

ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертацию
Фатахетдинова Артема Мяксутовича
на тему: «СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА
ВИБРАЦИОННОГО СМЕШИВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СУХИХ
СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ», представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 05.02.13 – Ма-
шины, агрегаты и процессы (строительство)

Актуальность темы диссертации

Использование вибрационных технологий при переработке дисперсных материалов заняло устойчивую нишу в производстве строительных смесей. Вместе с тем, стало очевидным, что преимущества вибрационного перемешивания в полной степени реализуются только при надлежащем выборе параметров вибровоздействия, причем качество получаемых смесей весьма чувствительно к этим рациональным параметрам. Если в малотоннажных производствах их определение может быть экспериментально методом проб и ошибок, то в крупнотоннажных производствах такой путь оказывается практически бесперспективным. Важную роль здесь могут играть методы математического моделирования, которые позволили бы избежать многочисленных время- и трудоемких экспериментальных доводов. Если ориентироваться на метод проб и ошибок. Однако, процесс перемешивания разнородных дисперсных материалов является очень сложным объектом для математического моделирования в силу его высокой стохастичности. Одним из эффективных математических инструментов для описания случайных процессов в дисперсных средах является теория цепей Маркова, но ее трансформация из раздела теории вероятностей в метод расчета процессов виброисмешивания является самостоятельной теоретической и экспериментальной научной задачей. Поэтому тему диссертации А.М. Фатахетдинова следует считать актуальной.

Оценка содержания диссертации

Первая глава диссертации традиционно посвящена обзору литературных источников по исследуемому вопросу (библиографический список содержит 148 наименований работ отечественных и зарубежных авторов). В поле зрения автора попали самые разнообразные работы по практике перемешивания, правда, иногда имеющие весьма косвенное отношение к основной теме работы. При выборе методологии моделирования автор практически сразу обращается к ячеечным моделям и связанным с ними математическим аппаратом теории цепей Маркова, что естественно для школы, в рамках которой выполнялась работа. Не имея ничего против выбранной стратегии,

на наш взгляд, в обзоре следовало бы уделить внимание методу дискретных элементов (DEM simulation), который в настоящее время большинством исследователей рассматривается как единственная успешная альтернатива всем известным методам моделирования процессов в дисперсных средах.

Тем не менее, в целом, обзор можно признать удовлетворительным и неформально соответствующим поставленной задаче.

Вторая глава посвящена построению математической модели кинетики вибрационного перемешивания двухкомпонентной смеси сыпучих материалов. Здесь, однако, следовало бы иметь в виду, что каждый компонент уже является многокомпонентной смесью частиц одного материала, но разной крупности. Впрочем, этот важный фактор не учитывается ни в одной из известных нам работ. При построении ячеечной модели автор последовательно использует стратегию построения марковской модели случайного процесса: формирование пространства состояний, формирование направлений и прояснение физического смысла переходных вероятностей, построение графа марковской цепи и матрицы переходных вероятностей. Особенностью переходной вероятности, обусловленной сегрегацией ключевого компонента в основном, является ее зависимость от наличия свободного пространства в нижележащей ячейке, что делает модель нелинейной (матрица переходных вероятностей зависит от текущего вектора состояния смеси – распределения текущего компонента по ячейкам цепи), но гораздо более адекватной физике реального процесса. Далее переходные вероятности связываются с параметрами диффузионной интерпретации процесса (коэффициент макродиффузии D и линейная скорость сегрегации V) и параметрами цепи (линейный размер ячейки и продолжительность временного перехода). Сначала выполнены численные эксперименты с одномерной моделью периодического смешивания, демонстрирующие влияние макродиффузии и сегрегации на кинетику формирования качества смеси. Полученные здесь результаты не противоречат известным данным, что качественно свидетельствует о их достоверности.

Далее автор переходит к описанию непрерывного смешивания, для чего использует двухмерную цепь ячеек. Физический смысл переходных вероятностей вполне ясен, но, судя по формуле (2.14), автор отказывается от нелинейной модели, считая элементы матрицы постоянными. Однако, при моделировании непрерывного процесса (процесс с порождением и гибелью части) необходимо вводить место и производительность подачи и отвода частиц, что в диссертации фактически не описано. Судя по рис.2.14-2.16 численные эксперименты снова выполнены для периодического смешивания.

Глава завершается блок-схемой моделирования, правда, без стандартного условного обозначения блоков.

В третьей главе приводятся результаты экспериментального исследования смешивания и поиска путей идентификации параметров модели. Для экспериментов использована плоская модель смесителя с прозрачными боковыми стенками, позволяющая делать мгновенные фотографии распределения

модельных частиц по высоте слоя. Затем фотографии обрабатывались по стандартной программе распознавания образов с последующим пересчетом на распределение концентрации. Если к процедуре экспериментального определения распределения концентрации ключевого компонента по высоте слоя особых вопросов нет, то процедура идентификации величин V и D нуждалась бы в более глубоких разъяснениях. Например, на стр.71 сказано, что скорость сегрегации составила $V = 3,3$ мм/с, а коэффициент диффузии – $D=36,3$ мм²/с. В то же время, на стр.75 написано (и отмечено в формуле (3.3)), что скорость сегрегации меняется от ячейки к ячейке и от перехода к переходу. Тогда остается открытым вопрос, как получить эти локальные значения скорости сегрегации и как они связаны со средним значением V .

Итогом этой части главы является рис.3.18, где приводится кинетика перемешивания при трех различных критериях Фруда. К технике определения опытных точек на этих графиках претензий нет, но при каких V и D рассчитывались теоретические кривые остается непонятным.

Во-второй части главы описано исследование кинетики формирования цементно-песчаной смеси на лабораторной установке, габариты которой не указаны. Здесь предлагается идентифицировать параметры модели смешивания V и D на основе аналогии между движения частиц в виброоживленном слое в вибросмесителе и вибросепараторе (грохоте). Однако, при этом появляется третий параметр – вероятность прохождения частиц через ячейку сита, и остается непонятным, как это облегчает процедуру идентификации. Кроме того, также непонятно, почему пробы отбирались вертикально, захватывая всю высоту слоя (стр.87) и какое отношение имеет такая проба к оценке качества смеси.

В целом собственно экспериментальные процедуры описаны обоснованно, и первичные опытные данных могут оцениваться как достоверные, чего с уверенностью нельзя сказать об идентификационных процедурах.

Четвертая глава посвящена промышленному внедрению результатов работы приведены результаты внедрения исследований в компании «DASO» ООО «РИМ» (город Родники, Ивановская область), имеющей собственное производство суперконцентратов, в которое входит линия смешивания сажи и полиэтилена. Автором были проведены расчетно-экспериментальные исследования, которые позволили рекомендовать установку вибрационного смесителя на линии производства суперконцентратов ГКТУ- 4000 и ГКТУ-5000. Предложен режим вибрации установки: амплитуда колебаний – 2 мм, частота колебаний – 30 Гц. В чем состояли эти исследования и идет ли речь о закупке одного из выпускаемых промышленностью вибросмесителей или о самостоятельном изготовлении смесителя в главе не расписано.

По содержанию диссертация является законченным исследованием, имеющим внутреннее логическое единство. Она оформлена грамотно и аккуратно, хотя и не лишена опечаток и погрешностей оформления. Например, в обзоре уравнение (1.3) не является уравнением движения, а $C(Re)$ никогда не

называлось коэффициентом давления воздуха на частицу, символ k одновременно и номер перехода, и среднее время пребывания, не понятно, что означает индекс i в равенстве (2.6) и т.д. Однако они не играют принципиальной роли при чтении работы.

Новизна, достоверность и обоснованность основных положений и выводов диссертации

К новым научным результатам работы можно отнести модернизированную ячеечную модель кинетики вибрационного смешивания разнородных дисперсных материалов, лабораторные установки для получения первичных опытных данных по кинетике формирования смесей, собственно эти данные и методы их обработки для идентификации разработанной модели и оценки влияния амплитудо-частотной характеристики на качество и производительность получаемых смесей. Собственно модель, техника экспериментов и первичные экспериментальные данные можно считать обоснованными и достоверными. Процедура идентификации параметров модели не описана автором достаточно детально, чтобы признать ее достоверной. В целом же, достоверность полученных результатов и выводов работы подтверждается корректным использованием математического аппарата и приемлемым совпадением расчетных и экспериментальных данных.

Замечания по диссертации

1. При наложении вибровоздействия происходит расширение слоя. Плотный или расширившийся слой следует использовать при выборе числа ячеек (или их высоты)?
2. $M=f(Q)$, которая в первом приближении может считаться линейной. Почему? (с.47)
3. Непрерывное смешивание это процесс с порождением и гибелью (исчезновением) частиц в пространстве состояний. Как это учитывается в уравнении (2.13), которое относится к периодическому процессу?
4. Судя по графику рис.2.15, полное количество компонента в смесителе сохраняется. Как это связывается с непрерывностью процесса?
5. Хотелось бы видеть более подробное описание процедуры определения V и D по экспериментальной σ , так как одной и той же σ могут соответствовать разные комбинации V и D .
6. За счет чего изменялось число Фруда на рис. 3.12: амплитуды или частоты колебаний? Откуда уверенность, что амплитуда и частота влияют именно скомбинированными в число Фруда?

7. На графике рис.3.12 с ростом числа Фруда неоднородность смеси увеличивается, а на рис.3.18 – нет. Почему?

8. Рекомендация проводить промышленное перемешивание цементно-песчаной смеси при величине критерия Фруда $8,0 \leq Fr \leq 10,8$, при амплитуде колебаний $2 \pm 0,2$ мм и частоте колебаний 30 ± 5 Гц не подтверждена таблицами или графиками.

Несмотря на сделанные замечания, считаю, что достоинства работы, безусловно, перевешивают ее недостатки, и в целом она может быть оценена положительно.

Основные положения диссертации с достаточной полнотой отражены в публикациях автора.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Заключение по диссертации

Диссертационная работа Фатахетдинова Артема Мяксутовича, выполненная на тему «Совершенствование технологии процесса вибрационного смешивания при производстве сухих строительных смесей» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения по уменьшению степени неоднородности готового продукта процесса смешивания с использованием разработанной методики определения режимов вибрации смесителей, обеспечивающих формирование заданных показателей качества сыпучей смеси, имеющие важное значение для экономики строительной индустрии и смежных отраслей. Основные результаты работы диссертации обладают научной новизной и вносят существенный вклад в теорию и практику развития вибрационных машин и процессов для смешивания сыпучих материалов. Диссертационная работа соответствует п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 и паспорту специальности 05.02.13 по области исследования пп. 1. – «Разработка научных и методологических основ проектирования и создания новых машин, агрегатов и процессов; механизации производства в соответствии с современными требованиями внутреннего и внешнего рынка, технологии, качества, надежности, долговечности, промышленной и экологической безопасности», 3. – «Теоретические и экспериментальные исследования параметров машин и агрегатов и их взаимосвязей при комплексной механизации основных и вспомогательных процессов и операций», 5. – «Разработка научных и методологических основ повышения производительности машин, агрегатов и процессов и оцен-

ки их экономической эффективности и ресурса».

Автор диссертации, Фатахетдинов Артем Мякусович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (строительство).

Официальный оппонент,
профессор кафедры прикладной математики
Ивановского государственного
энергетического университета,
доктор технических наук по специальности
05.17.08 - Процессы и аппараты химических
технологий, профессор

Вадим Евгеньевич
Мизонов



Контактная информация

Адрес: 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, ИГЭУ

тел. +7-910-9948858

E-mail: mizonov46@mail.ru

Подпись Мизонова В.Е. заверяю
Ученый секретарь совета ИГЭУ



Ю.В. Вылгина