



УДК 678.033.3:66.063.8

© С. П. Захарычев, Н. Г. Демина, В. А. Иванов, Д. В. Картелев, 2013

## СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СМЕШЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПАУНДОВ<sup>1</sup>

*Захарычев С. П.* – канд. техн. наук, доц. кафедры «Машины и оборудование лесного комплекса»; *Демина Н. Г.* – асп. кафедры «Компьютерное проектирование и сертификация машин», nataly@pravmail.ru; *Иванов В. А.* – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Машины и оборудование лесного комплекса»; *Картелев Д. В.* – канд. техн. наук, доц. кафедры «Компьютерное проектирование и сертификация машин», e-mail: pilot@kpsm.khstu.ru (ТОГУ)

Повышение эффективности процесса смешения и создание смесителей для подготовки компаундов очень сложная задача из-за высоких вязкостей композиций и особенностей их реологии. Системный анализ позволяет применить структурно-параметрический метод выбрать оптимальные конструкции смесителей на начальной стадии проектирования.

Enhancing the effectiveness of mixing process and creation of mixers for compound's preparation is very difficult problem because of high compound viscosity and features of their rheology. The system analysis allows one to apply a structural and parametrical method for choosing optimum design of mixers at the initial design stage.

*Ключевые слова:* смешение, вязкость, смеситель шнековый, компаунд, полимерный композиционный материал.

Аппараты с механическими смесительными устройствами являются распространенным видом оборудования, используемым для получения различных смесей материалов с требуемыми свойствами в химических технологиях, строительстве и во многих других отраслях промышленного производства [1]. Технологии приготовления полимерных компаундов включают операции смешения полимеров с наполнителями, придающими материалам требуемые физико-механические и специфические свойства [2].

С целью реализации системного подхода при выборе оптимального типа конструкции смесителя и оценки его работоспособности на первой стадии проектирования целесообразно использовать метод структурно-параметрического анализа и синтеза аппаратов различных устройств.

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Государственного контракта № 14.В37.21.1829

Процесс проектирования смесителей на начальной стадии заключается в выборе вида механического устройства, компоновки и размеров проточной части и оказывает решающее влияние на технико-экономические показатели и качество получаемых результатов. Неудачный выбор конструкции на первой стадии проектирования предопределяет увеличение объема затрат и времени на доработку конструкции, не гарантирует получения оптимального технического решения и достижения требуемого технологического результата – качественных показателей продукции.

В зависимости от средних вязкостей обрабатываемых смесей применяются различные устройства механических смесителей (рис. 1).



Рис. 1. Рекомендуемые типы смесительных устройств для сред с различной вязкостью [4]

Структурно-параметрический синтез смесителей заключается в создании составной алгоритмической модели объекта для двухфазной среды на базе единого центробежного критерия Рейнольдса, по которому можно провести выбор исходных типов компоновок конструкций аппаратов [3, 4]. При этом, последовательно учитываются виды агрегатного состояния фаз: растворимые жидкости (гомогенная среда), нерастворимые жидкости (эмульсии), твердое тело и жидкость (суспензия), газ и жидкость. После определения состояния фаз, образующих систему, задаются общие параметры среды, ее компонентов и характеристик нормализованных смесительных устройств. Учитываются: взрыво- и пожаробезопасность, агрессивность и кислотность среды, КПД двигателя, частота вращения мешалки, диаметр аппарата, диаметр мешалки, плотности сплошной и дисперсной фаз, динамические вязкости, объемы и плотности фаз. В зависимости от агрегатного состояния фаз, образующих систему, рассчитывается коэффициент динамической вязкости и плотность среды по правилу аддитивности объемных концентраций. После этого производится расчет центробежного критерия Рейнольдса, по величине которого определяется гидродинамический режим смешения: ламинарный, переходной или турбулентный. Далее формируется ряд альтернативных компоновок, каждая из которых включает в себя тип мешалки и корпуса, а также дополнительные параметры в зависимости от наличия или отсутствия особенностей смешиваемой среды. Для каждого гидродинамического режима и вида среды выбирается нормализованный тип смесителя, задаются: вид работы – перио-



дического или непрерывного действия, определяется цель смешения. Для достижения требуемой степени однородности концентрации вещества и интенсификации теплообмена вводятся общие конструктивные параметры – число мешалок на валу и расстояние от дна аппарата, а также параметры теплопередачи: тепловой поток (с соответствующим знаком), теплопроводности корпуса и обеих фаз, удельные теплоемкости, требуемая температура смешения среды, толщина стенки корпуса. Кроме того, вводятся частные параметры для расчета интенсификации теплообмена: вид теплоносителя и, зависящий от него, тип теплообменного устройства. Нормализованные теплообменные устройства следующие: гладкая цилиндрическая рубашка, рубашка из полутруб, змеевик. Затем вводятся главные характеристики принимаемого вида теплоносителя. Для технологического пара: температура конденсации, плотность конденсата, его динамическая вязкость, теплопроводность, плотность и удельная теплота парообразования насыщенного пара. Для жидкого теплоносителя вводятся следующие его характеристики: плотность, динамическая вязкость, теплопроводность, удельная теплоемкость, коэффициент объемного расширения, температура на входе, объемный расход теплоносителя. Также вводятся дополнительные конструктивные характеристики каждого типа теплообменных устройств: радиус и высота сегмента полутрубы, расстояние между секторами полутруб, диаметр трубы и витков змеевика, число его витков и количество змеевиков, устанавливаемых в аппарат.

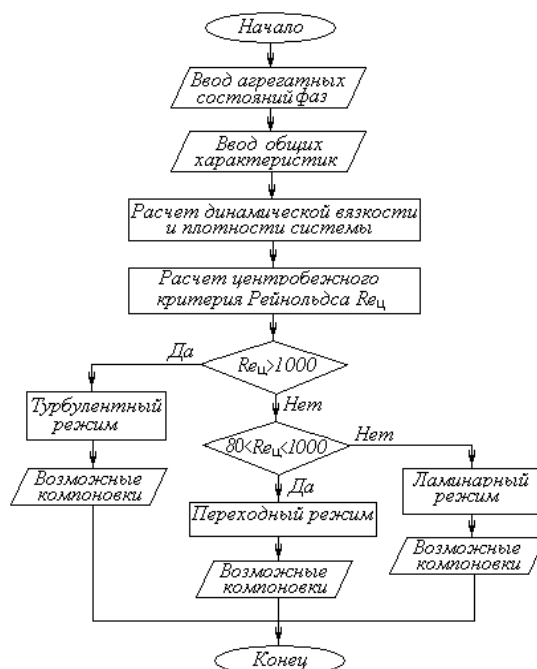
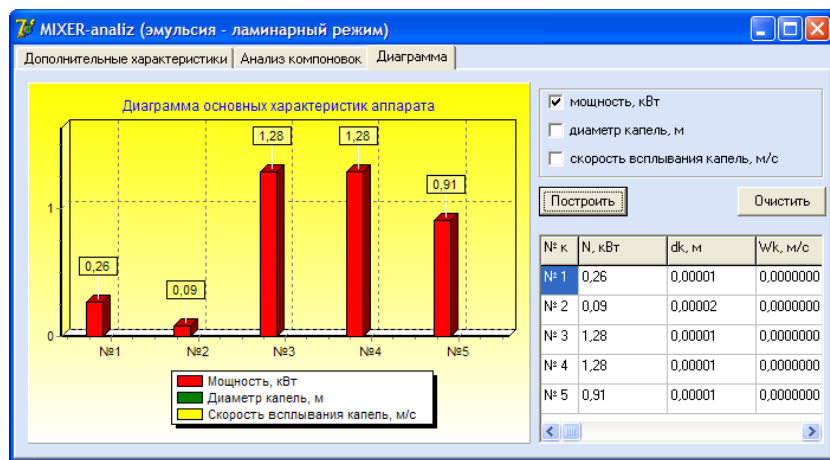


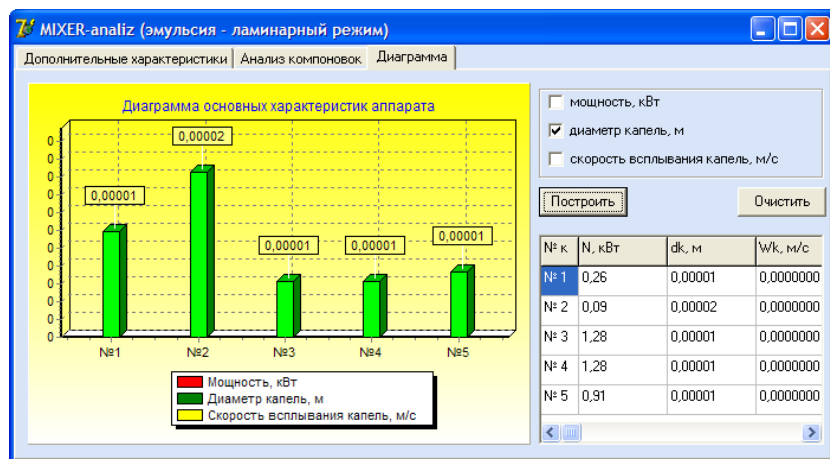
Рис. 2. Блок-схема структурно-параметрического синтеза аппаратов со смешительными устройствами

Блок-схема структурно-параметрического синтеза аппаратов (рис. 2) включает в себя расчет затрат мощности на смешение, а также определение характеристик качества смешения в зависимости от типа агрегатных состояний фаз.

Структурно-параметрический анализ проводится для различных композиций материалов (систем) и определенных расчетами режимов смешения: турбулентного, переходного или ламинарного, по выбранным компоновкам аппаратов периодического или непрерывного действия с различными теплообменными устройствами или без них.



а



б

Рис. 3. Анализ компонок смесителей:  
а) мощность смешения; б) качество эмульсии



Для практического использования структурно параметрического метода проектирования аппаратов со смесительными устройствами разработано программное приложение «MIXER» в среде «DELPHI 7».

Приложение содержит файл проекта «MIXER» и файлы модулей. Модуль «My Unit» формирует главное окно (форму 1), остальные – дочерние немодальные окна. Первая страница главной формы «Общие характеристики» содержит две страницы: «Смеситель» и «Среда», на которых заполняются требуемые общие характеристики. В главной форме предусмотрен ввод физических свойств смешиваемых материалов для двух случаев: если заранее известны общие свойства смеси или известны свойства только составляющих фаз. На первой странице расположены также кнопки «Синтез» и «Очистить». При нажатии на первую кнопку осуществляется структурно-параметрический синтез компоновок аппарата, а при нажатии на вторую – очищаются элементы для ввода и результаты расчетов на второй странице формы. На третьей странице формы «Изображение компонентов» пользователь может просмотреть изображения рекомендуемых компоновок.

В качестве примера применения структурно-параметрического метода проведена оценка оптимальности выбора типа конструкции смесителя эпоксиэфторопластовых компаундов с отвердителем, использующимся в технологии получения антифрикционных полимерных композиционных материалов, разработанной в ТОГУ (рис. 4). Исходные средние вязкости для проведения расчетов смешения компаундов с отвердителем задавались по реологическим кривым, определенным ранее при различных температурах движения с различными градиентами сдвига оптимальных составов связующего и наполнителей [1, 5]. Весовые соотношения отвердителя и компаунда при смешении было принято постоянным и равнялось 1:10.



Рис. 4. Смеситель компаунда с отвердителем (патент РФ № 1754465 [1])

Результаты расчетов для разных конструкций (шнековой, якорной, ленточной, ленточной со скребками и шнековой с циркуляционной трубой) показывают, что наименьшие затраты мощности на смешение имеет якорная мешалка (0,09 кВт), а на втором месте находится шнековый смеситель, у которого мощность на смешение составила 0,26 кВт (рис. 3 а). Применение якорной мешалки признано для таких смесей нецелесообразным ввиду налипания компаунда и сложности организации непрерывного процесса.

Качество смешения оценивалось по среднему диаметру капель отвердителя в смеси (эмульсии). Для шнекового смесителя средний диаметр капель составлял – 46–75 мкм (при различных температурах смешения), а у якорной – 117 мкм, что значительно хуже. Еще меньший диаметр капель получался для ленточных мешалок – лишь 40 мкм, однако, такая конструкция пригодна лишь для приготовления резиновых смесей и невозможна для смешения липких эпоксиэфторопластовых компаундов.

Проведенная оценка смешения полимерных компаундов с отвердителем свидетельствует, что применение структурно-параметрического метода весьма целесообразно в практике выбора оптимальных технологических решений на начальной стадии проектирования. Описанный метод: позволяет выбрать оптимальную конструкцию смесителя, оценить качество смешения, при минимально-возможных энергетических затратах, т.е. добиться максимальной эффективности и экономичности технологического процесса.

### Библиографические ссылки

1. *Захарычев С. П.* Создание смесителей и исследование смешивания полимерных компаундов / С.П. Захарычев, В.А. Иванов // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2006. – № 2(3). – С.53 – 64.
2. *Иванов В. А.* Исследование структуры антифрикционных полимерных композиционных материалов / В.А. Иванов, С.П. Захарычев, А.Т. Тарасенко // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2005. – № 1. – С. 107 – 114.
3. *Александровский А. А.* Современное состояние и проблемы математического моделирования процесса смешивания сыпучих материалов / А.А. Аскадский, Ф.Г. Ахмадиев // Технология сыпучих материалов – Химтехника 86: Тез. докл. Всесоюз. конф. Белгород, – 1986. – Ч. 2. – 344 с.
4. *Стренк Ф.* Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк. –Л.: Химия, 1975. – 287 с.
5. *Иванов В. А.* Прогрессивные самосмазывающиеся материалы на основе эпоксиэфторопластов для триботехнических систем / В.А. Иванов, Ри Хосен. – Владивосток, Хабаровск: ДВО РАН, – 2000. – 429 с.