

# ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА БАРАБАННОГО СМЕСИТЕЛЯ С РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ТИПА “СТЕРЖНИ-КАТКИ”

В.А.Марков, М.В.Пешков

Барабанные смесители являются одними из наиболее энергоэкономичных и эффективных смешивающих машин, применяемых в смесеприготовительных системах.

В традиционных чашечных смесителях рабочие органы перемещают объем смеси в горизонтальной плоскости. При этом рабочие органы преодолевают силу веса смеси, т.е. сила веса смеси, действующая в вертикальной плоскости для чашечных смесителей, является пассивной или балластной силой. В этой связи целесообразно силу веса смеси сделать активной в процессе перемешивания. Это нашло отражение в разнообразных конструкциях барабанных смесителей, где процесс перемешивания одновременно реализуется в вертикальной и горизонтальной плоскостях, по всему объему рабочего пространства. Причем наибольшее значение имеет процесс перемешивания в вертикальной плоскости, когда при вращении корпуса смесителя объем смеси поднимается до определенного уровня (определяемого углом естественного откоса  $\beta_e$  (см. рис.1)) и скатывается под действием силы веса, т.е. сила веса становится активным участником процесса перемешивания, что существенно снижает энергозатраты. Из рис.1,а видно, что применение смесителей барабанного типа обеспечивает наибольшую эффективность процесса перемешивания за счет максимального обеспечения фрикционного движения элементарных объемов смеси, при которых протекают процессы дезагрегации и механоактивации зерновой основы смеси в результате деформаций сдвига и пластическом течении в циклическом режиме «нагрузка – отдых». При этом обеспечивается наибольшее количество одновременно единичных актов в объеме замеса, что является показателем эффективности процесса смесеприготовления.

В настоящее время существует большое количество разнообразных смесителей, отличающихся в первую очередь строением внутренних рабочих органов.

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ №4 2003

Основной задачей в исследовании барабанных смесителей является изучение воздействия рабочих органов на компоненты смеси в процессе смесеприготовления, а так же установление оптимального режима работы смесителя, т.е. определение скорости вращения корпуса по заданным конструктивным и режимным параметрам смесителя. Рассмотрим взаимодействие элементарных объемов смеси с корпусом барабанного смесителя без рабочих органов. Взаимодействие элементарных объемов

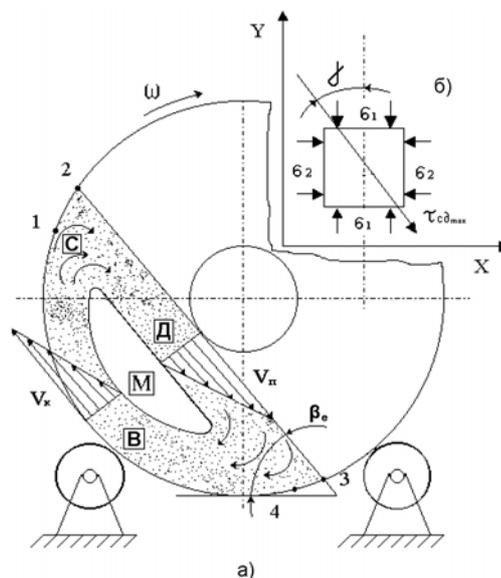


Рисунок 1 – Схема движения организованного потока смеси в барабанном смесителе (в поперечном сечении).

смеси с вращающимся корпусом происходит по следующей схеме (рис.1,а).

Элементарные объемы, образуя слои, увлекаются в движение поверхностью корпуса за счет силы трения. Вышележащие элементарные объемы в свою очередь будут увлекать следующий слой элементарных объемов и т.д.

При таком механизме движения слоев даже по толщине минимального условного слоя будет иметь место градиент скорости ( $V_k$ ), тем более между смежными слоями. Движение в каждом слое происходит со

скольжением, в результате чего скорость в каждом из последующих слоев уменьшается и в конце концов доходит до нуля. В движущихся слоях смеси наряду с наличием градиента скорости формируются деформации сдвига, обеспечивающие механическую активацию и дезагрегацию компонентов. Обозначим эту часть смеси, которая имеет близкий по характеру закон движения слоев как зону "В" (рисунок.1,а). Движение элементарных объемов в этой зоне обуславливается силой трения, возникающей между элементарным объемом и поверхностью корпуса барабана, а также силой внутреннего трения между смежными элементарными объемами и слоями с элементарными объемами, т.е. наиболее оптимально обеспечивается фрикционное движение организованного потока смеси, что особенно важно для реализации концепции интенсификации процесса перемешивания. Каждый элементарный объем произвольного слоя находится под действием результирующей силы, складывающейся из действия центробежной силы; силы веса самого элементарного объема; силы веса вышележащих элементарных объемов; нормальных реакций со стороны смежных элементарных объемов одного слоя в точках или поверхностях их касания и сил трения между слоями, т.е. в каждом элементарном объеме формируется предельно – напряженное состояние, характеризующееся нормальными и касательными напряжениями (рисунок.1,б).

Наступает такой момент в движении слоя, когда элементарный объем достигает верхнего положения и выходит из слоя (точка 1). В этом положении на него действуют следующие элементарные объемы, и вектор результирующей силы элементарных объемов направлен внутрь корпуса. Эта сила будет перемещать элементарный объем от поверхности к центру корпуса барабана. Таким же образом происходит движение элементарных объемов второго, третьего и последующих слоев, в которых как скорость, так и воздействие элементарных объемов уменьшаются.

Все элементарные объемы, достигшие верхнего положения (точка 2) образуют зону "С", в которой нет четко выраженных слоев с направлением движения элементарных объемов. В этой зоне по мере скопления элементарных объемов преобладает движение их под действием силы тяжести и в соответствии с их физико-механическими свойствами, происходит разрушение элементарного объема и

осыпание смеси под некоторым углом, определяемым углом естественного откоса материала ( $\beta_e$ ).

После начального разрушения в зоне "С" элементарные объемы продолжают движение и разрушаются по склону осыпью вниз (зона "Д"). В зоне "Д" также можно выделить слои смеси, между которыми имеет место градиент скоростей ( $V_n$ ), но он имеет противоположный знак по отношению к градиенту скоростей в зоне "В", т.е. в зоне "Д" скорость слоев увеличивается от некоторого слоя с нулевой до верхнего слоя с наибольшей скоростью.

В верхних слоях осуществляется конвективное перемешивание с деформациями сдвига. Согласно известным законам механики грунтов и строительной механики обрушение или свободное перемещение сыпучих или связносыпучих материалов происходит по поверхностям совпадающим с направлением наибольших касательных напряжений, определяемых углом внутреннего трения, часто совпадающим с углом естественного откоса ( $\beta_e$ ). Особенностью этого движения является то, что на этих поверхностях наблюдается минимальное сопротивление движущемуся материалу. Таким образом, в зоне "Д" автоматически формируется условие совмещения вектора скорости движения организованного потока смеси с вектором наибольших касательных напряжений, обеспечивающих минимизацию энергозатрат на перемешивание, что является главным условием концепции интенсификации процесса смесеприготовления в тихоходных смесителях.

Зона "Д" характеризуется также тем, что движение слоев смеси в ней происходит под действием силы собственного веса частиц и элементарных объемов, т.е. сила веса частиц смеси является активной силой, усиливающей процесс перемешивания.

Достигнув нижней части корпуса барабана разрыхленные частицы смеси вновь затягиваются в один из концентрических слоев зоны "В", формируют новые элементарные объемы, и цикл повторяется. Однако между зонами "В" и "Д" образуется объем смеси, который не участвует в движении. Это так называемая "мертвая" зона или "болото" (зона "М"), где движение смеси достигает минимальной величины или может быть равно нулю, т.е. в зоне "М" процесс смесеприготовления замедляется или отсутствует.

## ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА БАРАБАННОГО СМЕСИТЕЛЯ С РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ТИПА "СТЕРЖНИ-КАТКИ"

С целью устранения "мертвой зоны" в рабочем пространстве смесителя на основе математического моделирования и аналитически фиксированные стержни-катки, смещенные катки, "катки-плужки", "катки-плужки" с кинематической связью и единой осью крепления и др.

Для экспериментального исследования был выбран барабанный смеситель с рабочими органами типа "стержни-катки" (рис.2). Основным варьируемым параметром была скорость вращения корпуса. Исследования проводились на лабораторном и опытно – промышленном барабанных смесителях с рабочими органами типа "стержни-катки", разработанных на кафедре АлтГТУ. По конструкции рабочие органы типа "стержни-катки" являются наиболее простыми, но одновременно они являются наиболее сложными с позиции обеспечения стабильного режима движения в рабочем пространстве смесителя, т. к. они не имеют связи с корпусом и перемещаются под действием сил и закономерностей, рассмотренных выше.

.Оценка характера движения рабочих

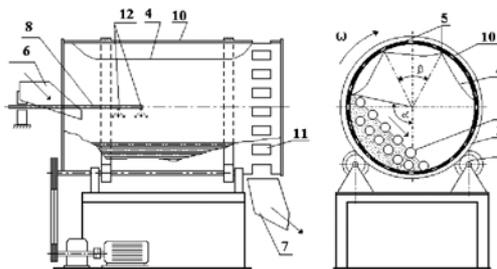


Рисунок 2 – Схема барабанного смесителя с независимыми рабочими органами типа "стержни-катки": 1- привод смесителя, 2- корпус. 3- катки опорные. 4- эластичный материал, 5- крепление эластичного материала к корпусу, 6- загрузочный лоток, 7- разгрузочный лоток. 8- трубоводы для подачи жидких компонентов. 9- стержни-катки, 10- вентиляционные отверстия, 11- разгрузочные отверстия. 12- распылители жидких компонентов.

органов типа "стержни-катки" проводилась визуально и фиксировалась с помощью фотосъемки. Фотосъемка проводилась при снятой задней крышке смесителя.

По результатам эксперимента была установлена область оптимальных скоростей вращения корпуса смесителя. Сопоставительный анализ результатов экспериментальных исследований режимных параметров рабочего процесса барабанного смесителя, выполненных на лабораторном смесителе и опытно–промышленном образце смесителя, позволил установить, что для лабораторного смесителя с диаметром корпуса  $D_{вн}=360$ мм область оптимальных

расчетов предложено несколько вариантов рабочих органов: нефиксированные

"стержни-катки", скоростей соответствует **38÷40 об/мин**. Для опытно–промышленного смесителя с диаметром корпуса  $D_{вн}=590$  мм область оптимальных скоростей вращения корпуса соответствует **30÷32 об/мин**.

Путем математического описания движения организованного потока смеси в рабочем пространстве смесителя была установлена аналитическая зависимость оптимальной скорости вращения барабана ( $\omega$ ) от внутреннего диаметра корпуса ( $D_{вн}$ ).

Экспериментальные исследования на лабораторном и опытно – промышленном смесителях позволили установить оптимальные скорости вращения корпуса, подобие которых характеризуется в критериальной форме числом Фруда ( $Fr_{оп}$ ).

$$n_{оп} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2g \cdot Fr_{оп}}{D_{вн}}} \quad (1)$$

,где  $n_{оп}$  – оптимальная скорость вращения корпуса смесителя, об/мин ;  $D_{вн}$  – внутренний радиус корпуса смесителя, м;  $Fr_{оп}$  – оптимальное число Фруда;  $g$  – ускорение свободного падения.

Выразив из уравнения (1) число Фруда ( $Fr$ ), и подставив в них значения скорости вращения корпуса смесителя, полученные экспериментальным путем, получили значения числа Фруда соответствующие оптимальному режиму работы смесителя. Для опытно–промышленного смесителя с диаметром корпуса  $D_{вн} = 590$  мм и областью оптимальных скоростей вращения корпуса **30÷32 об/мин** значения числа Фруда находятся  $Fr = 0.298 \div 0.337$ . Для лабораторного смесителя с диаметром корпуса  $D_{вн} = 360$ мм и областью оптимальных скоростей  $n = 38 \div 40$  об/мин значения числа Фруда находятся в пределах  $Fr = 0.289 \div 0.321$ .

Результаты лабораторных исследований были полностью подтверждены при создании производственного смесителя с диаметром корпуса  $D_{вн}=1650$  мм. Область оптимальных скоростей составила **n=38÷40 об/мин**, а значения числа Фруда в пределах **Fr=0.298÷0.312**

Таким образом, можно считать, что для барабанных смесителей с рабочими органами типа "стержни - катки" устойчивый режим работы будет обеспечен при достижении значений числа Фруда в пределах **Fr=0,28÷0,32**