологических линиях производства пищевых продуктов путем соединения из компонентов сельскохозяйственного сырья. Процессы в этом оборудовании значительно определяют эффективность последующих процессов и формируют качество готового продукта. Оно предназначено для получения однородных смесей двух или нескольких компонентов, обеспечения однородной консистенции при хранении, а также ускорения тепло- и массообмена в процессе производства продуктов.

Перемешивающие аппараты можно классифицировать по различным признакам (рис. 1) [2, 3].

Для перемешивания пищевых продуктов, находящихся в одинаковом или различном

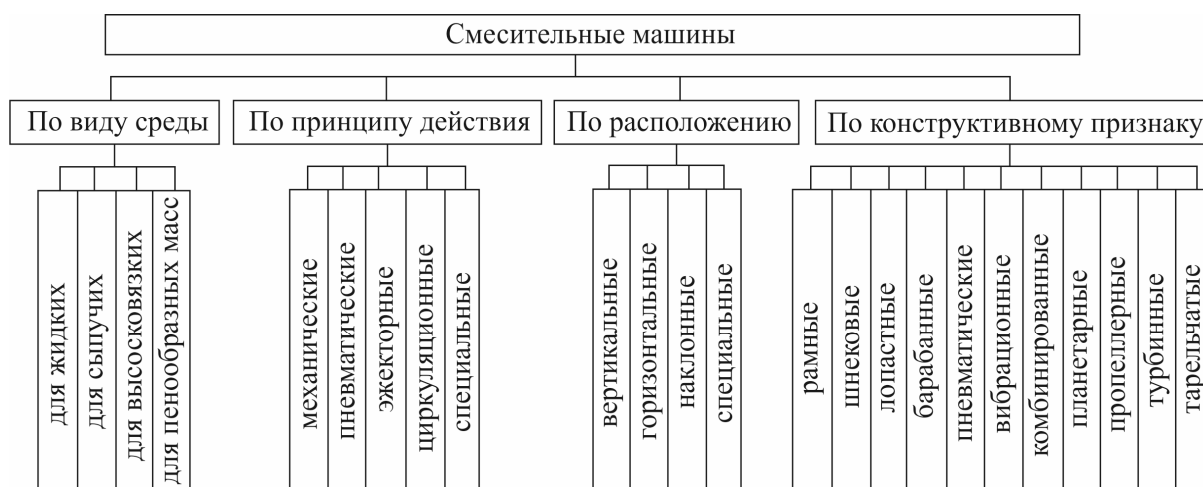


Рис. 1. Классификация смесительных машин

фазовом состоянии, могут применяться смесители с идентичными рабочими органами [4].

Классификация позволяет создать единые методики расчета кинетики процесса смешивания для смесителей конструктивно различных, но с одинаковым механизмом процесса перераспределения частиц в рабочем объеме смесителей.

В технологии приготовления сыпучих смесей различных компонентов нашли широкое применение лопастные, барабанные и центробежные смесители [2]. Однако качество получаемых смесей в этих смесителях не всегда удовлетворяет современным требованиям.

На основе проведенного анализа научных исследований по процессу смешивания сыпучих материалов [5–10] для приготовления сыпучих пищевых сред высокой однородности разработана новая конструкция вибросмесителя с активными перемешивающими элементами [11].

Предлагаемый новый универсальный вибросмеситель (рис. 2) имеет цилиндрический контейнер 3, упруго установленный на раме 10, посредством пружинных опор 9. Контейнер снабжен загрузочной горловиной 6 и выгрузным патрубком 11. Внутри контейнера расположен вал 5, с закрепленными на нем перемешивающими элементами: лопатками 2 и пружинами 4. На концах вала закреплены дебалансные вибровозбудители 1. Вал через упругую муфту 7 соединен с приводной станцией 8.

Универсальный вибросмеситель работает следующим образом. От приводной станции 8

через упругую муфту 7 вал 5 приводится во вращение. Дебалансное вращение вала приводит к колебательному движению контейнера по эллиптической траектории с высокими ускорениями. Сыпучие компоненты загружаются через загрузочную горловину 6, попадая в зону воздействия лопаток 2. Для этой зоны характерны большие скорости перемешиваемого материала в осевом направлении вала. В основном здесь происходят перемещения крупных слоев материала, что обуславливает перемешивание на уровне макрообъемов. Далее материал перемещается в зону действия пружин 4, где снижается его скорость в осевом направлении вала.

Пружина активно разбивает перемешиваемый материал на множество потоков, одновременно вызывая при этом их завихрения и взаимное перемешивание, что позволяет добиться смешивания на уровне микрообъемов. Ускорения контейнера столь велики, что находящаяся в нем масса сыпучего материала при колебаниях то отрывается от внутренней поверхности корпуса, то контактирует с ней, что увеличивает интенсивность вибрации сыпучего материала. Материал, выходя из зоны воздействия пружины, продолжает получать эллиптические колебания от контейнера и вала и находится в состоянии «виброкипения», что препятствует сегрегации и потери достигнутой степени однородности. В состоянии «виброкипения» частицы подсакаивают, сталкиваются друг с другом и совершают отражательные броски, вращаются и соударяются с внутренней поверхностью контейнера и перемешивающими элементами.

Циркуляционное движение сыпучего ма-

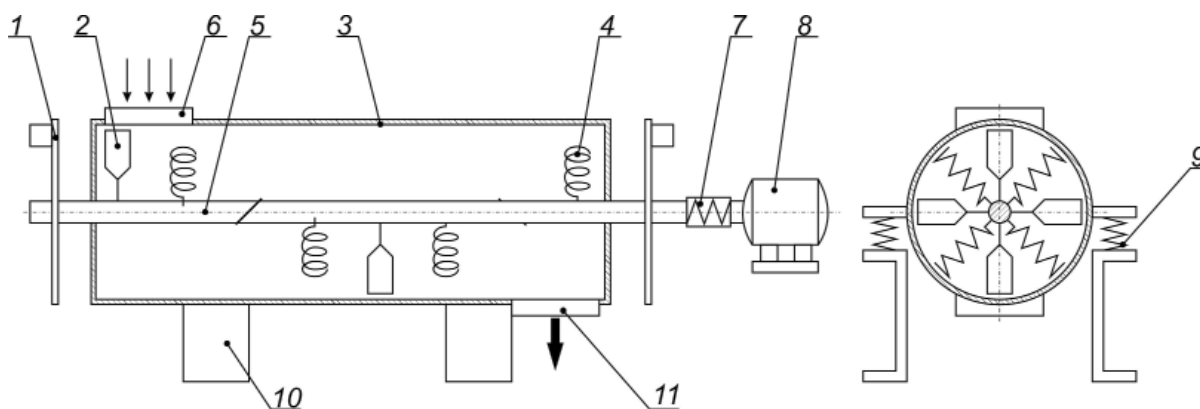


Рис. 2. Универсальный вибросмеситель: 1 – вибровозбудитель; 2 – лопатка; 3 – контейнер; 4 – пружина; 5 – вал; 6 – загрузочная горловина; 7 – упругая муфта; 8 – приводная станция; 9 – опора; 10 – рама; 11 – выгрузной патрубок

териала в вибрирующем контейнере вибросмесителя за счет перемешивающих элементов приводит к сокращению времени приготовления высококачественной смеси, повышению его производительности и снижению удельной энергоемкости процесса. Выгрузка готовой смеси сыпучего материала из контейнера осуществляется посредством разгрузочного патрубка 6.

Лопатки 2 выполнены в виде плоских пластин и расположены на валу по винтовой линии, чередуясь с пружинами 4. Изменяя направления и выбирая оптимальные значения угла поворота лопаток возможно добиться образования различных траекторий движения материала внутри вибрируемого цилиндрического контейнера вибросмесителя. Это один из способов интенсификации процесса смешивания. Преимущество универсального вибросмесителя перед аналогами: простота изготовления, возможность смешивать сыпучие материалы совместно с жидкостями, что, конечно, расширяет область применения данного смесителя.

Все исследователи признают, что качество смешивания сыпучих компонентов определяется не только конструктивными особенностями смесителей, но и в значительной мере физико-механическими свойствами смешиваемых материалов, разностью их плотностей и размеров. Чем больше эти отличия, тем труднее идет процесс смешивания.

На сегодняшний день имеется множество моделей поведения сыпучей среды при вибрациях: модель материальной частицы, материальной частицы с приведенными параметрами, феноменологические модели слоя материала, модель среды в виде поршня с отверстием, модель с распределенными параметрами среды, модель сплошной среды, модель среды в виде вязкой жидкости.

Ни одна из существующих моделей не позволяет в полной мере оценить и учесть влияние параметров вибрации на выходные показатели смесителя. Поэтому для теоретического описания процесса смешивания решено использовать комбинацию двух моделей среды – модель материальной частицы и модель в виде вязкой жидкости.

Теоретический расчет основных параметров вибрационного смесителя сыпучих пищевых масс проводится, исходя из учета условий создания и поддержания среды в состоянии «виброкипения». Для перевода среды в состояние «виброкипения» необходимо соблю-

дение условия: сила инерции, действующая на частицу компонента, превышает силы ее тяжести и трения.

Отношение силы инерции к силам сопротивления (трения и тяжести) называется коэффициентом режима работы вибрационного смесителя (перегрузки):

$$\Gamma = \omega^2 \cdot A/g, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость вращения вала с вибровозбудителями, c^{-1} ; A – амплитуда колебаний, м; g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Для перевода среды в состояние «виброкипения» коэффициент режима работы вибрационного смесителя рекомендуется принимать в пределах

$$1,5 \leq \Gamma = \omega^2 \cdot A/g \leq 3. \quad (2)$$

Величина амплитуды для применяемых в данной конструкции инерционных (дебалансных) вибровозбудителей составляет 1...3 мм.

Задавшись значением амплитуды, можно определить частоту вращения вала с вибровозбудителями, а затем по известным зависимостям определить производительность.

Для достижения стохастического движения частиц перемешиваемого материала относительная высота слоя материала, вычисленная как отношение высоты наполнения смесителя h материалом к длине контейнера смесителя L , должна быть меньше единицы.

Минимальная длина контейнера L вибрационного смесителя определяется из соотношения начальной высоты слоя материала и угла естественного откоса γ при свободной засыпке.

Скорость прохождения материала по длине контейнера сильно отличается в различных его зонах, поэтому при её определении необходимо учитывать следующие коэффициенты: k_{nc} – коэффициент передачи скорости; k_{tc} – коэффициент, учитывающий толщину слоя материала; k_{nc} – коэффициент, учитывающий угол наклона контейнера к горизонту.

Коэффициент передачи скорости зависит от размера перемещаемых частиц, для сыпучих кормов его рекомендуется принимать в пределах 0,85...0,7. Значение коэффициента толщины слоя будет зависеть от диаметра и коэффициента заполнения контейнера. В предлагаемом смесителе применяются лопатки, способствующие движению компонентов смеси вдоль контейнера, поэтому угол наклона контейнера к горизонту достаточен в пределах до восьми градусов. При эллиптических

колебаниях угол вибрации равен нулю. Скорость транспортирования сыпучего материала изменяется пропорционально коэффициенту снижения внутреннего трения K_3 , который для различных сыпучих материалов находится в пределах от 1,4 до 1,8.

С учетом изложенного формула средней скорости транспортирования сыпучей смеси, при которой обеспечивается ее высокая однородность, принимает следующий вид:

$$V = k_{пс} \cdot k_{тс} \cdot k_{ун} \cdot K_3 \cdot A \cdot \omega. \quad (3)$$

Производительность вибрационного смесителя зависит от его конструктивных параметров, скорости транспортирования сыпучих кормов, насыпной плотности материала и коэффициента заполнения контейнера.

Производительность универсального вибросмесителя Q , т/ч, с учетом выражения (3) определяется по формуле

$$Q = k_{пс} \cdot k_{тс} \cdot k_{ун} \cdot K_3 \cdot A \cdot \omega \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \psi, \quad (4)$$

где ρ – насыпная плотность перемешиваемого материала, кг/м³; ψ – коэффициент заполнения контейнера.

Для получения высокого качества смеси при низкой энергоемкости процесса смешивания в универсальном вибросмесителе необходимо задать постоянство характера циркуляционного движения сыпучей смеси в состоянии «виброкипения», при которых процесс смешивания будет проходить более эффективно в турбулентном режиме. Эффективность объясняется тем, что при интенсивном циркуляционном движении сыпучего материала предотвращается возникновение застойных (мертвых) зон, что способствует получению качественной смеси. Добиться этого возможно тогда, когда средняя скорость движения и циркуляция сыпучего материала в рабочем органе вибросмесителя будут иметь постоянное значение, следовательно, турбулентная вязкость и производительность будут постоянной величиной. Вибрационное воздействие снижает вязкость сыпучего материала, способствует разрушению образующихся агрегатов частиц и тем самым создает условия более равномерного распределения газового потока и частиц во всем объеме слоя материала.

Движение закрученного потока сыпучего материала в состоянии «виброкипения», соответствующее турбулентному режиму в цилиндрическом контейнере вибросмесителя, при котором происходит снижение вязкости сыпучего материала, в цилиндрической системе координат можно записать для касатель-

ных и нормальных напряжений в виде системы уравнений Навье–Стокса.

Потенциальный вращательно-поступательный поток сыпучего материала при движении по длине цилиндрического контейнера в силу действия вязкости может трансформироваться в сложный свободно-вынужденный вихрь, который способствует интенсивному смешиванию компонентов смеси.

Использование моделей поведения сыпучего корма в виде вязкой среды, а также в виде материальной частицы при вибрации позволит выявить характер его движения в рабочем органе и обосновать основные параметры.

На основе теоретических и предварительных экспериментальных исследований были обоснованы основные параметры вибрационного смесителя сыпучих пищевых масс. Для многих сыпучих компонентов угол естественного откоса составляет 35...40 градусов, тогда минимальная длина контейнера составляет 210 мм. Наибольшими по размерам перемешиваемыми сыпучими компонентами могут быть цельные зерна пищевого сырья: задавшись значениями длины, ширины и толщины зерновки получаем значение эквивалентного диаметра сыпучего материала, равное 7 мм, поэтому шаг витков перемешивающих пружин принимаем равным 8 мм. Коэффициент заполнения контейнера принимаем равным 0,6. Амплитуда вибрации контейнера составляет 2 мм. Диаметр цилиндрического контейнера предлагаемого смесителя принимаем равным 250 мм, тогда расстояние между ближайшими перемешивающими элементами составляет 125 мм. По выражению (1) определено значение угловой скорости, которое составило $\omega = 80 \text{ с}^{-1}$, при данном значении скорости сыпучая среда приводится в состояние «виброкипения». Приводная мощность электродвигателя составляет 0,75 кВт. Производительность предлагаемого вибрационного смесителя при этом составляет более 3 т/ч. Возможно изменение значения производительности путем варьирования величин диаметра и коэффициента заполнения цилиндрического контейнера. Однородность смеси при указанных параметрах достигается более 93 %.

Технико-экономический эффект достигается за счет получения высокой однородности смеси при низкой энергоемкости процесса, которая составляет 0,25 кВт·ч на 1 т готового продукта, что значительно ниже расхода электроэнергии других смесителей.

Таким образом, рациональные значения основных параметров предлагаемого универсального вибросмесителя позволяют получить качественную смесь сыпучих пищевых сред при низкой энергоемкости процесса и заданной производительности.

В целом можно отметить, что своевременное внедрение энергосберегающих технологий и оборудования в пищевых производствах способствует эффективному решению задач, стоящих на сегодняшний день перед пищевой промышленностью, что делает данную отрасль более привлекательной с точки зрения обеспечения гарантированного и устойчивого снабжения населения страны безопасным и качественным продовольствием.

Литература

1. Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности России на период до 2020 г. / Распоряжение Правительства РФ от 17 апреля 2012 г. № 559-р.
2. Машины и аппараты пищевых производств: учеб. для вузов: в 2-х кн. / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001. – Кн. 1. – 703 с.
3. Машины и аппараты пищевых производств: учеб. для вузов: в 3-х кн. / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 2009. – Кн. 2. – 847 с.
4. Драгилев, А.И. Технологические машины и аппараты пищевых производств: учебники и учеб. пособия для студентов высш. учебн. заведений / А.И. Драгилев, В.С. Дроздов. – М.: Колос. 1999. – 376 с.
5. Оборудование для переработки сыпучих материалов: учебное пособие / В.Я. Нортон, Ю.Л. Гусев, М.Л. Прошон, А.С. Тимонин. – М.: Изд-во «Машиностроение-1». – 2006. – 208 с.
6. Федоренко, И.Я. Механико-технологическое обоснование и разработка вибрационных кормоприготовительных машин: дис. ... д-ра техн. наук / И.Я. Федоренко. – Челябинск, 1992. – 392 с.
7. Евсеенков, С.В. Повышение эффективности процесса смешивания компонентов сыпучих кормов: дис. ... д-ра техн. наук / С.В. Евсеенков. – Саратов, 1994. – 360 с.
8. Бакин, И.А. Интенсификация процесса смешивания при получении комбинированных продуктов в аппаратах центробежного типа: дис. ... д-ра техн. наук / И.А. Бакин. – Кемерово, 2009. – 320 с.
9. Бородулин, Д.М. Разработка и исследование непрерывнодействующего смешительного агрегата центробежного типа для получения сухих комбинированных продуктов: дис. ... канд. техн. наук / Д.М. Бородулин. – Кемерово, 2003. – 231 с.
10. Иванец, В.Н. Интенсификация процесса смешивания высокодисперсных материалов направленной организацией потоков: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Одесса, 1989. – 32 с.
11. Патент РФ №2417829. Вибрационный смеситель / В.Н. Николаев, Э.Н. Гайнуллин, Е.В. Зязев. – Опубл. в Б.И. № 13, 2011.

Николаев Владислав Николаевич. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии пищевых производств», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), tmgnikolaev@mail.ru.

Кретова Юлия Игоревна. Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, и.о. зав. кафедрой «Оборудование и технологии пищевых производств», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), kretova555@mail.ru

Поступила в редакцию 6 ноября 2014 г.

INNOVATION APPROACHES TO THE SOLUTION OF PRIORITY TASKS OF FOOD INDUSTRY WITH THE USE OF ENERGY-SAVING TECHNOLOGY AND EQUIPMENT

V.N. Nikolaev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Y.I. Kretova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The article highlights data of the state of food and processing industry. At present in many branches of agribusiness industry there are system problems including the lack of agricultural raw materials with qualitative characteristics for industrial processing; obsolescence and physical deterioration of technical means, lack of production facilities by the types of agricultural raw materials processing; low level of competitiveness of the Russian manufacturers of food products at food markets; weak infrastructure of storage, transportation and logistics of food products distribution; insufficient compliance of environmental requirements in industrial zones of food industry enterprises. The analysis of food and processing industry in terms of market economy shows the rates of updating basic production facilities in different branches are insufficient to provide domestic market with domestic products based on import substitution. In this connection priority tasks in the sphere of food products production are modernization of companies with implementation of modern achievements of science and engineering in agricultural business to reduce energy consumption; application of resource saving and technologies and means in food and processing industry. Pastry industry is not an exception in the solution of such problems. Nowadays there is the urgent necessity of development and implementation of advanced technologies on the basis of efficient technical means which help to prevent such problems. Advanced technology on the basis of efficient technical means such as a mixing tool can solve this problem. The article gives brief classification of the equipment to mix food media and its analysis is performed. The necessity to develop advanced progressive technologies on the basis of efficient technical means the implementation of which provides integrated mechanization and automation of technological processes to produce free-running food media.

Keywords: food and processing industry, quality of raw materials, energy-saving technologies and equipment, admixture, vibration, vibration mixing tool, free-running components of mixture.

References

1. *Strategiya razvitiya pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossii na period do 2020 g.* [Strategy for Food and Processing Industry Development in Russia for the Period up to 2020]. Directive of the Russian Government no. 559-p of April 17, 2012.
2. Antipov S.T., Kretov I.T., Ostrikov A.N. et al. *Mashiny i apparaty pishchevykh proizvodstv* [Machines and Equipment of Food Production]. In 2 vol. Vol. 1. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2001. 703 p.
3. Antipov S.T., Kretov I.T., Ostrikov A.N. et al. *Mashiny i apparaty pishchevykh proizvodstv* [Machines and Equipment of Food Production]. In 2 vol. Vol. 2. Ed. 2. Moscow, Kolos Publ., 2009. 847 p.
4. Dragilev A.I., Drozdov V.S. *Tekhnologicheskie mashiny i apparaty pishchevykh proizvodstv* [Technological Machines and Equipment for Food Production]. Moscow, Kolos Publ., 1999. 376 p.

5. Norton V.Ya., Gusev Yu.L., Proshon M.L., Timonin A.S. *Oborudovanie dlya pererabotki sypuchikh materialov* [Equipment for Free-Running Materials Processing]. Moscow, : uchebnoe posobie / V.Ya. Norton,. – M.: Mashinostroenie-1 Publ., 2006. 208 p.

6. Fedorenko I.Ya. *Mekhaniko-tekhnologicheskoe obosnovanie i razrabotka vibratsionnykh kor-moprigotovitel'nykh mashin* [Mechanical and Technological Grounds and Development of Vibration of Feeding Machines]. Thesis Dr. Sc. (Engineering), Chelyabinsk, 1992. 392 p.

7. Evseenkov S.V. *Povyshenie effektivnosti protsessa smeshivaniya komponentov sypuchikh kor-mov* [The Increase of Efficiency of Mixing Process of Free-Running Food Components]. Thesis Dr. Sc. (Engineering), Saratov, 1994. 360 p.

8. Bakin I.A. *Intensifikatsiya protsessa smeshivaniya pri poluchenii kombinirovannykh produktov v apparatakh tsentrobezhnogo tipa* [Intensification of the Process of Mixing at Combined Products Production in a Rotary-Type Machines]. Thesis Dr. Sc. (Engineering), Kemerovo, 2009. 320 p.

9. Borodulin D.M. *Razrabotka i issledovanie nepreryvnodeystvuyushchego smesitel'nogo agregata tsentrobezhnogo tipa dlya polucheniya sukhikh kombinirovannykh produktov* [Development and Analysis of Continuous Mixing Tool of a Rotary Type to Produce Dry Combined Products]. Thesis Cand. Sc. (Engineering). Kemerovo, 2003. 231 p.

10. Ivanets V.N. *Intensifikatsiya protsessa smeshivaniya vysokodispersnykh materialov napravlennoy organizatsiey potokov* [Intensification of a Mixing Process for High-Dispersity Materials of Directed Flows]. Abstr. thesis. Dr. Sc., Odessa, 1989. 32 p.

11. Nikolaev V.N., Gaynullin E.N., Zyazev E.V. *Vibratsionnyy smesitel'* [Vibration Mixing Tool]. Patent RF no. 2417829, Bul. no. 13, 2011.

Nikolaev Vladislav Nikolaevich, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department “Equipment and technology of food production”, South Ural State University (Chelyabinsk), tmgnikolaev@mail.ru.

Kretova Yulia Igorevna, Candidate of Science (Agriculture), associate professor, Department “Equipment and technology of food production”, South Ural State University, Chelyabinsk, kretova555@mail.ru.

Received 6 November 2014