

**З.В. Ловкис, заслуженный деятель науки Республики Беларусь,
член-корр. НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, генераль-
ный директор; А.И. Григель**

*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продоволь-
ствию», г. Минск, Республика Беларусь*

СМЕШИВАНИЕ ПИЩЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ

Аннотация: В пищевой промышленности при производстве практически всех продуктов питания необходимо объединение нескольких ингредиентов, а точнее — процесс смешивания. Под процессом смешивания понимается доведение до однородного состояния исходных компонентов, будь то сухих, сыпучих или жидких, путем механического, физического, химического или другого воздействия на компоненты. Как показывает анализ, данный вопрос в литературных источниках изучен недостаточно, поэтому полученные новые данные являются актуальными.

В данной статье дополнено понятие процесса смешивания, рассмотрены факторы влияющие на процесс смешивания. Рассмотрен процесс непрерывного смешивания, приведены классификации и описание отдельных непрерывно действующих смесителей. Дано описание показателей, которые оценивают эффективность процесса смешивания. Предложен и описан экспериментальный образец смесителя непрерывного действия: приведены его устройства и принцип работы.

Ключевые слова: смешивание, процесс, компонент, механизм, сыпучий материал, степень однородности, смеситель

Z.V. Lovkis, A.I. Grigel

*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs
of the National Academy of Sciences of Belarus”, Minsk, Republic of Belarus*

MIXING FOOD COMPONENTS

Abstract. In the food industry, the production of almost all food products requires the combination of several ingredients, or rather, the mixing process. The mixing process is understood to bring to a homogeneous state of the starting components, whether dry, bulk or liquid, by mechanical, physical, chemical or other effects on the components. As analysis shows, this issue has not been sufficiently studied in the literature, so the new data obtained are relevant.

In this article, the concept of the mixing process is supplemented, factors affecting the mixing process are considered. The process of continuous mixing is considered, classification and description of individual continuous mixers are given. A description is given of indicators that evaluate the effectiveness of the mixing process. An experimental prototype

of a continuous mixer is proposed and described: its devices and principle of operation are given.

Keywords: mixing, process, component, mechanism, bulk material, degree of uniformity, mixer

Смешивание — механический процесс, обеспечивающий равномерное распределение компонентов сырья по всему объему смеси. В результате смешивания получают смеси однородного состава. Любая часть смеси должна иметь одинаковые показатели качества или должна подчиняться закону аддитивности — когда величина, соответствующая целому объему, равна сумме значений величин, соответствующих его частям [4].

На эффективность смешивания влияют физико-механические свойства компонентов: плотность, размер частиц, объемная масса, влажность. Чем ближе по этим признакам свойства частиц, тем быстрее происходит их смешивание. Частицы компонентов, имеющих разные размеры, разную плотность и т.д., смешиваются дольше при прочих равных условиях. Дольше происходит смешивание, если какие-либо компоненты находятся в смеси в малых количествах [5].

Различают три механизма смешивания:

- ♦ диффузионное (данный тип смешивания характерен для смесителей барабанного и вибрационного типа);
- ♦ конвекционное (этот тип смешивания происходит в горизонтальных лопастных и вертикальных шнековых смесителях);
- ♦ смешивание сдвигом (характерно для противоточных ленточных смесителей, имеющих внешнюю и внутреннюю спирали и перемешивающих материал в противоположных направлениях).

Характер течения процесса и его результаты зависят от типа смесителя и рабочих органов, технологического режима обработки, состава компонентов [1, 4].

Исходные компоненты отличаются чаще всего по физико-механическим свойствам, находятся в различных соотношениях. Твердые части, составляющие смесь, могут отличаться по геометрическим размерам, форме, твердости, плотности, состоянию поверхности, влажности. Процесс смешивания многокомпонентных сыпучих смесей — это вероятностный процесс, к исследованию которого могут быть применены статистические методы и теория вероятностей.

В реальных смесителях в процессе смесеобразования одновременно участвуют все три механизма смешивания в большей или меньшей степени.

По характеру работы смесители бывают двух типов: непрерывного и периодического действия, а по расположению основных рабочих органов — горизонтальные и вертикальные.

В непрерывно действующих смесителях поступление компонентов на смешение и выдача готовой продукции осуществляется непрерывно. В отдельных случаях подача компонентов в смеситель может происходить дискретно [1].

Качество приготовленной в таких смесителях композиции из сыпучих материалов зависит не только от внутренних процессов смешения, но и от характера питания (дозирования). Любой из ныне существующих питателей (дозаторов) не может обеспечить непрерывное поступление сыпучего материала в строго заданных количествах в каждый момент времени. Следовательно, уже в момент поступления компонентов в смеситель будут всегда наблюдаться те или иные отклонения

в их соотношении от нормы, заданной регламентом на готовую смесь. Для получения заданного соотношения компонентов в готовой смеси непрерывно действующий смеситель помимо качественного смешения компонентов должен обеспечить сглаживание флуктуации питающих потоков.

С точки зрения процесса смешения компонентов непрерывно действующие смесители можно условно разделить на следующие группы:

- ♦ смесители, в которых материал перемещается вдоль оси без какого-либо продольного перемешивания частиц;
- ♦ смесители, в которых материал перемещается вдоль оси при наличии некоторого продольного перемешивания частиц;
- ♦ смесители, в которых поступившие компоненты перемещаются хаотично по всему внутреннему их объему.

Смесители первой группы практически безынерционные: любые нарушения в дозировании смешиваемых компонентов в них не исправляются. Поэтому они должны комплектоваться питателями с идеальной точностью дозирования компонентов смеси. Их конструкция должна обеспечить беспрепятственное перемещение материала и хорошее поперечное смешение компонентов смеси. Наиболее просто это можно выполнить, если материал заставить свободно падать через полость, в которой вращаются радиальные мешалки.

Несмотря на конструктивную простоту и малые габаритные размеры смесителей первой группы, стоимость смесительных установок, в состав которых они входят, весьма высокая. Это объясняется высокой стоимостью систем автоматического регулирования питателями большой точности. В настоящее время питателей сыпучих материалов с идеальной точностью дозирования не существует, поэтому качество смеси, выдаваемой смесителем первой группы, низкое.

В смесителе второй группы тоже наблюдается поршневой режим движения материала вдоль оси их корпуса. Однако в отличие от смесителей первой группы у них происходит при этом и некоторое постепенное продольное перемещение частиц относительно друг друга. Вследствие наличия продольного перемешивания частиц смесители второй группы обладают инерционностью и в них могут быть сглажены флуктуации входных потоков.

Смесители третьей группы ближе других примыкают к аппаратам идеального смешения: поступившие в них компоненты сравнительно быстро перемешиваются с ранее находившимся там материалом. Они обладают большой инерционностью, поэтому мало чувствительны к плохому дозированию. Корпус смесителей третьей группы может быть разделен на отдельные секции, через которые последовательно перемещается смешиваемый материал [1].

Качество смеси на выходе из смесителя третьей группы будет определяться, во-первых, процессом разнота вводимых в него компонентов по всему перемешиваемому объему, а во-вторых, распределением времени пребывания отдельных частиц в этом объеме. Первый процесс определяет наличие дисперсии концентрации ключевого компонента D_1 в выходящем из смесителя потоке материала, второй — дисперсию времен пребывания частиц ключевого компонента в смесителе D_2 , вызванную колебаниями концентрации ключевого компонента в питающем потоке. Суммарная дисперсия, определяющая качество готовой смеси, $D_c = D_1 + D_2$, откуда величина коэффициента неоднородности готовой смеси (формула 1):

$$V_c = \frac{\sqrt{D_c}}{c_0} 100\%. \quad (1)$$

Величина D_1 зависит от запаса материала в смесителе, времени пребывания материала в смесителе и скорости вращения перемешивающего органа. Ее можно определить по кривым зависимости $V_c = f(t)$, экспериментально снятым при условии, что рассматриваемый смеситель работал как смеситель периодического действия (с остановленными питателями). При этом продолжительность смешения в таком периодически действующем смесителе должна быть равна среднему времени пребывания частиц в непрерывно действующем смесителе.

Непрерывно действующие смесители можно классифицировать по следующим признакам:

- ♦ по конструктивному признаку (горизонтальные, вертикальные, с вращающимся валом, с вращающимся корпусом, односекционные, многосекционные и т.п.);
- ♦ по характеру процесса смешения частиц (смесители с поршневым движением материала без продольного перемешивания частиц, с поршневым движением материала и частичным продольным перемешиванием частиц, с разносом введенного материала по всему внутреннему объему);
- ♦ по способу воздействия на смесь (гравитационные, центробежные проточные, барабанные, вибрационные, червячно-лопастные, лопастные центробежного действия).

Первый признак почти никак не характеризует сущность протекающих в смесителях процессов, поэтому для классификации его лучше не использовать. Классификация по второму признаку весьма удобна, когда речь идет о методах расчета непрерывно действующих признаков. Третий признак удобен для классификации смесителей, когда рассматриваются их принцип действия и конструктивные схемы [1].

Для оценки эффективности смешивания пользуются величиной относительной неоднородности смеси V , определяемой по формуле 2:

$$V = \frac{100}{B_0} \sqrt{\frac{\sum (B_i - B_0)^2}{n-1}}, \quad (2)$$

где V — величина относительной неоднородности или коэффициент вариации; B_0 — заданное значение компонента в смеси, кг; B_i — фактическое содержание компонента в смеси, кг; n — число отобранных образцов для определения фактического содержания заданного компонента.

Чем меньше величина V , тем эффективнее смешивание. При идеальном перемешивании $V = 0$.

Эффективность смешивания можно также определить по показателю степени однородности, определяемой по формуле 3:

$$\theta = \frac{1}{n} \sum i, \quad (3)$$

где $i = \frac{B_i}{B_0}$, если $B_i < B_0$ или $B_i = B_0$;

$$i = \frac{2B_0 - B_i}{B_0}, \text{ если } B_i > B_0,$$

где n — число проб; B_i — количество компонента по определению; B_0 — заданное (введенное) количество компонента.

Чем ближе величина θ (степень однородности) к 1, тем равномернее распределены продукты в смеси.

Можно принять, что если степень однородности смеси будет больше 0,9 или величина относительной неоднородности меньше 10, то эффективность хорошая. Если же степень однородности от 0,9 до 0,8 или неоднородность от 10 до 20 — эффективность удовлетворительная. При степени однородности ниже 0,8 или неоднородности выше 20 — эффективность смешивания считается неудовлетворительной [4].

На рис. 1 представлена схема экспериментального образца смесителя. Данный смеситель будет использоваться для смешивания и доведения до однородного состояния нескольких различных видов крахмалов.

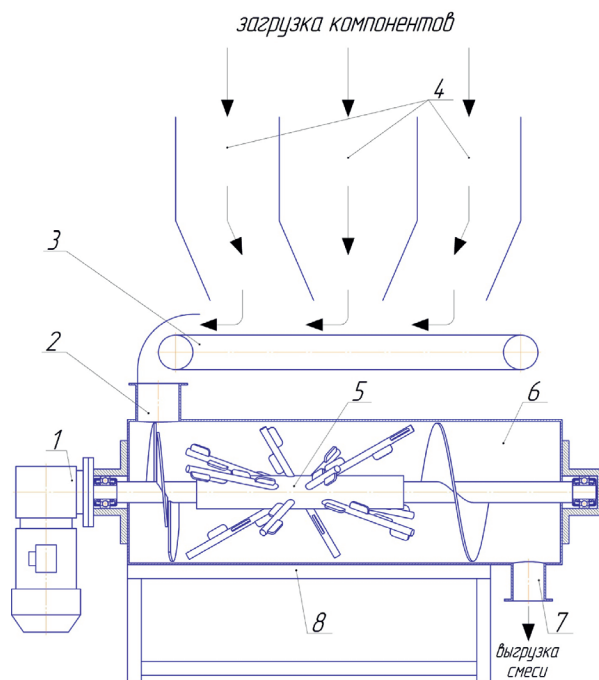


Рис. 1. Смеситель: 1 — привод; 2 — загрузочное окно; 3 — транспортер; 4 — емкость для исходных компонентов; 5 — рабочий орган смесителя; 6 — корпус; 7 — выгрузочное окно; 8 — рама

Смеситель состоит из корпуса 6, установленного на раме 8, рабочего органа с лопатками 5, трех емкостей для исходных компонентов 4 и выгрузочного окна 7. Из емкостей 4 различные виды крахмалов поступают в загрузочное окно 2, где происходит перемешивание, а через выгрузочное окно 7 выходит однородная по составу

крахмальная смесь. Рабочий орган 5 описываемого смесителя состоит из двух частей. Первая часть рабочего органа содержит цельный вал, на котором закреплены два шнека, один шнек служит для подачи смешиваемого материала и одновременного смешивания, а второй — служит для подачи готовой смеси к выгрузочному окну. Вторая часть рабочего органа смесителя содержит вал, на которой закреплены стойки с лопатками, причем стойки расположены в плоскости эллипса, что дает рабочему органу преимущество при смешивании подаваемого материала. Емкости 4 имеют дозаторы, для точного дозирования расходного материала.

Принцип действия данного смесителя непрерывный. Из емкостей для исходных компонентов 4 сыпучий продукт транспортером 3 поступает к загрузочному окну 2, а затем к шнеку и подается к рабочему органу смесителя 5. Рабочий орган смесителя смешивает крахмальное сырье до максимальной однородности. По мере смешивания компонентов, готовая смесь подается шнеком в выгрузочное окно 7 и поступает на дальнейшее производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. — Москва : Машиностроение, 1973. — 216 с.
2. Шубин, И.Н. Технологические машины и оборудование. Сыпучие материалы и их свойства : учеб. пособие / И.Н. Шубин, М.М. Свиридов, В.П. Таров. — Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 2005. — 76 с.
3. Борщев, В.Я. Оборудование для переработки сыпучих материалов : учеб. пособие / В.Я. Борщев, Ю.И. Гусев, М.А. Промтов, А.С. Тимонин. — Москва : Машиностроение — 1, 2006. — 208 с.
4. Чеботарев, О.Н. Технология муки, крупы и комбикормов / О.Н. Чеботарев, А.Ю. Шаззо, Я.Ф. Мартыненко. — Москва : ИКЦ «МарТ», Ростов-н/Д : Издательский центр «МарТ», 2004. — 688 с.
5. Бутковский, В.А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства (с основами экологии) / В.А. Бутковский, Е.М. Мельников. — М. : Агропромиздат, 1989. — 464 с.