

А.Б. Шушпанников, Б.А. Федосенков, В.П. Дороганов, О.П. Рынза

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕПРЕРЫВНО ДЕЙСТВУЮЩИХ СМЕСЕПРИГОТОВИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

В статье рассмотрены два направления при формировании и аппаратном оформлении структуры смесеприготовительного агрегата с целью получения готового продукта высокого качества. Первое – повышение сглаживающей способности смесителей непрерывного действия с использованием контуров рециркуляции и опережения. Второе – моделирование процессов в агрегате с использованием аппарата передаточных функций динамических систем и теории сигнальных графов для установления наиболее рациональных согласованных режимов работы дозирующего и смесительного оборудования.

Смесеприготовительный агрегат, сыпучий материал, передаточная функция, сигнальный граф.

Введение

Процессы дозирования и смешивания сыпучих материалов, широко используемые в различных отраслях промышленности, могут быть эффективно реализованы в непрерывно действующих смесеприготовительных агрегатах, начиная от самых простых конструкций, состоящих из двух дозаторов и смесителя, и заканчивая сложными многофункциональными автоматизированными комплексами.

В целом в современной конструкции агрегата можно выделить следующие основные части: блок дозирующих устройств (БДУ), передаточно-формирующий узел (ПФУ) и модуль смесительных аппаратов (МСА). К вспомогательным частям следует отнести блок контрольно-измерительной и регулирующей аппаратуры (БКИР) и блок анализа проб (БАП) [1].

Структура смесеприготовительного агрегата (СМПА) с изображением потока сыпучего материала и элементов взаимодействия блоков представлена на рис. 1.

Исходные компоненты поступают из бункеров Б1–Бп для хранения сырья (БХС) в БДУ и отмериваются соответствующими дозаторами Д1–Дп в заданном соотношении. ПФУ предназначен главным образом для сглаживания флуктуаций, естественным образом формируемых дозаторами. Они определяются неравномерностью непрерывной подачи ингредиентов, скважностью порций дискретного отмеривания и разной массой порций. В процессе сглаживания передаточно-формирующий узел осуществляет грубое предварительное перемешивание. Но во многих случаях это устройство в структуре СМПА отсутствует и функцию сглаживания берет на себя смесительное оборудование.

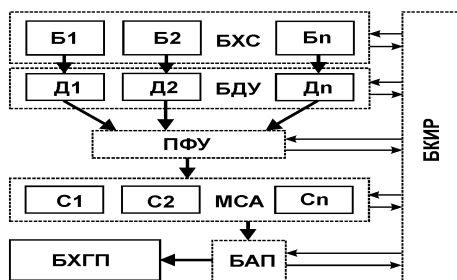


Рис. 1. Функциональная блок-схема смесеприготовительного агрегата

МСА может состоять из одного или нескольких (C1–Cn) аппаратов, соединенных последовательно, параллельно или по комбинированной схеме. Тип аппаратов, количество и схема их соединения выбираются в соответствии со свойствами компонентов: дисперсностью, сыпучестью, фазовым составом, их числом, соотношением, необходимостью проведения дополнительных процессов (теплообменных, массообменных) и с требованиями, предъявляемыми к готовому продукту. Последний собирается в бункере хранения готового продукта (БХГП).

Композиция на выходе из МСА, а в некоторых случаях и полуфабрикат на промежуточных стадиях в модуле, тестируется анализатором проб. БАП выдает сигнал по результатам измерения на БКИР, который, в свою очередь, корректирует действия дозирующих, формирующих или смесительных устройств, а также включает побудители потоков в БХС. Кроме того, БКИР осуществляет визуальную индикацию работы узлов смесительного агрегата.

БАП и БКИР в совокупности работают на поддержание заданной рецептуры готового продукта. В идеале соотношение ингредиентов в смеси должно быть одинаковым в различных ее частях. В этом случае можно говорить о полной, 100 %, однородности смеси. Однако в действительности в процессе непрерывной работы СМПА концентрация отклоняется от заданной. Чем выше это отклонение, тем хуже однородность. Чаще всего это связано с погрешностью в работе БДУ и несовершенством перераспределения компонентов МСА.

Целью настоящей работы является рассмотрение основных путей формирования и аппаратного оформления структуры смесеприготовительного агрегата для получения готового продукта высокого качества.

Методы исследования

В идеале фрагменты БДУ, работая в непрерывном режиме, должны обладать постоянным весовым расходом ($m = \bar{m}_1 = \text{const}$) (рис. 2, а). При этом погрешность дозирования, оцениваемая дисперсией, равна нулю ($\bar{\sigma}^2 = 0$). В реальном процессе наблюдаются флуктуации текущего расхода материала (

$m \neq const$) относительно его среднего значения ($\bar{m}_2 = const$), тогда $\bar{\sigma}^{-2} > 0$ (рис. 2, б–д) [2].

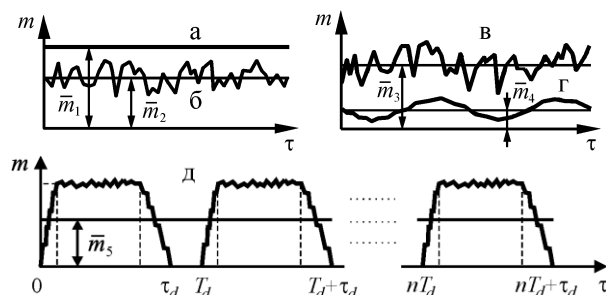


Рис. 2. Некоторые формы выходных сигналов БДУ: а – постоянный сигнал; б, в – случайные сигналы; г – «синусоидальный» сигнал; д – «трапецидальный» сигнал; $\bar{m}_i$ – средний расход материала, выходящего из дозатора

Рисунок наглядно демонстрирует, что неравномерная подача исходных ингредиентов в смеситель является одной из причин, увеличивающих неоднородность готового продукта.

Следовательно, последующие основные элементы СМПА (ПФУ и МСА) должны сглаживать входные флуктуации в той степени, чтобы на выходе смесителя блок анализа проб фиксировал композицию заданного качества.

По сути, на однородность композиции, получаемой в смесителях непрерывного действия (СНД), в основном влияют два фактора: неравномерность подачи в него сырья и процесс фактического перераспределения частиц ингредиентов в аппарате. Тогда дисперсию $\bar{\sigma}^{-2}$ готовой композиции можно определить как сумму двух независимых составляющих [2]:

$$\bar{\sigma}^{-2} = \bar{\sigma}_\delta^{-2} + \bar{\sigma}_{см}^{-2}, \quad (1)$$

где $\bar{\sigma}_\delta^{-2}$ – статистическая дисперсия переменной «концентрация ключевого компонента в составе готовой смеси, вызванная колебаниями состава потоков, поступающих из дозатора в смеситель»; $\bar{\sigma}_{см}^{-2}$ – статистическая дисперсия той же переменной, обусловленная процессом смешивания компонентов в смесителе.

Даже при идеальном смешивании ($\bar{\sigma}_{см}^{-2} = 0$) флуктуации в рецептуре на входе в смеситель вследствие погрешности или дискретности работы дозирующего оборудования вызывают дополнительную неоднородность состава готового продукта на его выходе.

Это влияние можно хорошо продемонстрировать и оценить значение $\bar{\sigma}_\delta^{-2}$ с помощью функции распределения времени пребывания (ФРВП) частиц потока внутри аппарата, физический смысл которой заключается в том, что отдельные частицы потока проходят через аппарат различными путями, поэтому время их пребывания в аппарате неодинаково и полностью характеризуется, как и любая непрерыв-

ная случайная величина, функцией распределения, дисперсией и средним значением.

Этот способ косвенной оценки перемещения массы по проточному аппарату получил среди исследователей большое распространение [2].

На входной питающий поток искусственно наносится возмущение, чаще всего импульсной формы 1 (рис. 3). При этом мгновенно вводят индикатор или изменяют концентрацию одного из компонентов, после чего на выходе из аппарата исследуют реакцию системы на это возмущение и строят кривую отклика. В результате ее анализа появляется возможность характеризовать перемешивание массы внутри аппарата.

На рис. 3 представлены кривые отклика 2 смесителя на импульсное возмущение входного сигнала 1 аппаратов «идеального вытеснения», «идеального смешения» и реальных аппаратов, занимающих промежуточное положение между этими двумя крайними гипотетическими моделями. При этом площади под кривыми 2, эквивалентные массе введенного трассера, равны площадям соответствующих импульсов 1.

Модель «идеального вытеснения» (рис. 3, а) предполагает поршневое перемещение материала вдоль аппарата без перемешивания частиц в направлении его оси. Поэтому возмущающий импульс через время τ_3 (время запаздывания) появляется в выходном потоке без изменения. В направлении же, перпендикулярном к движению, компоненты материала считаются распределенными равномерно.

Модель «идеального смешения» (рис. 3, б) предусматривает практически мгновенно возникающее равномерное распределение частиц материала по всему объему аппарата, поэтому трассер сразу же начинает регистрироваться в выходном потоке, как это происходит, например, в проточных аппаратах с быстро вращающейся механической мешалкой. В идеальном смесителе время процесса τ равно нулю.

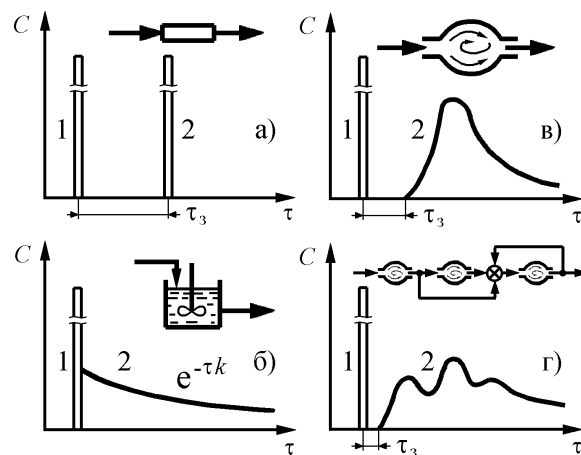


Рис. 3. Кривые отклика смесителя (С-кривые) на импульсное возмущение входного сигнала: С – концентрация трассера; k – коэффициент, учитывающий объем смеси в аппарате

В реальных аппаратах кривая отклика обычно имеет горбообразную форму (рис. 3, в). Трассер на выходе из аппарата появляется спустя некоторое время, а его концентрация в выходном потоке сначала нарастает, затем падает. Если аппарат ближе к модели «идеального вытеснения», то кривая круче; если же ближе к модели «идеального смешения» – положе.

Смесители с более полой C -кривой (дифференциальной функцией распределения) менее чувствительны к погрешностям питания, т.е. их способность сглаживать флуктуации выше. Поэтому эти аппараты можно комплектовать дозаторами объемного типа.

Также известно, что чем больше емкость смесителя, тем менее он чувствителен к погрешностям питания, но с увеличением количества материала, находящегося в аппарате, значительно растут его металло- и энергоемкость. Поэтому следует увеличивать инерционность СНД не за счет увеличения его габаритов, а за счет организации в нем директивного перемещения материала (рис. 3, г), то есть наряду с прямооточным его перемещением формировать потоки рециркуляции и опережения (байпасирования).

Подбором структуры аппарата и пропускных способностей контуров распределяют (размывают) концентрационный всплеск 1 по длине аппарата, то есть добиваются выполаживания отклика 2 таким образом, чтобы в реальном процессе работы на выходе СМПА получался продукт заданного качества. Причем каналы рециркуляции имеют существенное преимущество перед каналами опережения, поскольку они возвращают дисперсную массу в рабочую, внутриаппаратную, среду, в то время как последние – выводят.

Многими исследователями рециркуляция рассматривается как мощное средство интенсификации процессов. В целом она сокращает время достижения конечного результата. Поэтому повышение сглаживающей способности смесителя непрерывного действия – это **первый способ** снижения влияния нестабильности питающих потоков на качество композиции.

Однако необоснованное стремление к высокой инерционности смесителя за счет роста производительности и числа контуров рециркуляции ведет к увеличению объема материала в аппарате и его размеров. Поэтому ко **второму способу** следует отнести поиск диапазона согласованной работы дозирующего и смесительного оборудования. Его суть удобней рассмотреть на примере аппарата «идеального смешения».

Пусть на вход этого устройства поступает цепочка материалопотоковых импульсов 1 (рис. 4). В стационарном режиме на его выходе будет фиксироваться изменение концентрации трассера, подобное экспоненциальным кривым 2. Чем больше период следования T , тем больше концентрационный перепад ΔC , а значит, и дисперсия σ_{Δ}^2 .

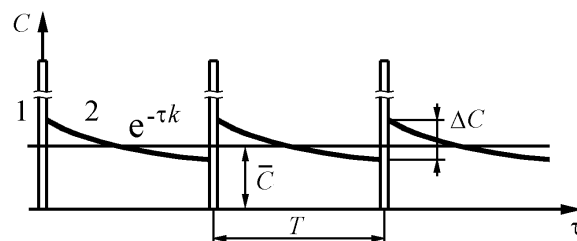


Рис. 4. Кривые отклика аппарата «идеального смешения» на цепочку входных дельта-импульсов: 1 – входной сигнал типа дельта-функции; 2 – кривая отклика смесителя; $\bar{C}$ – средняя концентрация трассера

Следовательно, для каждого аппарата есть предельные значения периодов следования T импульсов той или иной формы с определенными амплитудами, для которых дисперсия σ_{Δ}^2 имеет удовлетворительные значения.

Поиск диапазона согласованной работы дозирующего и смесительного оборудования целесообразно проводить с помощью методов, базирующихся на кибернетическом подходе, когда рассматриваемый непрерывно действующий смесительный агрегат представляется в виде динамической системы, характеризующейся известной топологией, соответствующими структурным и параметрическим типами организаций движения потоков и подверженной определенным внешним воздействиям.

Результаты и их обсуждение

Первому направлению (**повышению сглаживающей способности смесителя непрерывного действия**) в полной мере отвечают разработанные нами оригинальные конструкции вертикально-вибрационных смесителей, защищенные рядом авторских свидетельств и патентов на изобретение. В большинстве из них воплощен принцип направленного движения материалопотоков внутри аппарата, сочетающий прямооточное перемещение частиц материала с их перемещением через каналы рециркуляции и опережения. Кроме того, в этих смесителях удалось реализовать перспективное направление переработки сыпучих материалов – смешивание в тонких слоях за счет того, что весь аппарат разбит на отдельные секции (ячейки, витки) непрерывного действия с высокой интенсивностью процесса в каждой из них [1, 2].

Важными преимуществами этих аппаратов являются: низкие удельные энергозатраты, высокая интенсивность процессов и возможность переработки материалов с различными физико-механическими свойствами при хорошем качестве готового продукта.

Вертикально-вибрационные смесители имеют вертикальную несущую цилиндрическую колонну, на которой закреплен перфорированный рабочий орган в виде тарелей или винтового лотка. Поэтому они разбиты на две группы: каскадные (а.с. СССР 655419, 919720, 1115790, 1558449) и лотковые. Последние, в свою очередь, также состоят из двух групп: прямооточные (а.с. СССР 1105220, 1472110, 1674943, 1793956) и подъемные (а.с. СССР 1499831,

1716697, пат. РФ 2181664, 2193916, 2209109, 2286203). Эти смесители, в особенности подъемные, обладают большей инерционностью по сравнению с каскадными. Классификация вертикально-вибрационных смесителей [1] схематически изображена на рис. 5.



Рис. 5. Классификация вертикальных вибрационных смесителей

В каскадных смесителях ингредиенты поступают сверху и, проходя сквозь пакет перфорированных тарелок, достигают на последней из них заданного качества.

В прямоточных винтовых лотковых аппаратах основной поток материала просыпается через перфорацию витков, а рециркулирующий/опережающий – движется по лоткам. При этом увеличение степени смешивания происходит сверху вниз.

В винтовых подъемных основной поток материала движется под действием направленной вибрации снизу вверх по спиральным лоткам, а рециркулирующий – просыпается через перфорацию витков на нижележащие. Увеличение степени смешивания происходит по высоте аппарата снизу вверх.

Тарельчатые смесители обладают меньшей сглаживающей способностью по сравнению с другими конструкциями, поскольку рециркуляцию как мощное средство подавления флуктуаций в этих аппаратах осуществить достаточно сложно. Распределение ингредиентов на тарелках происходит лишь за счет локальных циркуляционных токов внутри сыпучего материала. Организация опережающих потоков (проскок, байпасирование) за счет перфораций различного диаметра растягивает концентрационные аномалии по высоте аппарата, но эта мера имеет ограниченное влияние на сглаживание флуктуаций. Кроме того, у этих аппаратов наблюдается неравномерная загрузка тарелок. Это вызвано способностью отверстий уменьшать свою пропускную способность с ростом высоты слоя сыпучего материала над ними.

Значительным шагом в разработке новых эффективных вибрационных смесителей стали предложенные нами оригинальные конструкции прямоточных лотковых (винтовых) вертикальных вибрационных смесителей, в которых перемешивающее устройство выполнено в виде винтового перфорированного желоба. Рециркуляция в них обеспечивается движением части дисперсной фазы вверх (рециркуляция) или вниз (опережение) по виткам рабочего органа, создавая эффект запаздывания.

Анализ работы прямоточных лотковых вертикальных вибрационных смесителей позволил разра-

ботать конструкции подъемных лотковых СНД вибрационного типа с совмещением в одном аппарате внешнего и внутреннего рециклов. В этих аппаратах отсутствуют недостатки предыдущих конструкций: «захлебывание», неустойчивость работы и низкая сглаживающая способность.

Учитывая, что процессы на всех витках лотковых смесителей аналогичны, дисперсная фаза «кипит» под действием колебаний, часть слоя просыпается (возвращается) через перфорацию $\Sigma m_{отв}$, а другая поднимается по лотку вверх m_i , можно условно принять за ячейку один виток рабочего органа и схематично изобразить движение материальных потоков в подъемных СНД так, как показано на рис. 6. Такие схемы удобно использовать при составлении математических моделей аппаратов на основе корреляционного анализа для предварительной оценки сглаживающей способности будущих конструкций [4].

В непрерывном режиме в аппарат постоянно подаются свежие порции компонентов с суммарным расходом m_0 (кг/с), а на выходе получают готовый продукт в том же количестве $m_{вых} = m_0$. Локальные межвитковые (внутренние) контуры рециркуляции организованы за счет возврата части дисперсной фазы через отверстия верхних витков на нижние $\Sigma m_{отв}$, а внешний контур – за счет обводного канала βm_n .

Для выявления согласованных режимов работы смесительного и дозирующего оборудования важно знать сглаживающую способность смесителя на различных режимах. Первым шагом анализа является определение вида передаточных функций (ПФ) смесителя по характеру ФРВП частиц в аппарате.

Для проведения частотно-временного анализа смесительного агрегата необходимо знать передаточные свойства и других элементов, входящих в смесительный агрегат.

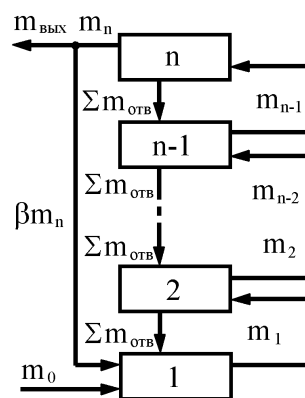


Рис. 6. Схема движения компонентов в смесителе (пат. РФ 2181664): i – номера витков (ячеек); m_i – массовый расход дисперсной фазы, сошедшей с витка; β – коэффициент внешней рециркуляции

Передаточную функцию определяли графоаналитическим методом путем регистрации реакции системы на импульсное внешнее воздействие, ее последующего интегрирования и анализа полученной кумулятивной кривой. Выбор функционально-структурной схемы (ФСС) изучаемого смесительного агрегата во многом определяет адекват-

ность его математического описания. Анализ ряда работ (см. [3]) позволил нам предложить следующую ФСС для смешивания дисперсных материалов (рис. 7). Система содержит блок дозирующих устройств ($D_1, D_2 \dots D_n$), работающих согласнопараллельно на суммирующий элемент (СЭ), передаточно-формирующий узел (ПФУ), представляющий собой питатель преобразующего типа, и СНД с внешним контуром рециркуляции (КР).

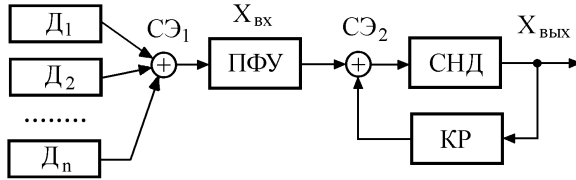


Рис. 7. Функционально-структурная схема смесительного агрегата

На основании законов преобразования структурных схем передаточная функция всей системы $W_S(S)$ будет иметь вид:

$$W_S(S) = \left[\sum_{i=1}^n W_{d_i}(S) \right] \cdot W_{ПФУ}(S) \cdot W_C(S), \quad (2)$$

где $\sum_{i=1}^n W_{d_i}(S)$ – изображение по Лапласу импульсной переходной функции блока дозаторов; $W_{ПФУ}(S)$ – ПФ передаточно-формирующего узла; $W_C(S)$ – ПФ СНД.

В качестве примера найдем ПФ дозаторного блока, состоящего из двух устройств. Материальные потоки, выходящие из них, представим в виде идеальных непрерывно-гармонических колебаний (рис. 8):

$$\begin{aligned} x_1(t) &= x_{1m} \cdot \sin(\omega_1 t) + x_{1m}; \\ x_2(t) &= x_{2m} \cdot \sin(\omega_2 t) + x_{2m}; \\ x_{2m} &< x_{1m}; \quad \omega_2 > \omega_1, \end{aligned} \quad (3)$$

где x_{1m} и x_{2m} – амплитуды сигналов потоков из первого и второго дозаторов; ω_1 и ω_2 – угловые частоты этих сигналов.

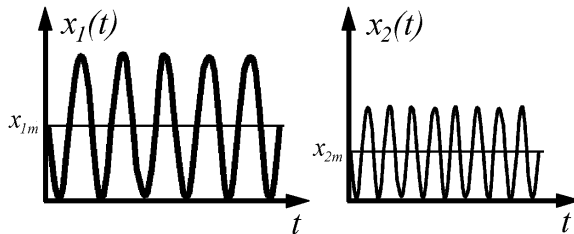


Рис. 8. Выходные сигналы дозаторного блока

Тогда на основании преобразования Лапласа получим изображение массового расхода компонента со стороны первого дозатора:

$$L[k_1(t)] = \frac{x_{1m}(S^2 + \omega_1 S + \omega_1^2)}{S(S^2 + \omega_1^2)}. \quad (4)$$

Аналогично для второго дозатора:

$$L[k_2(t)] = \frac{x_{2m}(S^2 + \omega_2 S + \omega_2^2)}{S(S^2 + \omega_2^2)}. \quad (5)$$

Суммарное изменение массового расхода на выходе блока дозаторов:

$$L[x_{\text{вых}}(t)] = \frac{x_{1m}(S^2 + \omega_1 S + \omega_1^2)(S^2 + \omega_2^2) + x_{2m}(S^2 + \omega_2 S + \omega_2^2)(S^2 + \omega_1^2)}{S(S^2 + \omega_1^2) \cdot (S^2 + \omega_2^2)}. \quad (6)$$

При формировании математической модели СНД необходимо охарактеризовать динамику перемещения в нем сыпучего материала. В своей работе [2] проф. Ю.И. Макаров показал СНД как звено регулирования, обладающее ярко выраженными свойствами низкочастотного фильтра. Он доказал, что процесс непрерывного смешеприготовления можно описать моделями, включающими соответствующие комбинации последовательных и параллельных участков идеального вытеснения и смешения.

Следовательно, реальные СНД можно моделировать сочетанием схем, содержащих звенья чистого запаздывания и инерционные. Для количественного анализа функционирования СНД последний интерпретируется моделью в виде двухъёмкостного объекта (апериодического звена второго порядка) с чистым запаздыванием.

Высокие частоты входных концентраций хорошо сглаживаются СНД, а низкочастотные составляющие пропускаются (фильтруются) на выход с соответствующими коэффициентами передачи. Таким образом, СНД можно рассматривать как звено динамической системы, обладающее свойством низкочастотного фильтра, а его ПФ представить звеном второго порядка с запаздыванием.

С учетом времени запаздывания τ и соотношений $T_2^2 = T_3 T_4$; $T_1 = T_3 + T_4$ (T_1, T_2, T_3, T_4 – постоянные времени модели СНД) ПФ модели СНД запишется как [2, 3]

$$W_c(S) = \frac{K \cdot \exp(-\tau S)}{(T_3 S + 1) \cdot (T_4 S + 1)}. \quad (7)$$

Здесь $K = 0,92-1,1$ – коэффициент передачи смесителя. Тогда в общем виде ПФ системы смешивания, приведенной на рис. 7, с учетом выражений (2), (6) и (7) будет равна

$$\begin{aligned} W_S(S) = & \frac{K \cdot \exp(-\tau S) \exp(-\tau_{ПФУ} S) \{ (x_{1m} + x_{2m}) S^4 + \\ & S(S^2 + \omega_1^2)(S^2 + \omega_2^2) \cdot \\ & + (x_{1m} \omega_1 + x_{2m} \omega_2) S^3 + \\ & \cdot 1 \cdot \\ & + [x_{1m}(\omega_1^2 + \omega_2^2) + x_{2m}(\omega_1^2 + \omega_2^2)] S^2 + \\ & \cdot 1 \cdot \\ & + (x_{1m} \omega_1 \omega_2^2 + \omega_1^2 \omega_2^2 (x_{1m} + x_{2m})) \} }{(T_3 S + 1) \cdot (T_4 S + 1)}, \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, сигнал выходной концентрации, рассчитываемый в моделирующей системе, запишется в виде:

$$L[x_{6blx}(t)] = L[x_{om}(t)] \cdot W_{\phi\phi}(S) \cdot \sum W_{di}(S) \cdot W_{n\phi y}(S) \cdot W_c(S), \quad (9)$$

где $L[x_{om}(t)]$ – изображение входного воздействия в моделирующей системе; $W_{\phi\phi}(s)$ – ПФ формирующего фильтра, генерирующего на своем выходе совокупный сигнал блока дозаторов; $W_{nd\phi}(s)$ – ПФ передаточно-формирующего узла; $\Sigma W_{di}(s)$ – изображение импульсной переходной функции блока дозаторов; $W_c(s)$ – ПФ смесительного устройства с наличием каналов направленной организации материальных потоков.

В развернутом виде передаточная функция смешеприготовительного агрегата с учетом прямооточного, форвард-канала (опережающего) и двух рецикл-каналов имеет вид:

$$W_S(S) = \frac{K \cdot \exp[-(\tau + \tau_{n\phi\gamma})S] \cdot (g_{d_{i0}}S^4 + g_{d_{i1}}S^3 + g_{d_{i2}}S^2 + g_{d_{i3}}S + g_{d_{i4}})}{K \cdot \exp[-(\tau + \tau_{n\phi\gamma})S] \cdot \sum_{j=0, m=4} g_{d_{ij}} \cdot S^{m-j}} \cdot \frac{\sum_{k=0, n=7} d_{S_k} \cdot S^{n-k}}{\sum_{k=0, n=7} d_{S_k} \cdot S^{n-k}}, \quad (10)$$

где $g_{dij}, j = \overline{0, m=4}$ и $d_{Sk}, k = \overline{0, n=7}$ – соответственно коэффициенты полиномов: числителя изображения выходного сигнала блока дозаторов и знаменателя передаточной функции СМПА, являющиеся функциями технологических параметров фрагментов смесеприготовительного агрегата.

Второй этап анализа процесса смешеприготовления в смесительной системе предусматривает формирование моделей исследуемых структур (фрагментов смесительного агрегата, входных воздействий со стороны дозаторно-питающего устройства и т.д.) в виде сигнального графа (графа Мэйсона) [3].

Представление модели смесительной системы в виде сигнального графа упрощает операции с фрагментами ее структурной схемы. Следовательно, в общем виде математические модели исследуемой смесительной системы вводятся в рамках диалогового режима в поле ЭВМ в виде сигнальных графов. При этом в памяти ЭВМ формируется определенная топологическая структура, соответствующая реальному составу системы. Таким образом, сущность способа сводится к двухэтапной реализации:

- на первом этапе определяют аналитически аппроксимационные изображения по Лапласу задаваемых входных концентраций;
- записанные в полиномиальной форме лапласианы входных сигналов вводят в качестве ПФ

звеньев, эквивалентных дугам формируемого сигнального графа Мэйсона (рис. 9).

На графе отмаркированы узлы и дуги, операторы дуг графа заключены в угловые скобки. Так, $W_{dj}(s)$ определяют дозирующие устройства системы, $W_f(s)$, $\bar{W}_f(s)$ – ПФ передаточно-формирующего узла (ПФУ); $W_M(s)$ и $\bar{W}_M(s)$ – ПФ прямооточного канала смесителя; $W_F(s)$, $\bar{W}_F(s)$ и $W_{MF}(s)$ – ПФ согласно-параллельного канала; $W_R(s)$ и $\bar{W}_R(s)$ – ПФ локального контура рецикла; $\bar{W}_R(s)$, $W_{Rd}(s)$ и $\bar{W}_{Rd}(s)$ – описывают внешний рецикл-канал «смеситель – выход БДУ». В соответствии с этой моделью передаточная функция агрегата по выходному сигналу в узле 17 определяется как

$$W(s) = \sum_{i=j, r=N} H_i(s) \Phi_i(s) / \Phi(s),$$

где $H_i(s), \Phi_i(s)$ – соответственно ПФ i -го канала графа от входа к выходу и вырожденный i -й определитель графа.

$$\Phi(s) = 1 + \sum_{\varphi=1} \sum_{p \mid 1, r_\varphi} \epsilon_{1, \varphi} \cdot H_{\varphi l}(s),$$

где $H_{\varphi l}(s)$ – произведение ПФ для l -го сочетания из φ несовместимых контуров в разомкнутом состоянии; r_0 – общее число сочетаний.

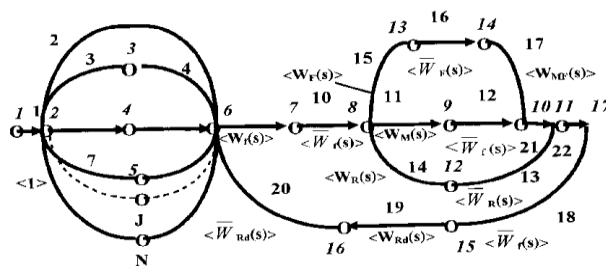


Рис. 9. Сигнальный граф смесительной системы

С целью придания топологической схеме гибкости, проверки достоверности выполняемых расчетов при моделировании отдельных узлов агрегата, а также адекватности формируемых временных сигналов в различных точках смесительного комплекса описанная выше схема агрегата была представлена в форме, позволяющей применять принципы интерактивности при проведении исследований агрегата. При этом в сигнальном графе каждая дуга заменялась многовыходовым универсальным блоком, на который можно было подавать до пяти внешних воздействий.

Подобная схема модели исследуемого агрегата дает возможность оперативно производить перерасчет системы смесеприготовления с учетом варьирования параметров входящих в ее состав элементов.

Расчетная блочная структурная схема модели агрегата приведена на рис. 10.

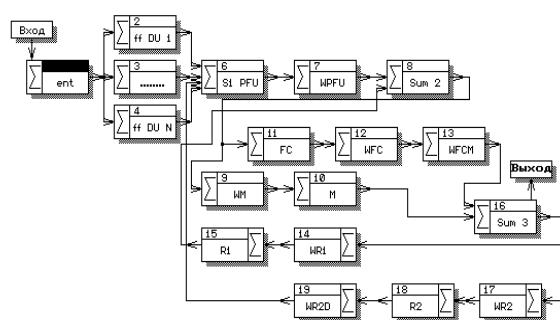


Рис. 10. Расчетная блочная структурная схема СМПА

Здесь блоки 2÷4 представляют собой формирующие фильтры, на выходе которых генерируется воздействие, описывающее реальные дозирующие сигналы (непрерывного и дискретно-релаксационного типов). Блоки 6÷8 моделируют передаточно-формирующий узел; 9, 10, 16 – прямоточный канал смесительного аппарата (*M*-канал); 11÷13 – канал опережения (*F*-канал); 14, 15 – канал локального рецикла (*R1*-канал по типу внутреннего или внешнего кон-

тура); 17÷19 – канал расширенного рецикла (*R2*-канал «смеситель – выход блока дозаторов»). Блоки 7, 9, 12, 14, 17, 19 и их модели определяют виртуальные звенья, учитывающие преобразования типа «массопередача – мгновенный расход» соответственно в ПФУ, *M*-канале смесительного устройства, *F*-канале и каналах рецикла. Остальные звенья моделируют процессы отбора и массопереноса материалов на соответствующих участках агрегата.

Таким образом, разработка новых конструкций СНД для производства дисперсных смесей с направленным движением материалопотоков внутри аппарата, сочетающих прямоточное перемещение частиц материала с их перемещением через каналы рециркуляции и опережения, необходима для уверенного сглаживания погрешностей дозирования. А моделирование смесеприготовительных процессов в агрегате позволяет заранее подбирать параметры дозирующего и смесительного оборудования и выявлять наиболее рациональные согласованные режимы их работы для эффективного сглаживания входных питающих потоков и равномерного распределения частиц исходных ингредиентов по всему объему поликомпонентной смеси. Это в конечном счете ведет к получению готового продукта высокого качества (с высокой однородностью).

Список литературы

1. Шушпанников, А.Б. Смесительные агрегаты вибрационного типа для дисперсных материалов : монография / А.Б. Шушпанников, Г.Е. Иванец; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2008. – 152 с.
2. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов. – М.: Машиностроение, 1973. – 215 с.
3. Федосенков, Б.А. Процессы дозирования сыпучих материалов в смесеприготовительных агрегатах непрерывного действия – обобщенная теория и анализ (кибернетический подход) : монография / Б.А. Федосенков, В.Н. Иванец; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2002. – 200 с.
4. Шушпанников, А.Б. Оценка инерционных свойств вертикально-вибрационных смесителей / А.Б. Шушпанников, А.Г. Золин, О.П. Рынза, С.В. Злобин // Техника и технология пищевых производств. – 2010. – № 1. – С. 18.

ГОУ 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

A.B. Shushpannikov, B.A. Fedosenkov, V.P. Doroganov, O.P. Rynza

The main directions in the development of continuous-type Mixture-producing aggregates

Two aspects of forming and equipping the structure of a mixture-producing aggregate with the purpose of obtaining a high-quality finished product have been considered in the paper. The aim of the first aspect is increasing a smoothing ability for continuous-type mixers with recycling and by-pass channels. The second aspect concerns modeling the processes in the aggregate on the basis of dynamic systems transfer functions techniques and the theory of signal graphs to determin the most comfort and associated performance regimes for dosing and mixing equipment.

Mixture-producing aggregate, bulk material, transfer function, signal graph.

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

