

УДК 621.929.2/.9

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДИСКРЕТНОГО ДОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ НЕПРЕРЫВНОДЕЙСТВУЮЩИХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Иванец В.Н., Бородулин Д.М., Иванец Г.Е., Сухоруков Д.В.,
Шулбаева М.Т., Сафонова Е.А.**

*ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)»,
Кемерово, e-mail: office@kemtipp.ru*

Исследованы пути направленного создания режимов дозирования, при которых достигается требуемая степень сглаживания входных воздействий, обусловленная инерционными характеристиками смесителя. Для определения характера протекания процесса изменения концентрации на выходе из аппарата при разных видах входных воздействий были проведены расчеты временных характеристик. Для этого были разработаны математические модели смесительного агрегата. Установлено, что в смесительных аппаратах непрерывного действия возникают так называемые абсолютно-колебательные режимы, которые приводят к периодическому перераспределению материала по концентрации. Определены зависимости момента входа в них от частоты дозирования, что позволяет выбрать его рациональный режим и тем самым уменьшить время процесса смешивания. При непрерывно-переменной нагрузке смесителей непрерывного действия установлена возможность оптимизировать работу смесительного агрегата взаимовязких режимов работы блока дозаторов и аппаратов путем направленного выбора частотного режима дозирования.

Ключевые слова: процесс смешивания, режим дозирования, смеситель непрерывного действия, концентрация, сглаживание флуктуаций, математическая модель

FORMATION MODE OF DISCRETE DOSING TO OPTIMIZATION OF WORK OF CONTINUOUS ACTION MIXER

**Ivanets V.N., Borodulin D.M., Ivanets G.E., Sukhorukov D.V.,
Shulbaeva M.T., Safonova E.A.**

*The Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University),
Kemerovo, e-mail: office@kemtipp.ru*

We explored ways to create directional dosing regimens in which the desired degree of smoothing input actions due to inertia characteristics of the mixer. To determine the nature of the process of change of concentration at the outlet of the device in different types of input actions we calculated temporal characteristics. To this end, we have developed a mathematical model of the mixing unit. Found that in the continuous mixing devices arise, so-called absolute-vibrational modes which cause a periodic redistribution of material concentration. We determine the dependence of the moment you enter them on the frequency of dosing, allowing you to choose his rational mode and thus reduce the mixing process. With a continuously variable load continuous mixers, the possibility to optimize the work of the mixing unit viscous modes dispenser assembly and apparatus directed by selecting the frequency of dosing regimen.

Keywords: the process of mixing, dosing regimen, continuous mixer, concentration, smoothing fluctuations, mathematical model

В настоящее время в новых и реконструируемых производствах целесообразно использовать смесители непрерывного действия (СНД), оснащенные соответствующими дозирующими устройствами в связи с постоянно возрастающими требованиями, предъявляемыми к качеству смесей, так как последнее во многом определяет физико-механические и вкусовые характеристики конечного продукта [6]. Этой проблеме не уделялось достаточного внимания, в частности не изучено влияние входных сигналов, формируемых дозаторами, и характеристик СНД на качество конечной смеси.

Цель исследования – определить характер протекания процесса изменения концентрации на выходе из аппарата при

разных видах входных воздействий. Установить режимы, которые приводят к периодическому перераспределению материала по концентрации. Выбрать рациональный режим работы аппарата.

Материалы и методы исследования

Нами исследованы возможности СНД центробежного [4], вибрационного [5] и барабанного [3] типов по сглаживанию флуктуации сложных входных воздействий, поступающих от дозаторов непрерывно-гармонического, постоянного и дискретного типов. Для определения характера протекания процесса изменения концентрации на выходе СНД при разных видах входных воздействий были проведены расчеты временных характеристик. Для этого были разработаны математические модели смесительного агрегата (СА) [1, 2]. При реализации переходных процессов,

протекающих в СНД с разными инерционными свойствами, было выявлено, что в случае непрерывно-переменного дозирования происходит наложение «фона», определяемого уровнем сигналов загрузки и переменной составляющей при частоте дозирования $\omega = 0,1 \text{ с}^{-1}$; $\omega = 0,5 \text{ с}^{-1}$ и $\omega = 1 \text{ с}^{-1}$.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим процессы смесеприготовления при непрерывно-переменной загрузке смесителей. Для надежного определения зависимостей начала входа СНД в абсолютно-колебательный режим от периода переменной составляющей дозирования следует брать моменты времени t_k , принимаемые в качестве искомой величины $t_{\text{кол}}$, удовлетворяющей условию

$$(2...3)T \leq t_{\text{пт}} \leq t_k \quad \text{или} \quad \frac{6\Pi}{\omega} \leq t_{\text{пт}} \leq t_k, \quad (1)$$

где t_k – текущие моменты времени на временной характеристике СНД; $t_{\text{пт}}$ – время переходного процесса.

Если период T переменной составляющей слишком велик и не удовлетворяет условию (1), то момент $t_{\text{кол}}$ полностью определяется временем достижения максимальной концентрации с учетом чистого запаздывания СНД. Параметры T_1 и T_2 в этом случае не имеют решающего значения, так как входные флуктуации на такой малой частоте дозирования сглаживаются слабо, что и порождает моменты $t_{\text{кол}}$ относительно большие, чем можно было бы ожидать при выполнении условия (1). Если $(2...3)T > t_{\text{пт}}$, то это значит, что инерционность смесителя соизмерима с инерцией фронтов в переменной составляющей и кривая $x_{\text{вых}}(t)$ полностью определяется формой последней. Графики $t_{\text{кол}} = f_1(\omega)$ и $f_{\text{кол}} = f_2(\omega)$ позволяют выявить зависимость момента «входа» СНД в абсолютно-колебательный режим при изменении частоты непрерывно-гармонического дозирования.

Область абсолютно-колебательного режима по своим параметрам удовлетворяет частоте дозирования $\omega = 2\Pi/T$ и определяется зависимостью (1). Те части графиков, которые располагаются в этой области, полностью согласуются с положениями, касающимися низкочастотной фильтрации и сглаживания входных флуктуаций, наложенных на постоянный «фон». В противоположной зоне СНД работает как повторитель переменной составляющей входной концентрации, в связи с тем, что его инерционные параметры (T_1 в особенности, а также T_2 и τ) соизмеримы с периодом переменной составляющей дозирующего воздействия. Этот режим является нецелесообразным

по причине слабой сглаживаемости входных флуктуаций и весьма значительному перераспределению концентрации в СНД при работе даже в стационарном режиме, т.е. при $t \geq t_{\text{пт}}$, что ведет к возникновению неопределенности при определении момента окончания процесса смесеприготовления. Приведенные соображения, относящиеся к непрерывно-гармоническим режимам, справедливы и для порционного дозирования.

Зона повторения (П) определяется эмпирическим выражением:

$$T_{\omega_{\text{ДГ}}} \leq T_1 + T_2 + \tau, \quad (2)$$

где $T_{\omega_{\text{ДГ}}}$ – период наиболее высокочастотной составляющей входной концентрации из совокупности переменных составляющих дозирующих устройств, не меньшей суммарного значения инерционных параметров СНД.

Условие (2) задает локализации точек моментов времени $t_{\text{кол}}(\omega)$ в областях «П» и «Ф». Таким образом появляется возможность оптимизировать работу СА, скоординировав взаимодействие блока дозаторов с СНД. Для этого необходимо подбирать к существующему СНД такие типы дозирующих устройств, которые могут обеспечить требуемые частотные режимы загрузки.

Рассмотрены переходные процессы в виде функций отклика СНД на дискретный входной сигнал. Анализ временной характеристики показывает, что значения концентрации, систематически нарастая, приближаются к уровню, равному постоянной составляющей $a_c/2$ входного сигнала для величин скорости ввода материала. При этом можно выявить наличие специфического колебательного режима, который обусловлен возникновением знакопеременной скорости изменения выходной концентрации, начиная с определенного момента $t_{\text{кол}}$, характеризующего начало участка переменного-колебательного режима в смесителе (в отличие от постоянно-колебательного режима, когда производная не меняет знака, но может колебаться с частотой дозирования). Вышеописанная картина показана на рис. 1. Возможность возникновения переменного-колебательного режима в вибрационном СНД можно пояснить с помощью рис. 2. Здесь площадь, находящаяся под кривой, условно разделена на три области.

Анализ опытных данных показывает, что на больших значениях $\omega = 3,14...1,57 \text{ с}^{-1}$ сглаживающая способность СНД весьма высока и поэтому в пределах заданной точности расчетов пульсации, малозаметны. При этом на форму выходной концентрации влияет главным образом реакция смесителя на постоянную составляющую дозирования $a_c/2$. Поэтому для получения

максимального сглаживания пульсаций от дозирующего устройства нужно вводить материал короткими импульсами ($\tau_{\text{вк}} \leq 10 \dots 20$ с), так как на больших частотах следования сглаживание лучше.

I. Область, где хорошо выражен колебательный процесс (зона наличия $t_{\text{кол}}$).

II. Область, где колебательный процесс слабо выражен вследствие повышенной частоты дозирования.

III. Область, в которой моменты возникновения переменного-колебательного режима практически инвариантны относительно загрузки; Δ_M – диапазон ошибки моделирования.

воздействия). В физико-механическом смысле рост выходной концентрации, представляющий собой процесс перераспределения материала в смеси с течением времени, до величины постоянной составляющей определяется динамикой поступления материала в смеситель. При очень малых периодах ввода значения $\tau_{\text{вк}}$ и l практически не влияют на сглаживание. С понижением величины периода T следования порций (т.е. с повышением частоты дозирования) модуль частотной ПФ уменьшается, что соответствует возрастанию степени сглаживания. Последнее

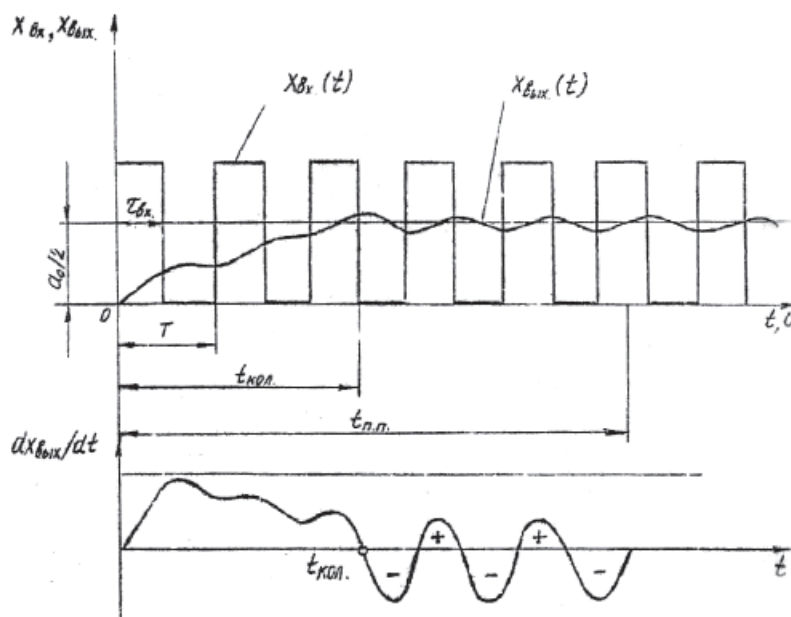


Рис. 1. Возникновение переменного-колебательного режима при дискретном дозировании

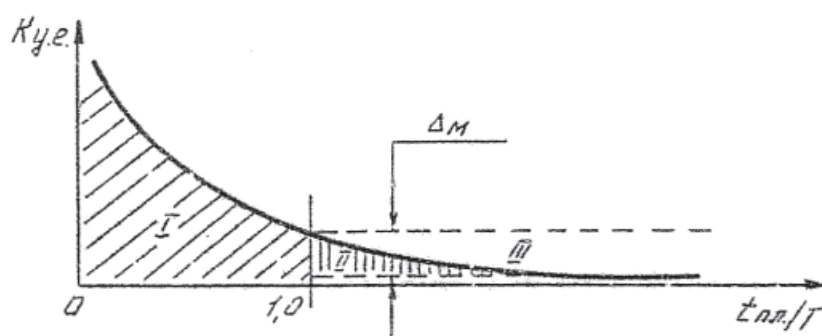


Рис. 2. Зависимость величины степени колебательности $K_{y.e.}$ от соотношения $t_{п.п.}/T$

При этом концентрация на выходе смесителя будет определяться только половинным значением амплитуды импульса ввода (постоянным членом Фурье-разложения входного дозирующего

обстоятельство приводит возникновение переменного-колебательного режима при дискретном дозировании к тому, что значение нижней границы зоны колебательности сдвигается в область больших

величин, приближающихся в $t_{\text{пп}}$. В связи с этим, флуктуации, порождаемые релаксационным сигналом дозирования, содержащим основную гармонику большей частоты, проявляются только на более пологом участке насыщения. И наоборот, флуктуации концентрации, вызванные, сигналом дозирования с основной гармоникой Фурье-разложения меньшей частоты, проявляется уже на начальном участке переходного процесса. Отсюда можно сделать вывод, что смеситель выступает при дискретном дозировании в роли квазигармонизатора выходных флуктуации концентрации. Он создает эффект гармонизации выходной концентрации смеси за счет низкочастотной фильтрации.

С некоторого момента, соответствующего началу возникновения квазигармо-

Выводы

1. Исследована сглаживающая способность СНД путем направленного варьирования постоянных времени ПФ смесителей, определяющих их инерционные свойства, и, как следствие, характер протекания процесса смешивания. На основании рассчитанных частотных зависимостей прослежено изменение степени сглаживания на разных частотах и определены значения периодичности работы дозаторов для обеспечения требуемых величин сглаживания.

2. При непрерывно-переменной нагрузке СНД установлена возможность оптимизировать работу смесительного агрегата взаимовязких режимов работы блока дозаторов и СНД путем направленного выбора частотного режима дозирования.

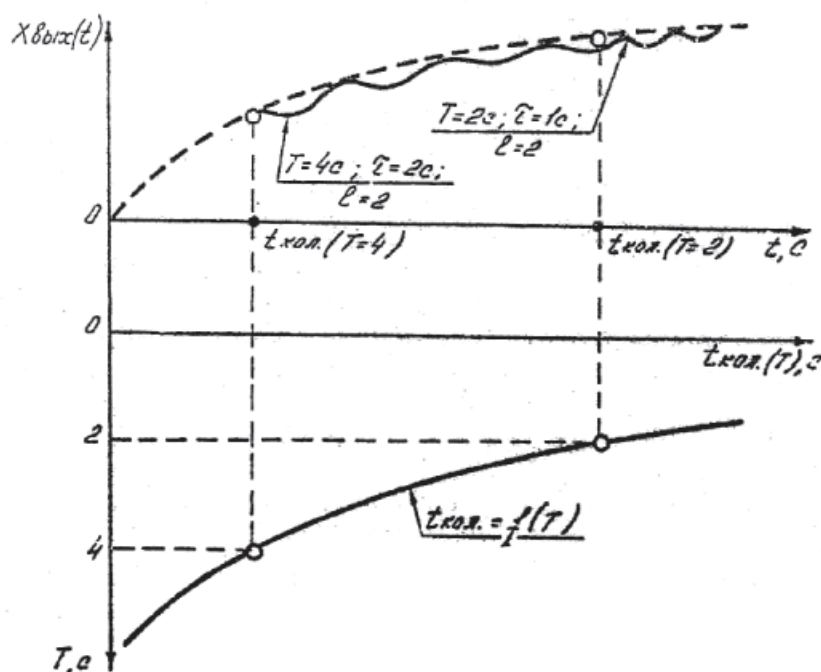


Рис. 3. Механизм возникновения эффекта гармонизации

нического режима $t_{\text{кор}}$, начинается процесс установившихся колебаний с наложенной квазигармонической составляющей, равной частоте импульсов дозирования (особенно при $l = 2$) и существенно отличающихся от входных релаксационных флуктуаций (рис. 3).

В этом проявляются, с одной стороны, свойства смесителя как аппарата низкочастотной фильтрации, а с другой – как устройства, гармонизирующего выходную концентрацию, т.е. снижающего дискретизирующий эффект дозирующего воздействия.

Список литературы

1. Бородулин Д.М. Разработка и математическое моделирование непрерывнодействующих смесительных агрегатов центробежного типа для переработки сыпучих материалов. Обобщенная теория и анализ (кибернетический подход) // Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2013. – 207 с.
2. Иванец В.Н. Анализ частотно-временных характеристик смесителя непрерывного действия центробежного типа / Иванец В.Н., Бородулин Д.М., Жуков А.Н. // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 2. – С. 52–54.
3. Пат. 2508937 РФ, Барабанный смеситель / Бородулин Д.М. Иванец В.Н.; заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленно-

сти. – № 2012120803/05; заявл. 03.07.12; опубл. 10.03.2014, Бюл. № 7.

4. Пат. 2455058 РФ, Центробежный смеситель / Бородулин Д.М. Иванец В.Н., Андришков А.А. заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2010150753/05; заявл. 10.12.10; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19.

5. Пат. 2488435 РФ, Вибрационный смеситель / Шущанников А.Б., Потапов А.Н., Злобин С.В., Рынза О.П. заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2012105486/05; заявл. 16.02.12; опубл. 27.07.2013, Бюл. № 16.

6. Харитонов В.Д. Моделирование смесительного агрегата центробежного типа на основе кибернетического подхода / Харитонов В.Д., Бородулин Д.М., Сухоруков Д.В., Комаров С.С. // Молочная промышленность. – 2013. – № 7. – С. 77–79.

icheskiy institut pishhevoj promyshlennosti. no. 2012120803/05; zajavl. 03.07.12; opubl. 10.03.2014, Bjul. no. 7.

4. Pat. 2455058 RF, Centrobezhnyj smesitel / Borodulin D.M. Ivanec V.N., Andrijshkov A.A. zajavitel i patentoobladatel Kemerovskij tehnologicheskij institut pishhevoj promyshlennosti. no. 2010150753/05; zajavl. 10.12.10; opubl. 10.07.2012, Bjul. no. 19.

5. Pat. 2488435 RF, Vibracionnyj smesitel / Shushpannikov A.B., Potapov A.N., Zlobin S.V., Rynza O.P. zajavitel i patentoobladatel Kemerovskij tehnologicheskij institut pishhevoj promyshlennosti. no. 2012105486/05; zajavl. 16.02.12; opubl. 27.07.2013, Bjul. no. 16.

6. Haritonov V.D. Modelirovanie smesitelnogo agregata centrobezhnogo tipa na osnove kiberneticheskogo podhoda / Haritonov V.D., Borodulin D.M., Suhorukov D.V., Komarov S.S. // Molochnaja promyshlennost. 2013. no. 7. pp. 77–79.

References

1. Borodulin D.M. Razrabotka i matematicheskoe modelirovanie nepreryvnodejstvujushhih smesitelnyh agregatov centrobezhnogo tipa dlja pererabotki sypuchih materialov. Obobshhennaja teorija i analiz (kiberneticheskij podhod) // Kemerovskij tehnologicheskij institut pishhevoj promyshlennosti. Kemerovo, 2013. 207 p.

2. Ivanec V.N. Analiz chastotno-vremennyh harakteristik smesitelja nepreryvnogo dejstviya centrobezhnogo tipa / Ivanec V.N., Borodulin D.M., Zhukov A.N. // Hranenie i pererabotka selhozsyrgja. 2004. no. 2. pp. 52–54.

3. Pat. 2508937 RF, Varabannyj smesitel / Borodulin D.M. Ivanec V. N.; zajavitel i patentoobladatel Kemerovskij tehnolog-

Рецензенты:

Попов А.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика», ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», г. Кемерово;

Петрик П.Т., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ЭПХиНТ, Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово.