

Иванова А.П., Пискарёва Т.И., Межуева Л.В., Гунько В.В.
Оренбургский государственный университет
E-mail: larisam57@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРИЗАЦИИ ДОМИНИРУЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА

В статье рассматривается структурная схема математической модели процесса смешивания, которая позволила осуществить его физически в лабораторных условиях, с учетом степени значимости параметров, обеспечивающих научный прогноз и планирование результатов.

Ключевые слова: технологический процесс, математическая модель, оптимизация, смеситель, доминирующие показатели.

Структуризация показателей, характеризующих технологический объект (процесс), позволяет сформулировать математический комплекс, описывающий внешние и внутренние параметрические взаимосвязи. Аналитический подход включает систематизацию параметров и выделение наиболее значимых.

Рассматривая конкретный технологический процесс, например, смешивание сыпучих ингредиентов, следует отметить, что целесообразно разбить весь комплекс показателей, характеризующих его, на отдельные блоки. Каждый блок должен объединять группу однородных параметров.

Формализованный подход позволяет, не только логически сгруппировать параметры, но и решить проблему по их методическому определению.

Рассматривая тенденции конструктивного развития шнеково-лопастных смесителей для приготовления качественных, многокомпонентных сыпучих масс, следует сделать упор на математическое моделирование, протекающего в нем технологического процесса.

Если математическое описание технологического процесса, начать с предварительного моделирования физического процесса в лабораторных условиях [1], то это даст возможность наглядно представить и оценить длительность его протекания, а также создаст предпосылки научного прогноза и планирования результатов. При воспроизведении в лабораторных условиях реального процесса смешивания возникает проблема, заключающаяся в том, что не всегда в рассматриваемой модели процесса удастся сохранить его физическую природу, т. к. при движении сыпучих компонентов возникает элемент детерминированного хаоса, т. е. состояние нерегулярности и беспорядка. Процесс ма-

тематического моделирования включает в себя два взаимосвязанных этапа:

- введение характеристик изучаемого процесса;
- учет закономерностей между этими характеристиками.

При проектировании смешивающих аппаратов – многофункциональных, универсальных, необходимо четко сформулировать выходные свойства результатов процесса, на выполнение, которых должен быть нацелен объект или процесс [2].

К выходным, в данных условиях, можно отнести:

- экономическую эффективность процесса;
- энергоемкость;
- качественный выход продукции.

Для достижения необходимых результатов, следует вывести взаимосвязи между отдельными блоками однородных параметров. Параметрический комплекс смесеприготовления можно представить следующими блоками:

- режимно-кинематическим (РКБ), объединяющим показатели процесса;
- физико-механическим (ФМБ) и реологическим (РБ) включающими характеристики сыпучих ингредиентов;
- конструктивно-технологическим (КТБ), являющимся базовой основой проектирования смесителей.

Структурная схема математической модели процесса смешивания сыпучих ингредиентов представлена на рисунке 1.

Наиболее важную регулирующую функцию выполняет продолжительность цикла перемешивания, которая рассматривается как граничная или стыковая между ресурсосбережением и качеством продукции.

Технологический процесс, протекающий в рабочем пространстве смешивающего аппарата, представляет собой определенную материально-энергетическую совокупность, и, чем теснее переплетаются в ней звенья, тем интенсивнее и эффективнее работает вся система.

Теоретическое прогнозирование результата исследования имеет наибольшую вероятность, когда подбор элементов подсистемы, представленных блоками однородных параметров, влияющих на процесс смесеприготовления, осуществляется скрупулезным анализом всего многообразия функциональных зависимостей, с учетом степени значимости. Соответственно только в таком случае, может быть гарантирована сходимость эмпирических и теоретических результатов.

Согласно предлагаемой структуре математической модели, сформированной из доминирующих показателей, решается актуальная задача создания сыпучей, качественной, многокомпонентной массы, при низкой энергоемкости с использованием усовершенствованной, надежной конструкции смесителя, подтвержденная экономической эффективностью. Эмпирически, качество приготавливаемой сыпучей смеси зависит от мощности N , затрачиваемой на весь процесс, протекающий в шнеково-лопастном смесителе [3]:

$$N = L_{ш} \cdot g \cdot \rho_n \cdot \left(\frac{K \cdot V_{см} \cdot C}{T} + \frac{\pi \cdot D^2 \cdot n \cdot v \cdot S_0}{4} \right) + 8 \cdot \varepsilon \cdot \pi^4 \cdot \rho_n \cdot v^3 \cdot \left[a \cdot \sum_{i=1}^n H_i + (L^2 - l^2) \right] \cdot \left(\sum_{i=1}^m r_i + R \right)^3 \cdot \frac{m}{G \cdot d_s \cdot \mathcal{J}^2}$$

где $L_{ш}$ – длина шнека, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; C – коэффициент сопротивления; $V_{см}$ – объем смесительной камеры с учетом коэффициента загрузки, м³; K – коэффициент

заполнения шнека; ρ_n – насыпная плотность, кг/м³; T – время приготовления одной порции смеси, с; D – диаметр шнека, м; S_0 – шаг шнека, м; v – частота вращения, об/с; ε – коэффициент сопротивления (в режиме турбулентного движения $\varepsilon = 0,44$); a – радиус стержня, м; H – высота стержня, м; L – внешний радиус сферы, м; l – внутренний радиус сферы, м; r – расстояние от стержня до оси вращения, м; R – радиус окружности, описываемой лопастью; G – сдвиг смеси, кг/м; d_s – эквивалентный диаметр компонентов смеси, м; \mathcal{J} – жесткость смеси, с.

Передача энергии смешиваемым ингредиентам может осуществляться, в зависимости от конструкции смесителя, как через шнеково-лопастную рабочую поверхность, так и через поверхность самой камеры (если она осуществляет движение).

По итогам проведенных экспериментальных исследований строятся графические зависимости, наглядно представляющие характер поведения сыпучей смеси в различных диапазонах параметров, входящих в блоки физико-механических, реологических, режимно-кинематических и конструктивно-технологических показателей. Определяется графическая область оптимальных решений, каждая точка которой позволяет эффективно осуществлять процесс смешивания в шнеково-лопастном смесителе (рисунок 2). Эта эмпирическая область создается наложением друг на друга, полученных графических зависимостей и вводом необходимых ограничений.

Стратегия ввода ограничений по комплексу выходных показателей осуществляется исходя из технологических условий, технических и экономических возможностей, при этом обеспечивается максимальное преимущество каждого из них.

Реализация поставленных задач возможна в пределах области оптимальных решений, формирование которой является творческим процессом исследователей и может идти разными путями. В частности, в числе ограничивающих, могут быть использованы, как выходные показатели (мощность, расходуемая на смешивание – N , степень однородности смеси – M , производительность – Q , энергоемкость – E), так и доминирующие показатели, входящие в параметрические блоки (масса загрузки смесителя – m , угол поворота лопастей – φ) или являющиеся стыковыми (время приготовления одной порции смеси – T).



Рисунок 1. Структурная схема математической модели процесса смешивания сыпучих ингредиентов

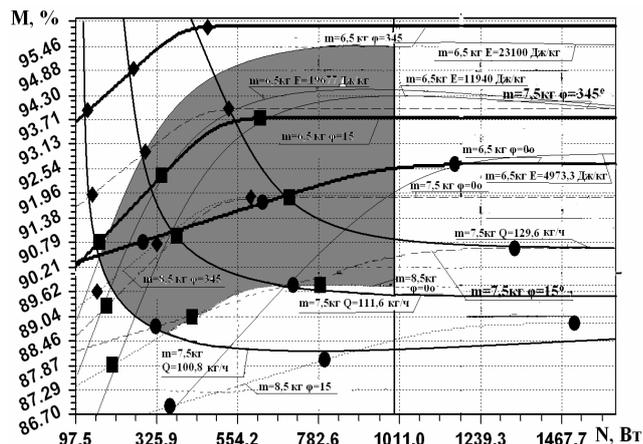


Рисунок 2. Эмпирическая область оптимальных решений процесса создания однородной сыпучей массы в шнеково-лопастном смесителе

Анализ полученных зависимостей показывает, что использование различных режимов эксплуатации смесителя, дает возможность регулирования качественно-энергетических составляющих процесса смесеприготовления.

Оптимизация процесса, осуществляемого в смесителе периодического действия, содержит также метод многофакторного регрессионного анализа, который аппроксимирует экспериментальные данные алгебраическими полиномами.

Следует отметить, что найденная, таким образом, эмпирическая область, является конкретным решением для каждого отдельно рассматриваемого комплексного сочетания доминирующих параметров.

20.07.2014

Список литературы:

1. Пат. №2417118 Российская Федерация, МПК В01F7/24 . Лабораторный смеситель / Иванова А.П., Межуева Л.В., Пискарева Т.И.; заявитель и патентообладатель ОГУ – №2009138211/05; заяв. 15.10.2009; опубл. 27.04.11. – 3 с.
2. Инженерная геометрия в проектировании смесителей / Иванова А.П. [и др.] // Вестник ОГУ. – 2010. – №10. – С. 138–140. – ISSN 1814-6457
3. Пискарева Т.И. Влияние физико-механических и конструктивно-технологических параметров на процесс смешивания в шнеково-лопастных смесителях; автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01 / Т.И. Пискарева. – Оренбург: ОГАУ, 2011. – 20 с.

Сведения об авторах:

Иванова Анастасия Петровна, профессор кафедры начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, профессор

Пискарева Татьяна Ивановна, доцент кафедры общей физики

Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук

Межуева Лариса Владимировна, профессор кафедры пищевая биотехнология,

доктор технических наук, профессор

Гунько Виктория Викторовна, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности

Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, e-mail: larisam57@mail.ru