

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЕГРЕГИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Н. Долгунин, Ю.В. Шарый, И.А. Лебеденко, О.В. Юмашева

*Кафедра «Технологии продовольственных продуктов», ГОУ ВПО «ТГТУ»;
topt@topt.tstu.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: время пребывания; моделирование; сегрегированный поток; смешение; управление.

Аннотация: Предложен метод снижения пульсаций концентрации смеси зернистых материалов в процессе непрерывного ее приготовления при порционном микродозировании одного из компонентов путем воздействия на сегрегированные потоки частиц в рабочем объеме смесителя. Приведены результаты комплексного исследования характеристик структуры сегрегированных потоков и эффективности предложенного метода при его реализации в барабанном аппарате с подъемными лопастями.

Обозначения

c – концентрация контрольного компонента, $\text{кг}\cdot\text{кг}^{-1}$;

D – диаметр барабана, м;

$D_{\text{пр}}$ – коэффициент продольного перемещения, $\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$;

$F_{\text{л}}^*$, $F_{\text{д}}$ – площадь поперечного сечения засыпки материала на лопасти барабана при выходе из завала и падающего на отклоняющие элементы соответственно, м^2 ;

G – массовая скорость движения материала вдоль барабана, $\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}$;

$g_i(z)$ – функция плотности распределения потока частиц вдоль барабана после i -й ячейки, м^{-1} ;

$\Gamma_{\text{л}}^+$, $\Gamma_{\text{л}}^-$, $\Gamma_{\text{во}}^+$, $\Gamma_{\text{вл}}^+$ – функции источников (стоков) целевого компонента, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{с}^{-1}$;

L – длина барабана, м;

l – длина отклоняющей ячейки, м;

n – количество подъемных лопастей в барабане;

S – площадь поперечного сечения засыпки материала в барабане, м^2 ;

V_c – коэффициент вариации, %;

W – скорость продольного поступательного движения частицы, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$;

z – декартова координата, м;

α_0 – угол наклона отклоняющих элементов к горизонту;

$\beta_{\text{бар}}$ – коэффициент заполнения барабана, $\text{м}^3\cdot\text{м}^{-3}$;

ρ – плотность частиц, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$;

τ – время, с;

ω – угловая скорость вращения барабана, с^{-1} .

Индексы

i – относящийся к i -й ячейке управляющей насадки или i -му сектору угла поворота подъемной насадки;

j – относящийся к контрольному компоненту;

o, l – характерные для отклоняющих элементов и лопастной насадки соответственно.

Приготовление смесей зернистых материалов, компоненты которых существенно различаются по размеру и плотности частиц, является сложной технологической задачей. Это объясняется тем, что в рабочем объеме смесителя формируются сегрегированные потоки смеси, которые состоят из более однородных частиц, чем технологический поток в целом, занимают доминантные для них области рабочего объема и отличаются друг от друга структурными и кинематическими

характеристиками. Традиционная практика решения названных проблем заключается в использовании различного рода средств для разрушения сегрегированных потоков (сегрегированных объемов) зернистой среды с целью предотвращения их развития. В общем случае такой подход недостаточно эффективен в связи с избыточными энергозатратами и локальным характером эффекта разрушения.

В значительной мере технологические проблемы осложняются в том случае, когда осуществляется процесс непрерывного приготовления смеси с высокой неоднородностью частиц при микродозировании одного из компонентов. Причина дополнительных проблем заключается в возрастании относительной погрешности дозирования, которое в этом случае может сопровождаться столь же значительным нарушением динамического баланса между отдельными частями сегрегированного технологического потока.

Одним из способов повышения точности дозирования является весовое порционное приготовление доз. Однако при этом необходимо учитывать, что порционная подача микродозы компонента обеспечивает высокую однородность его распределения в смеси при интегральной ее оценке за достаточно длительный период времени. С другой же стороны, порционное дозирование компонента создает условия для неоднородного распределения дозы в потоке при оценке однородности распределения за периоды времени, сопоставимые с периодом подачи доз. Очевидно, что однородность распределения доз в технологическом потоке зависит от частоты их подачи и характеристик структуры сегрегированных потоков в технологическом оборудовании. Теоретически всегда существуют такие характеристики потока, которые обеспечивают требуемую однородность распределения в нем порционно подаваемых компонентов.

Ранее, в работе [1], для решения различного рода технологических задач было предложено оказывать целенаправленное воздействие на характеристики структуры потоков по отдельным компонентам неоднородного зернистого материала путем управления сегрегированными потоками частиц в рабочем объеме оборудования. Рассматриваемый принцип получает дальнейшее развитие применительно к решению задачи повышения однородности смеси при непрерывном ее приготовлении и порционном микродозировании одного из ее компонентов.

Проведено комплексное исследование, которое имело своей целью определение воздействия на сегрегированный поток зернистого материала в рабочем объеме смесителя, в результате чего характеристики структуры потока обеспечили необходимую степень сглаживания импульсов концентрации, обусловленных порционной подачей одного из компонентов.

В качестве модельного объекта исследования использован барабанный аппарат с периферийной подъемной насадкой. Выбор объекта исследования объясняется его широким промышленным использованием для организации тепломассообменных и гидромеханических процессов и, кроме того, тем, что в нем ярко проявляются эффекты образования сегрегированных потоков [2].

В барабанном аппарате с подъемными лопастями сегрегированные потоки материала зарождаются в быстром гравитационном потоке частиц скатывающегося слоя засыпки материала в нижней части барабана. Вследствие этого, имеет место неоднородное распределение компонентов смеси на лопасти при ее заполнении материалом засыпки и наблюдается преимущественное ссыпание с лопастей одних компонентов в подъемной, а других – в опускной части барабана.

Исследование проведено с использованием экспериментальной установки с вращающимся барабаном диаметром 0,3 м и длиной 1,2 м. На внутренней поверхности барабана закреплены подъемные Г-образные лопасти, а в его центральной части размещена насадка, управляющая сегрегированными потоками, выполненная в виде двух рядов воронок с наклонными течками. Течки закреплены на во-

ронках с возможностью поворота вокруг их вертикальной оси. За счет поворота течек воронок, расположенных в подъемной и опускной частях барабана, достигается изменение величины и направления импульсов, сообщаемых сегрегированным потокам падающих частиц.

Исследование проведено в два этапа. На первом этапе выполнена экспериментальная проверка эффективности предложенного технического решения по организации процесса смешения и определен комплекс исходных данных, необходимых для разработки математической модели процесса и проверки ее адекватности. На втором этапе осуществлена разработка математической модели и проведено моделирование различных вариантов организации процесса смешения.

Для организации процесса приготовления смесей при порционном микродозировании компонента с высокой склонностью к сегрегации предлагается техническое решение, сущность которого заключается в следующем. Вследствие образования в аппарате сегрегированных потоков зернистого материала в зависимости от свойств микрокомпонента смеси, будет наблюдаться его преимущественное перемещение либо в подъемной, либо в опускной части барабана. Очевидно, что при этом будет сохраняться в определенной степени импульсный характер перемещения отдельных порций. Для сглаживания импульсов предлагается воздействовать на сегрегированный поток, обогащенный контрольным микрокомпонентом, импульсами, направленными навстречу основному технологическому потоку. В результате такого воздействия будет происходить накапливание микрокомпонента в головной части аппарата. В разгрузочной же его части концентрация микрокомпонента будет постепенно увеличиваться от нулевого значения до регламентного. Наличие в загрузочной части барабана условно «буферной» массы микрокомпонента будет обеспечивать сглаживание импульсов, возникающих в результате порционной подачи микрокомпонента.

Эффект воздействия на сегрегированный поток, обогащенный контрольным компонентом, продольными импульсами, направленными навстречу потоку материала в аппарате, исследован методом индикатора при импульсном вводе последнего по отдельным компонентам смеси. В качестве модельного материала использован гранулированный аммофос с размером гранул 1,2...4,0 мм. Индикаторами служили фракции (+1,2 : -2,0) и (+3,0 : -4,0) мм. С целью снижения погрешности и повышения результативности эксперимента осуществлялся одновременный (параллельный) ввод индикаторов контрольных компонентов смеси.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. Течки воронок либо в подъемной, либо в опускной части барабана ориентировались таким образом, чтобы сообщить требуемый импульс в направлении загрузки части сегрегированного потока, обогащенной контрольным компонентом. После выхода установки на стационарный режим, одновременно с вводом доз индикаторов начинался непрерывный отбор проб материала на выходе из барабана, объем которых формировался полным потоком в течение каждых 15 с. Исследование проведено при производительности $0,18 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$. Пробы анализировались на содержание в них частиц индикаторов после выделения последних визуальным методом, которое выражалось относительной долей в отношении к общей массе дозы. Каждый опыт повторялся трижды и его результаты после проверки их на статистическую однородность усреднялись. Для оценки погрешности использовалось среднее квадратичное отклонение, выраженное в процентах к средним измеренным значениям.

Результаты проведенного ранее [3] исследования распределения времени пребывания (РВП) контрольных компонентов модельных материалов в аппарате без воздействия на них управляющими импульсами позволили установить, что

сегрегация может существенно влиять на характеристики РВП неоднородных частиц, поскольку для мелкой и крупной фракций продукта обнаруживается значительное (более чем на 20 %) различие по среднему значению времени пребывания в аппарате.

При этом особое внимание обращает на себя тот факт, что с большой задержкой и дисперсией РВП движется в аппарате крупная фракция, которая, перемещаясь преимущественно в периферийных слоях засыпки материала в барабане, имеет преимущество в скорости продольного перемещения.

Наблюдаемый эффект объяснен тем, что вследствие эффектов сегрегации крупная фракция, падая с лопастей преимущественно в опускной части барабана с наибольшей задержкой попадает в нижнюю часть скатывающегося слоя засыпки и подвергается меньшему продольному смещению, чем мелкая фракция. Очевидно, что этот эффект должен быть учтен при математическом моделировании процесса формирования структуры сегрегированных потоков.

При разработке математической модели формирования структуры сегрегированных потоков по отдельным компонентам сыпучих материалов в барабанном аппарате проанализирована схема потоков материала при загрузке исходного материала только с одного из его торцов. Внутри барабана установлена неподвижная насадка, которая позволяет управлять внутренними потоками материала для формирования требуемых характеристик структуры потока материала по отдельным компонентам смеси. Неподвижная насадка представляет собой два ряда отклоняющих элементов, отделенных друг от друга перегородкой, которая делит сегрегированный поток частиц скатывающихся с подъемных лопастей на две части. При этом два соседних элемента, расположенных в смежных рядах отклоняющей насадки, и соответствующий им участок аппарата образуют одну ступень (ячейку) в каскаде элементов управляющей насадки.

При разработке модели приняты следующие допущения:

– влияние отклоняющих элементов на время задержки частиц пренебрежимо мало по сравнению со временем пребывания частиц на лопастях и падения частиц с лопастей;

– время задержки частиц j -го компонента определяется как среднеинтегральная величина по всем фазам их перемещения вне засыпки материала;

– при углах наклона барабана, имеющих место в аппарате с управляемыми сегрегированными потоками, продольная транспортирующая способность лопастей пренебрежимо мала.

С учетом результатов экспериментальных исследований в отношении задерживающей функции лопастей выделены следующие основные стадии движения частиц, многократно повторяющиеся на каждой ступени при движении материала вдоль оси барабана (рис. 1): 1) перемещение в скатывающемся слое засыпки в нижней части барабана; 2) заполнение лопастей; 3) перемещение в неподвижном относительно барабана слое засыпки материала; 4) перемещение лопастями над слоем засыпки материала; 5) движение по одному из двух рядов отклоняющих элементов; 6) падение с отклоняющих элементов в засыпку материала в барабане.

На всех стадиях, за исключением третьей и четвертой, происходит продольное перемешивание зернистой среды, которое должно быть учтено при разработке математической модели формирования структуры потока по отдельным компонентам смеси.

Поток продольного перемешивания на стадиях 1–3 описан диффузионной моделью

$$j_D = -S(z)\rho_H(z)D_{\text{пр}} \partial c / \partial z. \quad (1)$$

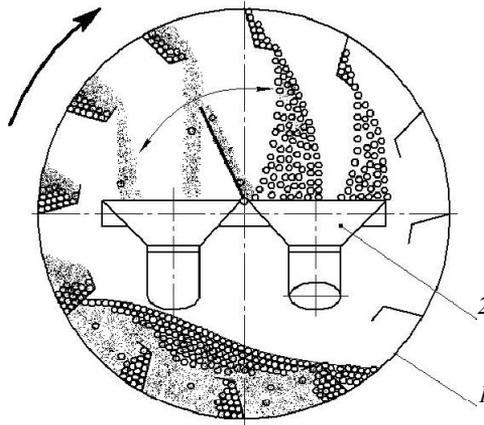


Рис. 1. Схема движения материала в поперечном сечении барабана:

1 – барабан с периферийной Г-образной насадкой;

2 – неподвижная насадка для управления сегрегированными потоками

Величина конвекционного продольного потока j -го компонента в сечении z в отсутствие управляемых потоков определяется как

$$j_c = c_j(z)G(z) = c_j(z)\rho_H(z)S(z)w(z). \quad (2)$$

Интенсивность исчерпывания j -го компонента лопастной насадкой из засыпки учитывается коэффициентом исчерпывания, значение которого определяется как отношение средних его концентраций на лопасти $c_{лj}(z)$ и в засыпке $c_j(z)$

$$K_{лj} = c_{лj}(z)/c_j(z). \quad (3)$$

Эффект задержки подъемно-лопастной насадкой идентифицирован совокупным действием отрицательного $I_{л}^-$ и положительного $I_{л}^+$ источников:

$$I_{л}^- = -\omega n F_{л}' c_j(\tau, z) K_{лj} \rho_H(z) / (2\pi S(z)); \quad (4)$$

$$I_{л}^+ = \omega n F_{л}' c_j(\tau - \tau_3, z) K_{лj} \rho_H(z) / (2\pi S(z)). \quad (5)$$

В последнем выражении среднее время задержки определяется как

$$\tau_3 = \frac{\sum_1^n \tau_{3i} m_i c_i}{\sum_1^n m_i c_i}, \quad (6)$$

где τ_{3i} , $m_i c_i$ – среднее время задержки и масса контрольного компонента, ссылающегося в i -м диапазоне угла поворота лопастей.

Подставляя выражения (1), (2), (4) и (5) в общее уравнение переноса субстанции, получим уравнение, описывающее динамику продольного распределения контрольного компонента при отсутствии управляющей насадки

$$S(z)\rho_H(z)\frac{\partial c_j(z,\tau)}{\partial \tau} = -\frac{\partial(c_j(z,\tau)G(z))}{\partial z} + D_{\text{пр}}\frac{\partial}{\partial z}\left(\rho_H(z)S(z)\frac{\partial c_j(z,\tau)}{\partial z}\right) + S(z)(I_{\text{л}}^+ + I_{\text{л}}^-). \quad (7)$$

Граничные условия у торцов барабана записаны в виде:

$$\partial c_j / \partial z = 0, \quad z = 0, L; \quad (8)$$

$$\begin{cases} c_j(z, 0) = 0 \\ c_j(0, \tau) = c_{j1}, \text{ при } kT < \tau \leq kT + \tau_{\text{доз}} \\ c_j(0, \tau) = 0, \text{ при } kT + \tau_{\text{доз}} < \tau \leq (k+1)T, \end{cases} \quad (9)$$

где $k = 0, 1, 2, \dots, \infty$.

При наличии насадки, управляющей сегрегированными потоками, источник $I_{\text{л}}^+$ трансформируется в источники, один из которых обусловлен действием отклоняющих элементов $I_{\text{во}}^+$, а другой – исключительно действием подъемных лопастей $I_{\text{вл}}^+$.

Удельная мощность источника $I_{\text{во}}^+$ выражена в виде

$$I_{\text{во}}^+ = \omega n F_{\text{л}} l \rho_H(z) g_i(z) c_{0j}(\tau - \tau_{zi}, z) / (2\pi S(z)), \quad (10)$$

где $g_i(z)$ – аналитически определяемая функция продольного распределения материала, ссыпавшегося с i -го отклоняющего элемента насадки.

Удельная мощность источника $I_{\text{вл}}^+$ равна

$$I_{\text{вл}}^+ = \omega l (F_{\text{л}}^* - F_{\text{л}}) \rho_H(z) c_{\text{ли}}(\tau - \tau_{zi}, z) / (2\pi S(z)), \quad (11)$$

где $c_{\text{ли}}$ – концентрация, вычисляемая как функция средней концентрации компонента на лопасти $c_{\text{л}j}$ и его концентрации в потоке на отклоняющих элементах c_{0j}

$$c_{\text{ли}} = (c_{\text{л}j} F_{\text{л}}^* - c_{0j} F_{\text{л}}) / (F_{\text{л}}^* - F_{\text{л}}). \quad (12)$$

Поскольку действующий на частицы импульс компенсируется изменением угла наклона барабана, то возникает условный обратный поток, равный

$$G_0(z) = \omega n F_{\text{л}} \rho_H(z) \bar{h} / 2\pi, \quad (13)$$

где \bar{h} – среднее значение величины продольного отклонения массы материала элементами управляющей насадки, которое определяется в зависимости от длины элемента, высоты его расположения и углов наклона течки.

Равенства (10), (11) и (13) при совместном рассмотрении с уравнением (7) позволяют получить уравнение динамики распределения контрольного компонента в аппарате с управляемыми сегрегированными потоками

$$S(z)\rho_H(z)\frac{\partial c_j(z,\tau)}{\partial t} = -\frac{\partial(c_j(z,\tau)(G(z) - G_0(z)))}{\partial z} + D_{\text{пр}}\frac{\partial}{\partial z}\left(\rho_H(z)S(z)\frac{\partial c_j(z,\tau)}{\partial z}\right) + S(z)(I_{\text{л}}^- + I_{\text{вл}}^+ + I_{\text{во}}^+). \quad (14)$$

Полученное уравнение в совокупности с краевыми условиями (8) и (9) позволяет прогнозировать динамику изменения концентрации целевого компонента в смеси при его порционном дозировании в зависимости от склонности к сегрегированию, частоты (периода) формирования доз T и продолжительности операции введения доз в рабочий объем аппарата τ_d . Это уравнение может быть использовано также для определения характеристик структуры сегрегированных потоков по отдельным компонентам смеси путем моделирования функций распределения по времени пребывания соответствующих частиц в аппарате $c_j(z=L, \tau)$ при условии однократного импульсного ввода их индикатора. Последнее условие моделируется, если при формулировке краевых условий (8), (9) положить $k=0$.

Для реализации разработанной математической модели на ЭВМ уравнение динамики процесса с начальными и граничными условиями (8) и (9) приведено к алгебраическим уравнениям с использованием разностной схемы Кранк–Николсона. Шаг по переменной выбран при этом кратным длине ячейки блока отклоняющих элементов управляющей насадки и рабочей длине барабана. Решение системы алгебраических уравнений получено с помощью метода факторизации.

С целью проверки адекватности модели и оценки характеристик структуры технологического потока в условиях реализации предложенного технического решения проведено математическое моделирование функций распределения по времени пребывания в барабанном аппарате контрольных компонентов гранулированного аммофоса при воздействии продольными импульсами в направлении загрузки на сегрегированный поток в опускной части барабана, обогащенный крупной фракцией (+3,0 : -4,0) мм.

Моделирование динамики перемещения импульсно вводимых доз индикаторов в аппарате выполнено с учетом различных значений времени задержки и интенсивности исчерпывания для частиц крупной и мелкой фракций. Интенсивность исчерпывания определялась экспериментально и учитывалась с использованием коэффициента исчерпывания (3). Для частиц крупной и мелкой фракций величина коэффициента исчерпывания составила соответственно 1,4 и 0,85. Время задержки частиц вычислялось как среднее время пребывания частиц на лопастях с учетом скорости вращения барабана в соответствии с зависимостью (6).

Результаты моделирования, представленные на рис. 2, свидетельствуют об адекватности экспериментальных и расчетных распределений, которая установлена путем сравнения дисперсий воспроизводимости и адекватности при 95%-й доверительной вероятности.

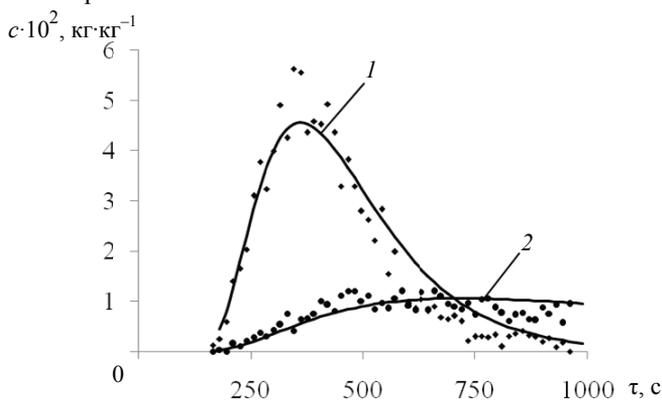


Рис. 2. Распределение времени пребывания мелкой (1) и крупной (2) фракций гранул аммофоса при 100%-м импульсе, действующем на поток, обогащенный крупной фракцией, в направлении загрузки:
 точки — эксперимент; линии — расчет

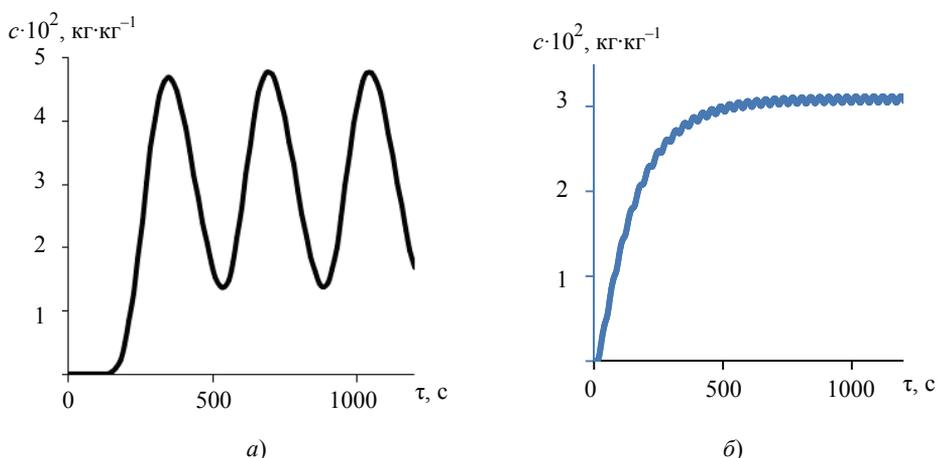


Рис. 3. Моделирование процесса непрерывного приготовления смеси двух компонентов при порционном микродозировании одного из компонентов:
a – без управления; *б* – с управлением сегрегированными потоками

Анализ характеристик структуры сегрегированных потоков контрольных компонентов смеси позволяет сделать вывод о том, что воздействие обратных импульсов на сегрегированный поток, обогащенный крупной фракцией, приводит к сильному возрастанию среднего значения и дисперсии распределения времени пребывания частиц этой фракции в аппарате. Такое изменение характеристик структуры потока свидетельствует о существенном возрастании сглаживающей способности аппарата в отношении потока отдельного компонента смеси и косвенно свидетельствует об эффективности предложенного технического решения.

Разработанная модель после проверки ее на адекватность была использована для моделирования процесса непрерывного смешивания при порционном микродозировании одного из компонентов в соответствии с предложенным техническим решением. Моделирование проведено на примере приготовления смеси трудно смешиваемых гранул полипропилена – фракция (+3,0 : -4,0) мм и керамика – фракция (+4,0 : -5,0) мм с порционным микродозированием последнего при содержании в смеси $3,1 \cdot 10^{-3}$ кг·кг⁻¹. На рисунке 3 приведены результаты моделирования динамики изменения концентрации смеси в период выхода аппарата на стационарный режим для вариантов организации процесса без управления сегрегированными потоками (см. рис. 3, *a*) и при воздействии обратными импульсами на поток, обогащенный микрокомпонентом (см. рис. 3, *б*). Порционная подготовка доз смоделирована при периоде ввода дозы $T = 350$ с, продолжительностью операции ввода дозы $\tau_d = 3$ с.

Полученные результаты свидетельствуют, что предложенный способ организации процесса непрерывного приготовления смесей при порционном микродозировании одного из компонентов позволяет повысить качество смеси с уменьшением коэффициента вариации более чем в 40 раз с 38,3 до 0,85 %.

Однако обращает на себя внимание тот факт, что повышение качества смеси достигается при значительном увеличении времени выхода аппарата на стационарный режим, что объясняется длительностью процесса накопления буферной массы порционно дозируемого компонента в головной части аппарата. Очевидно, что для устранения этого недостатка необходимо ускорить процесс формирования названной массы компонента в аппарате.

Список литературы

1. Dolgunin, V.N. Processing of Nonuniform Granular Materials in Operation Segregated Flows / V.N. Dolgunin, O.O. Ivanov, A.A. Ukolov // Вест. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 2. – С. 321–327.

2. Иванов, О.О. Эффект разделения частиц в завесе барабанного насадочно-го аппарата / О.О. Иванов, В.Я. Борщев, В.Н. Долгунин // Хим. и нефтегаз. машиностроение. – 2009. – № 8. – С. 13–15.

3. Карев, В.И. Развитие принципов управления сегрегированными технологическими потоками зернистых материалов / В.И. Карев, В.Н. Долгунин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 588–596.

Organization of the Process of Mixing by Controlling the Flow of Particulate Segregated Materials

V.N. Dolgunin, Yu.V. Shary, I.A. Lebedenko, O.V. Yumasheva

Department "Technology of Food Products", TSTU; topt@topt.tstu.ru

Key words and phrases: control; mixing; residence time; simulation; segregated flow.

Abstract: The paper presents the method of reducing pulsations of mixture concentration of granular materials during its continuous preparation under portionwise microdispensing of one of the components by influencing the segregated flows of particles in the working volume of the mixer. The results of a comprehensive study of the characteristics of the structure of segregated flows and the effectiveness of the proposed method for its implementation in a drum machine with lift blades are presented.

Organisation des Prozesses des Mischens durch die Steuerung von den Strömen der Kornstoffe

Zusammenfassung: Es ist die Methode der Senkung der Pulsationen der Konzentration der Mischung der Kornstoffe im Prozess ihrer ununterbrochenen Vorbereitung bei der portionischen Mikrodosierung einer der Komponenten durch der Einwirkung auf die segregierten Ströme der Teilchen im Arbeitsumfang des Mixers vorgeschlagen. Es sind die Resultate der komplexen Untersuchung der Charakteristiken der Struktur der serregierten Ströme und der Effektivität der vorgeschlagenen Methode bei ihrer Realisierung im Trommelapparat mit den steigenden Schaufeln angeführt.

Organisation du processus du mélange par la voie de la commande des courants de ségrégation des matériaux granuleux

Résumé: Est proposée la méthode de la diminution de la concentration du mélange des matériaux granuleux dans le processus de leur préparation continue lors du microdosage de ration d'un des composants par la voie de l'action sur les courants de ségrégation des particules dans le volume de travail du mélangeur. Sont cités les résultats de l'étude complexe des caractéristiques de la structure des courants de ségrégation et de l'efficacité de la méthode proposée lors de sa réalisation dans l'appareil de tambour avec les palettes de levage.

Авторы: Долгунин Виктор Николаевич – доктор технических, профессор кафедры «Технологии продовольственных продуктов»; Шарый Юрий Владимирович – аспирант кафедры «Технологии продовольственных продуктов»; Лебедеико Иван Александрович – студент; Юмашева Ольга Владимировна – студент, ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: Гатапова Наталья Цибиковна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технологические процессы и аппараты», ГОУ ВПО «ТГТУ».