УДК621.929.2/.9

Д.М. Бородулин, С.С. Комаров

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СГЛАЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БАРАБАННОГО СМЕСИТЕЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ЛОПАСТЯМИ

Представлена новая конструкция барабанного смесителя, обладающего регулируемой инерционностью. Описана методика определения постоянных времени, входящих в передаточные функции барабанного смесителя. Проведены исследования сглаживающей способности смесителя для некоторых смесей при различном расположении Г-образных лопастей и частоте вращения барабана на основе частотного и временного анализа. Полученные результаты позволили сделать вывод, что для приготовления смесей сыпучих материалов с соотношением смешиваемых компонентов от 1/10 до 1/50 целесообразно использовать новый смеситель барабанного типа, в котором осуществляется регулирование инерционных характеристик за счет возможности установки Г-образных лопастей в спиралевидном или шахматном порядке.

Смеситель, барабанный, сглаживающая способность, кривая вымывания, дифференциальная кривая, интегральная кривая, передаточная функция.

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется развитию перерабатывающих отраслей производства, связанных с удовлетворением населения в сбалансированном питании. Для решения этой задачи необходимо значительно увеличить масштабы внедрения в производство новой высокоэффективной техники, которая одновременно с коренным улучшением качества продукции гарантировала бы рост производительности труда, снижение материалоемкости и энергопотребления. Это актуально для многих отраслей промышленности, таких как: пищевая, химическая, электрохимическая, и других отраслей, позволяющих получать новые композиционные материалы (электронику, алмазный инструмент с высококачественными эксплуатационными характеристиками). Приготовление однородных по составу композиций из твердых материалов, находящихся в порошкообразном или зернистом состоянии путем их смешивания, широко используется в промышленности. При этом возникает острая необходимость в смесительном оборудовании, на котором было бы возможно получать высококачественные смеси из нескольких ингредиентов.

Применение различных смесителей периодического действия является экономически невыгодным, кроме того, их применение характеризуется значительным объёмом ручного труда. А использование смесителей непрерывного действия дает возможность автоматизировать процесс, снизить энергозатраты, получать смеси более высокого качества. Для приготовления смесей сыпучих материалов с соотношением смешиваемых компонентов от 1/10 до 1/50, целесообразно использовать механические СНД барабанного типа, которые характеризуются простотой конструкции, низким уровнем воздействия на смешиваемые материалы, возможностью изменять производительность смесителя в широком диапазоне 50–200 кг/ч, возможностью регулировать инерционные характеристики смесителя (накопительную способность, схему движения материала внутри барабана).

Поэтому разработка смесителей барабанного типа для переработки мелкозернистых и дисперсных материалов является актуальной научной задачей, представляющей большой практический интерес для пищевых и ряда других отраслей.

Целью данной работы являлось создание барабанного смесителя с регулируемой инерционностью для получения однородных по составу композиций заданного качества.

В соответствии с поставленной целью в настоящей работе решалась следующая основная задача – разработать и экспериментально исследовать новую конструкцию барабанного смесителя с организацией направленного движения материальных потоков, обеспечивающей получение качественных смесей.

Результаты и их обсуждение

Для проверки предложенных нами конструкторских решений в смесительно-дозировочной лаборатории был разработан смесительный агрегат, состоящий из блока дозирующих устройств (два спиральных дозатора), прибора для отбора проб, пульта управления с контрольными приборами и барабанного смесителя новой конструкции, техническая новизна которого заключается в том, что Г-образные лопасти поворачиваются относительно друг друга на 360 °. Смеситель (рис. 1) работает следующим образом: порошкообразные материалы подаются в рабочую камеру через загрузочный патрубок 6. При вращении барабана 1 порошкообразные материалы ссыпаются с рабочих поверхностей Г-образных лопастей вниз, перемещаясь одновременно по двум образующим барабана 1. При этом, кроме разделения объема материала на два неравных потока на каждой лопасти, происходит его циркуляция по длине смесительного барабана. Основ-

ной поток смеси будет перемещаться в осевом направлении в сторону выгрузки, большие стороны лопастей установлены с этой стороны. За счет возможности поворота Г-образных лопастей относительно друг друга на 360 ^{o} их можно установить в шахматномили в спиралевидном порядке и т.д. В результате установки Г-образных лопастей в шахматном порядке объём материала делится на два потока, и один из них ссыпается на предыдущую лопасть, от которой накладывается на второй поток. В результате этого происходит многократное наложение разделяемых потоков, благоприятствуя общему усреднению качества смеси. При расположении лопастей в спиралевидном порядке часть материала постепенно возвращается к начальной точке его движения, обеспечивая внутреннюю объёмную циркуляцию, при этом сглаживая входные пульсации исходных компонентов. Готовая смесь выгружается через разгрузочный патрубок 7.

Таким образом, за счет многократного соединения и разъединения потоков в предлагаемой конструкции аппарата получают порошкообразные смеси заданного качества.

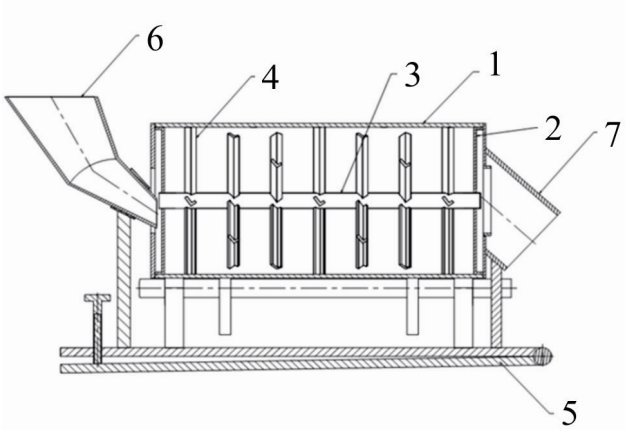

Рис. 1. Барабанный смеситель:
1 – барабан; 2 – центрующие опоры; 3 – центральный вал; 4 – Г-образные лопасти; 5 – станина; 6 – загрузочный патрубок; 7 – разгрузочный патрубок

На новом барабанном смесителе были проведены эксперименты по определению сглаживающей способности, в ходе которых изменялась частота вращения барабана (10; 25; 40 об/мин), расположение Г-образных лопастей смесителя (шахматный и спиралевидный порядок). Исследования проводили на трех смесях, компоненты которых имели различные физико-механические характеристики (манка – сахар, мука – соль, песок – ферромагнитный порошок (ФМП)).

Эксперименты проводили следующим образом: в барабанный смеситель новой конструкции непрерывным потоком подавался основной компонент. Индикатор в количестве 8–10 % от загрузки СНД вводили внутрь аппарата практически мгновенно (не более 2 с), затем начинали отбор проб (по 30–50 г) на выходе из аппарата. Абсолютное значение содержания трассера в каждой пробе (в граммах) перевоодили в относительное (в долях от общего количества вводимого трассера, принятого за единицу), затем строили график зависимости изменения концентрации трассера от времени. Таким образом получили кривую распределения времени пребывания частиц в аппарате – кривую вымывания, полученную на разных частотах вращения барабана (спиралевидное расположение Г-образных лопастей), которая в качестве примера представлена на рис. 2. Учитывая, что площадь под кривой соответсвует количеству вышедшего из аппарата трассера, можно построить интегральную функцию распределения времени пребывания (ФРВП), изображенную на рис. 3.

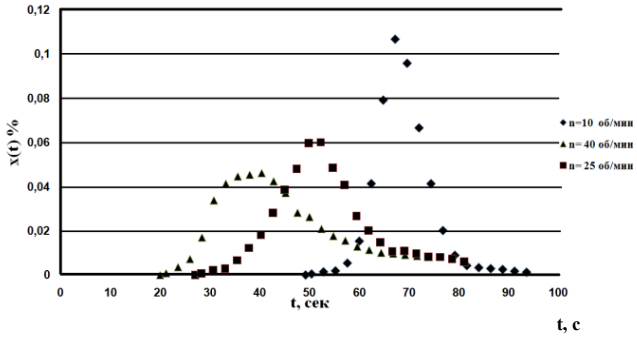

Рис. 2. Дифференциальная кривая, полученная для смеси манка – сахар

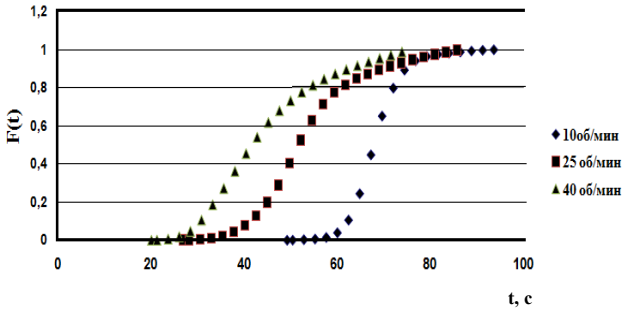

Рис. 3. Интегральная кривая, полученная для смеси манка – сахар

По интегральным кривым графоаналитическим методом были найдены значения постоянных времени T_1 и T_2^2, входящих в передаточные функции смесителя, которые представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Значения постоянных времени
при расположении лопастей в спиралевидном порядке

Материал	n, об/мин	Значения постоянных времени, входящих в передаточные функции		
		T_1	T_2^2	τ
Мука	10	52,5	641,7	79,37
	25	37,5	345,31	28,125
	40	36,87	317,85	21,87
Манка	10	10	22,26	58
	25	16,6	46,25	37,2
	40	18	60,75	27
Песок	10	34,85	336,31	56,3
	25	39,1	381,39	27,2
	40	32,72	250,82	30

Таблица 2

Значения постоянных времени
при расположении лопастей в шахматном порядке

Материал	n, об/мин	Значения постоянных времени, входящих в передаточные функции		
		T_1	T_2^2	τ
Мука	10	30,625	234,375	61,875
	25	32,4	257,6	24,3
	40	63,6	997,5	20
Манка	10	25,4	108,2	50,27
	25	25,4	90,62	28,10
	40	15,93	52,71	21,87
Песок	10	36,75	327,11	47,56
	25	34,54	257,80	30,9
	40	42,27	444,18	32,72

Из табл. 1 и 2 предварительно можно сделать вывод, что чем больше значения T_1и T_2^2, тем выше сглаживающая способность смесителя.

Передаточную функцию (ПФ) смесителя приняли в виде второго звена с интервалами запаздывания [2]:

$$W(S)=\frac{Kc\cdot\exp^{-\tau s}}{T_2^2S+T_1S+1}, \qquad (1)$$

где T_1 и T_2^2 – постоянные времени СНД; Kc – коэффициент передачи смесителя; τ – время запаздывания.

Подставив полученные численные значения T_1 и T_2 в (1), определим ПФ для смеси манка – сахар при n=10 об/мин:

$$W(S)=\frac{1\cdot\exp^{-58s}}{22,26S+10S+1}. \qquad (2)$$

Сглаживающая способность барабанного смесителя оценивалась с помощью частотного анализа (ЧА), который позволяет выполнить оценку степени сглаживания практически на любой частоте дозирования

Для проведения ЧА ПФ смесителя представляли как: $W(j\omega)=j\cdot Im(\omega)+Re(\omega)$. После определения $Re(\omega)$ – вещественной частотной характеристики и $Im(\omega)$ – мнимой частотной характеристики строили амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) смесителя: $A(\omega)=\sqrt{(Im^2(\omega)+Re^2(\omega))}$, изображенные на рис. 4.

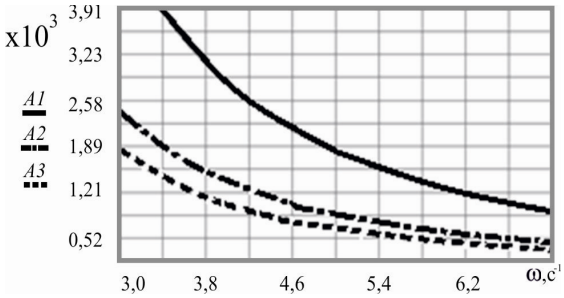

Рис. 4. АЧХ режимов работы барабанного смесителя: A_1=10 об/мин; A_2=25 об/мин; A_3=40 об/мин

Из рис. 4 видно, что чем ниже кривая, тем выше будет сглаживающая способность смесителя. В частностидля данного случая при n=40 об/мин и с установленными Г-образными лопастями в спиралевидном порядке S=max. На рис. 5 для данного случая отображена общая частотная характеристика (годограф): $R(\omega)=Im(\omega)+Re(\omega)$.

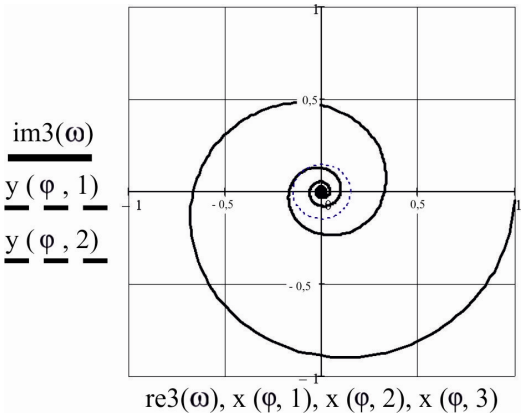

Рис. 5. Общая частотная характеристика (годограф)

При заданной частоте работы дозаторов (от 3 до 7 $с^{-1}$) по графикам (рис. 4) проводили оценку сглаживающей способности барабанного СНД. Например, при подаче на вход смесителя дозирующего сигнала с частотой, равной 3,6 $с^{-1}$, длина вектора частотной передаточной функции будет равна: R(ω)=A3(ω)=0,00119. Затем определяли сглаживающую способность *S* (ω) барабанного смесителя по формуле:

Таблица 3

Значения сглаживающей способности барабанного смесителя при расположении Г-образных лопастей в спиралевидном порядке

n, об/мин	Манка–сахар		Мука–соль		Песок–ФМП	
	3,6	6,8	3,6	6,8	3,6	6,8
10	285	1030	9090	30303	4347	15625
25	591	2173	4545	15873	5000	17875
40	840	2857	4166	14705	3225	11627

Из полученных данных (табл. 3–4) видно, что для материалов с различными физико-механическими свойствами сглаживающая способность различна. Однозначно сказать, что *S* повышается или понижается с увеличением частоты вращения нельзя, т.к. для разных смесей оптимальная частота своя.

Схему расположения Г-образных лопастей, угол их поворота друг друга и частоту вращения барабана для получения смеси заданного качества необходимо подбирать в зависимости от физико-механических свойств материалов.

Для определения степени сглаживания реальных сигналов блока спиральных дозаторов, нами проводился временной анализ смесительного агрегата (СА). Вначале с помощью программы «*MathCAD*» определим реальный сигнал блока дозаторов смесительного агрегата при дозировании основного (манка) и ключевого (сахар) компонентов спиральными дозаторами. Полученный сигнал представлен на рис. 6.

Амплитуда входного сигнала блока дозаторов равна:

$$X_{dm}^{вх} = \frac{x_{d0}^{max} - x_{d0}^{min}}{2} = \frac{16,332 - 15,92}{2} = 0,206\,, \qquad (4)$$

где $X_{dm}^{вх}$ – амплитуда входного сигнала, X_{d0}^{max} – максимальное значение массового расхода блока дозаторов, X_{d0}^{min} – минимальное значение массового расхода блока дозаторов.

$$S(3,6) = \frac{1}{R(3,6)} = \frac{1}{0,00119} = 840\,. \qquad (3)$$

Следовательно, барабанный смеситель на данной частоте входного сигнала сглаживает его колебания в 840 раз. В табл. 3 и 4 представлены значения сглаживающей способности для всех режимов работы агрегата.

Таблица 4

Значения сглаживающей способности барабанного смесителя при расположении Г-образных лопастей в шахматном порядке

n, об/мин	Манка–сахар		Мука–соль		Песок–ФМП	
	3,6	6,8	3,6	6,8	3,6	6,8
10	1449	5000	3030	10869	4347	15151
25	1219	4166	3448	12195	3333	11904
40	684	2439	12500	47619	5882	20833

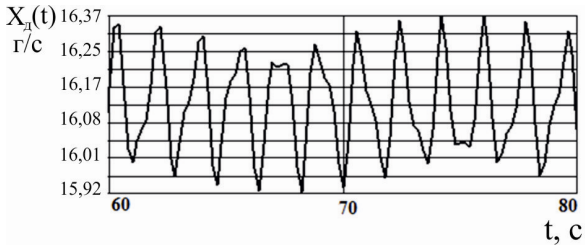

Рис. 6. Реальный сигнал блока дозаторов

Далее полученный сигнал подавался на вход СНД СА. Отклик системы на входной сигнал представлен на рис. 7.

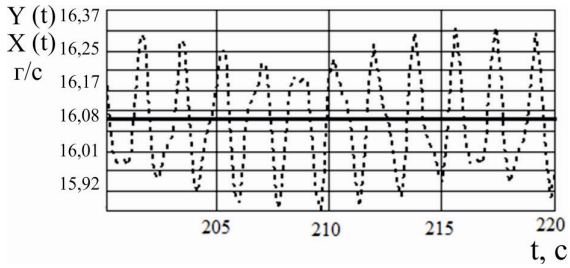

Рис. 7. Отклик системы на входной сигнал первого блока дозаторов, отношение амплитуд входного (…..) и выходного (—) сигналов

Анализ полученных графиков позволяет определить реальную степень сглаживания флуктуаций питающих потоков блока дозаторов.

В качестве примера подробно произведём расчёт *S* (ω) СНД при *n*=10 об/мин. Для этого вычислим амплитуду выходного сигнала из смесителя по формуле:

$$X_{dm}^{вых} = \frac{x_{d0}^{max} - x_{d0}^{min}}{2} = \frac{16,1285 - 16,12575}{2} = 0,00055. \quad (5)$$

Далее находим отношение амплитуды на выходе к среднему массовому расходу:

$$R(\omega) = \frac{x_{dm}}{x_{d0}} = \frac{0,00055}{16,126} = 0,0000341. \quad (6)$$

Затем рассчитываем сглаживающую способность СНД:

$$S(\omega) = \frac{1}{R(\omega)} = \frac{1}{0,0000341} = 29325. \quad (7)$$

Аналогичным образом определили сглаживающую способность смесителя при частоте вращения барабана 25 и 40 об/мин, полученные результаты сведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Сглаживающая способность барабанного смесителя при расположении Г-образных лопастей в спиралевидном порядке

Материалы / n, об/мин	Манка–сахар	Мука–соль	Песок–ФМП
10	28020	394700	343000
25	58200	238000	389000
40	76400	219600	256000

Таблица 6

Сглаживающая способность барабанного смесителя при расположении Г-образных лопастей в шахматном порядке

Материалы / n, об/мин	Манка–сахар	Мука–соль	Песок–ФМП
10	137400	161400	333000
25	115100	177400	262000
40	67100	310400	447000

Выводы

В заключение можно отметить, что для приготовления смесей сыпучих материалов с соотношением смешиваемых компонентов от 1/10 до 1/50, целесообразно использовать новый смеситель барабанного типа, в котором осуществляется регулирование инерционных характеристик за счет возможности установки Г-образных лопастей в спиралевидном или шахматном порядке (на данный аппарат подана заявка на получение патента РФ).

На данном СНД проведены исследования сглаживающей способности новой конструкции барабанного смесителя с помощью двух различных методов, численные значения которых показали, что исследуемый СНД сглаживает пульсации входных материальных потоков, возникающих от дозаторов объемного типа, в диапазоне от 285 до 447 000 раз, позволяя получать смеси заданного качества за счет оптимальных технологических и конструктивных параметров, а также организации направленного движения потоков.

Список литературы

1. Иванец, В.Н. Анализ частотно-временных характеристик смесителя непрерывного действия центробежного типа / В.Н. Иванец, А.Н. Жуков, Д.М. Бородулин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 2.

2. Комаров, С.С. Разработка и исследование барабанного смесителя для получения комбинированных продуктов: дис. магистра техники и технологии / Комаров С.С. – Кемерово, 2013. – 103 с.

3. Коршиков, А.Ю. Разработка и исследование барабанного смесителя непрерывного действия для переработки пищевых сыпучих материалов: дис… канд. техн. наук / Коршиков А.Ю.– Кемерово, 1996. – 187 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел/факс: (3842)73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

D.M. Borodulin, S.S. Komarov

SMOOTHING ABILITY OF A CONTINUOUS ACTION DRUM MIXER WITH ADJUSTABLE BLADES

A new design of the drum mixer in presented. A technique for determining the time constant included in the transfer functions of the drum mixer is described. The research of the mixer smoothing ability for some mixtures at different positions of the L-shaped blades and different drum speed, on the basis of timing and frequency analysis is carried out.

Drum mixer, smoothing ability, washout curve, the differential curve, the integral curve, the transfer function, timing analysis, frequency analysis.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology,
650056, Russia, Kemerovo, Boulevard Stroiteley, 47.
Phone/fax: +7(3842) 73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

Дата поступления: 12.07.2013