

## СТРУКТУРА ПОТОКА ТВЕРДОЙ ФАЗЫ В БАРАБАННОМ НАСАДОЧНОМ АППАРАТЕ

**В.Я. Борщев, М.В. Фесова**

*ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор С.Н. Сазонов*

**Ключевые слова и фразы:** барабанный насадочный аппарат; структура потока; сыпучий материал.

**Аннотация:** Проведены исследования структуры потока во вращающемся барабанном насадочном аппарате в зависимости от геометрических размеров барабана и угла его наклона. Установлена существенная зависимость структуры потока от геометрических размеров барабана и угла его наклона.

Взаимосвязанные процессы тепломассообмена и гранулообразования в барабанном грануляторе-сушилке во многом определяются гидромеханикой движения потоков в аппарате. Динамика движения материальных потоков, в первую очередь твердой фазы, в барабане происходит как в продольном, так и в поперечном направлениях и характеризуется значительной сложностью. Важное значение при этом имеет движение материала в продольном направлении.

Исследования структуры потока твердой фазы по длине барабана имеют большую практическую ценность, поскольку их результаты дают важную информацию о поведении материала внутри аппарата. Знание времени пребывания частиц в различных участках барабана позволяет определить скорость их перемещения и продольное перемешивание. Применительно к процессу гранулирования в барабанном грануляторе-сушилке изучение гидромеханики потока твердой фазы по длине барабана необходимо для составления адекватной математической модели процесса, которая должна учитывать различное время пребывания частиц в аппарате.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование структуры потока твердой фазы в барабанном насадочном аппарате.

Экспериментальные исследования проводили на лабораторных насадочных аппаратах с барабанами диаметром 0,3 и 0,5 м и длиной 1,25 и 2,0 м соответственно. Экспериментальная установка состояла из вращающегося барабана с подъемно-лопастной насадкой, загрузочного бункера,

---

Борщев В.Я. – доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и аппараты химических производств», e-mail: borschov@yandex.ru; Фесова М.В. – магистрант кафедры «Машины и аппараты химических производств», ТамбГТУ, г. Тамбов.

тарельчатого питателя и вентилятора. Со стороны загрузочного торца барабан связан трубопроводом с дозирующим устройством (тарельчатый питатель), а с другой – с приемной емкостью для материала. Барабан приводился во вращение от электродвигателя постоянного тока через редуктор. Экспериментальная установка смонтирована на раме с возможностью изменения угла наклона барабана к горизонту. С целью исследования структуры потока внутри барабана движения частиц в течение времени их пребывания изучали в нескольких точках по длине аппарата.

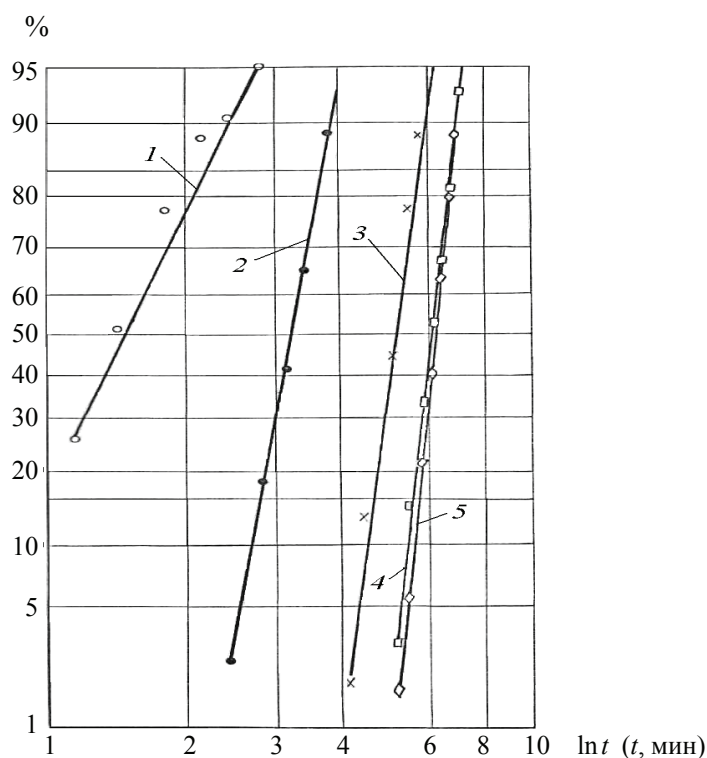
Для исследования движения частиц в течение времени их пребывания в четырех точках, расположенных на одной образующей цилиндрической поверхности барабана, были проделаны отверстия, которые закрывали ползунком. Размеры отверстий были выбраны такими, чтобы за небольшой промежуток времени отобрать минимально необходимые, по требованиям математической статистики [1], пробы, гарантирующие получение достоверных результатов.

Методика эксперимента заключалась в следующем. В загрузочный бункер засыпался модельный материал, затем включались электродвигатели привода барабана и дозирующего устройства. После выхода установки на стационарный режим на вход барабана в виде импульсного сигнала подавали меченые частицы. В качестве индикатора использовали окрашенные тушью частицы модельного материала. Затем в процессе вращения барабана через определенные промежутки времени отбирали пробы во всех измерительных точках одновременно. Это достигалось тем, что ползунком, закрывающий отверстия для отбора проб, имел возможность совершать возвратно-поступательное движение. При приближении отверстий к крайнему нижнему положению путем смещения ползунка их открывали и после отбора проб через определенный промежуток времени закрывали. Пробы отбирали с момента ввода меченых частиц в барабан до их полного выхода из него. Одновременно с отбором проб по длине, пробы отбирали и на выходе из барабана. Меченые частицы выбирали из проб, взвешивали на аналитических весах, а затем определяли концентрацию их в пробах.

Полученные экспериментальные данные исследования гидродинамики потока твердой фазы по длине барабана обрабатывали по методике, соответствующей описанию потока в аппарате в виде диффузионной модели [2, 3].

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований структуры потока твердой фазы по длине барабанов размерами  $1,25 \times 0,3$  м и  $2,0 \times 0,5$  м в зависимости от угла наклона барабана, который, как было показано в работе [4], наиболее существенно влияет на распределение частиц по времени пребывания в аппарате.

По результатам проведенных исследований были получены кривые распределения частиц материала для отдельных участков и всей длины барабана. Экспериментальные кривые распределения времени пребывания частиц индикатора по длине аппарата были представлены в вероятностно-логарифмической сетке (рис. 1). Как видно из графиков, опытные точки в системе координат «вероятность – логарифм» времени пребывания достаточно хорошо расположились на прямых линиях, что свидетельствует

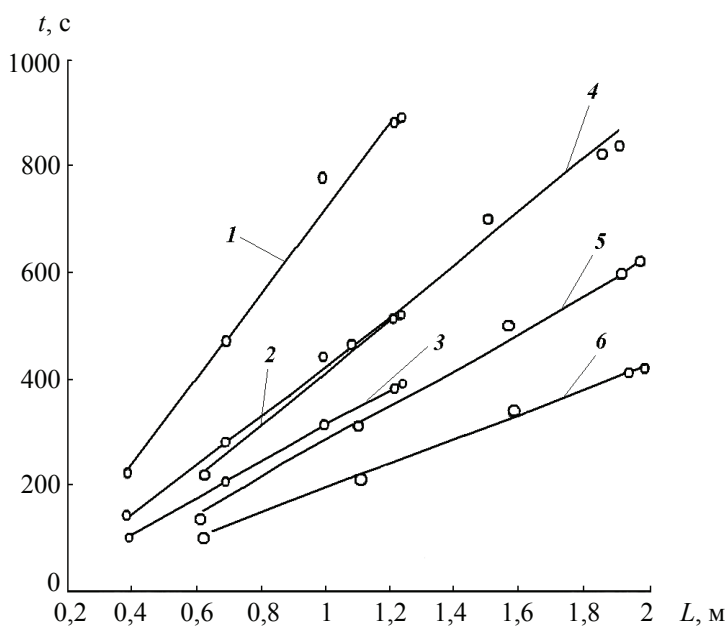


**Рис. 1. Кривые распределения частиц материала по времени пребывания для различных участков барабана  $1,25 \times 0,3$  м:**

$1 - l_1 = 0,385$  м;  $2 - l_2 = 0,69$  м;  $3 - l_3 = 0,995$  м;  $4 - l_4 = 1,22$  м;  $5 - l_5 = 1,25$  м

о соответствии опытного распределения нормально-логарифмическому закону [1]. Для приведенных экспериментальных кривых по известным формулам [5] был рассчитан начальный момент первого порядка, характеризующий кривую распределения и соответствующий в нашем случае среднему времени пребывания частиц в барабане  $t$ . Приведенные на рис. 2 зависимости среднего времени пребывания от длины аппарата показывают линейный характер возрастания времени пребывания частиц по длине барабана, то есть никакой аномалии при движении материала по барабану не наблюдается.

Как следует из рис. 2, с увеличением угла наклона среднее время пребывания частиц по участкам и по всей длине барабана уменьшается, что является следствием увеличения средней скорости прохождения материала по барабану. Сопоставляя зависимости изменения среднего времени пребывания по длине для барабанов разных размеров –  $1,25 \times 0,3$  м и  $2,0 \times 0,5$  м (см. рис. 2), можно отметить, что на участках барабанов, длина которых находится в соответствии с геометрическим подобием двух систем, время пребывания частиц материала примерно одинаково. Это объясняется тем, что движение материала в осевом направлении в барабанных аппаратах в основном происходит за счет сноса потоком теплоносителя во время его падения с лопаток, а также при движении в скатывающемся слое засыпки. Вследствие этого, при прочих равных условиях (геометрическом



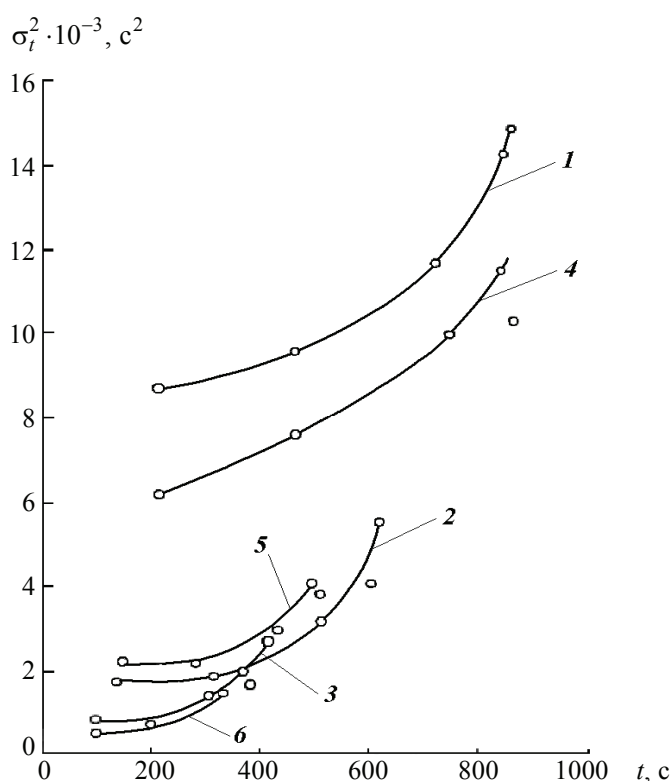
**Рис. 2.** Изменение среднего времени пребывания частиц материала по длине барабанов 1,25×0,3 м (1–3) и 2,0×0,5 м (4–6), расположенных под различными углами наклона: 1, 4 – 1°; 2, 5 – 2°; 3, 6 – 3°

подобии барабанов; одинаковой скорости теплоносителя; равных коэффициентах заполнения, для обеспечения равенства которых расход твердой фазы в барабанах был различным) материал в барабане с большим диаметром за один цикл падения в свободном пространстве и движения в скатывающемся слое пройдет большее расстояние в осевом направлении.

Известно, что чем меньше дисперсия случайной величины (времени пребывания материала в аппарате), тем ближе структура потока твердой фазы в барабане к режиму идеального вытеснения.

На рис. 3 приведены зависимости дисперсии частиц (применительно к движению материала в барабане она характеризует рассеяние материала в осевом направлении) от среднего времени пребывания материала в барабане. Анализ полученных зависимостей показывает, что структура потока твердой фазы по длине барабана изменяется. С удалением от входного отверстия, то есть с увеличением времени пребывания частиц, степень рассеяния материала в осевом направлении увеличивается. Увеличение степени рассеяния материала по мере продвижения его вдоль барабана, очевидно, является следствием увеличения неравномерности профиля скоростей потока частиц разных размеров по сечению аппарата, а также соответствующим увеличением времени перемешивания, в результате чего увеличивается перемешивание твердой фазы в продольном (обратном) направлении.

Установлено, что с увеличением угла наклона барабана рассеяние материала по длине аппарата существенно уменьшается. По-видимому, это является следствием того, что с увеличением угла наклона, как следует из графиков (см. рис. 2), увеличивается средняя скорость сыпучего материала в барабане и соответственно уменьшается время его перемешивания.



**Рис. 3.** Зависимость дисперсии частиц материала от среднего времени пребывания в барабанах  $2,0 \times 0,5$  м (1–3) и  $1,25 \times 0,3$  м (4–6), расположенных под различными углами наклона:  
1, 4 –  $1^\circ$ ; 2, 5 –  $2^\circ$ ; 3, 6 –  $3^\circ$

Увеличение размеров барабана (кривые 1–3 на рис. 3) влечет за собой увеличение дисперсии времени прерывания материала. Причиной этого является, как отмечают авторы работы [6], усиление неравномерности взаимодействующих потоков с увеличением размеров аппарата.

#### Список литературы

1. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Исследование зависимостей / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статистика, 1985. – 487 с.
2. Кафаров, В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров. – М. : Химия, 1976. – 464 с.
3. Левеншпиль, О. Инженерное оформление химических процессов / О. Левеншпиль. – М. : Химия, 1969. – 624 с.
4. Рудобашта, С.П. Исследование времени пребывания твердой фазы в барабанных сушилках / С.П. Рудобашта, В.Я. Борщев // Совершенствование теории, технологии и техники сушки : тез. докл. Всесоюз. конф. – Чернигов, 1981. – С. 124–125.

5. Волковец, А.И. Теория вероятностей и математическая статистика : конспект лекций / А.И. Волковец, А.Б. Гуринович ; Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2003. – 82 с.

6. Гельперин, Н.И. Структура потоков и эффективность колонных аппаратов химической промышленности / Н.И. Гельперин, В.Л. Пибалк, А.Е. Костянян. – М. : Химия, 1977. – 264 с.

---

## **Structure of Solid Phase Flow in Drum-Type Nozzle Apparatus**

**V. Ya. Borshchev, M. V. Fesova**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** drum-type nozzle apparatus; flow structure; granular material.

**Abstract:** The paper presents the results of the research into the flow structure in the rotating drum-type nozzle apparatus depending on the geometrical size of the drum and its slope angle. The significant dependence of the flow structure on the geometrical sizes of the drum and its slope angles is found out.

---

© В.Я. Борщев, М.В. Фесова, 2010