

Г. Н. Липатов¹, П. И. Миргород², Н. Х. Копыт²

¹*Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова,
кафедра теплофизики,*
²*ПНИЛ ФАС*

**Экспериментальное исследование осаждения
разбавленного аэрозоля NaCl в поле диффузии
пересыщенного водяного пара.
Предварительные результаты**

Проведено экспериментальное исследование движения высокодисперсного аэрозоля хлористого натрия в термодиффузионной камере (ТДК). Показано, что при заданном тепловом режиме ТДК можно подобрать соответствующий расход воздушного потока (названный “критическим”), при котором достигается полное осаждение аэрозольных частиц. Проведено обсуждение полученных предварительных данных.

В настоящее время ведутся разработки таких типов аэрозольных фильтров, которые бы могли длительное время работать без процесса регенерации, с одной стороны, а с другой — улавливать с одинаковой эффективностью частицы в широком диапазоне размеров. Известные широко распространённые высокоэффективные фильтры, изготовленные с использованием волокнистых материалов либо мембран, не отвечают этим требованиям, столь важным в ряде производств. Общим для них является то, что они имеют ограниченное время действия, фильтрующий материал после загрязнения не подлежит восстановлению. Кроме того, для них практически невозможно получить полного осаждения частиц. Поэтому проводятся исследования, направленные на поиск новых физических принципов, которые могут лечь в основу создания новых типов аэрозольных фильтров, лишённых тех недостатков, о которых было сказано выше.

Одним из направлений в создании такого рода фильтров является использование сил термо — и диффузиофореза (направленного движения аэрозольных частиц в неоднородных полях температуры и концентрации пара). Для практической реализации применения эффектов удобно использовать термодиффузионные камеры. Однако при создании фильтров, основанных на приведенных выше эффектах, в процессе работы возникает побочный эффект — положительное пересыщение, которое приводит к конденсации пара на аэрозольных частицах и, как следствие, обеднению парогазового потока от активного компонента (пара), то есть к снижению скорости филь-

трации за счёт уменьшения градиентов температуры и концентрации пара [1]. С другой стороны, предложены модели фильтров, в которых происходит конденсация пара на частицах с последующим их осаждением под действием силы тяжести. В такого рода фильтрах необходимо создавать поле пересыщения, величина которого и будет определять скорость конденсационного роста капель.

Анализ экспериментальных [1,2] и теоретических работ [3] по исследованию движения аэрозольных частиц в термодиффузионных камерах (ТДК) позволяет сделать вывод о возможности полного осаждения частиц в такого рода устройствах. Суть предлагаемого метода осаждения заключается в создании таких условий в ТДК, при которых конденсационный рост частиц в поле диффузии пересыщенного водяного пара является определяющим фактором в скорости их осаждения. Интерес представляет ситуация, когда концентрация аэрозольных частиц незначительна (до 10^5 см^{-3}). В этом случае влиянием течения Стефана, термо — и диффузиофореза на скорость осаждения капель, как показывают оценки [1], можно пренебречь.

Исследование проводилось на экспериментальном стенде (схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.), основой которого являлась плоская термодиффузионная камера 7, представляющая собой канал, состоящий из двух плоскопараллельных пластин (верхняя — нагреватель 7а, нижняя — холодильник 7б). Длина канала составляла 0.5 м, ширина — 0.1 м, расстояние между нагревателем и холодильником составляло 0.01 м. Поверхность нагревателя и холодильника непрерывно смачивались водой и поддерживались при постоянных температурах с помощью водяных термостатов с точностью 0.1°C . Во избежание возникновения естественной конвекции ТДК устанавливалась в горизонтальном положении с точностью до 0.1° . Испарение происходило с поверхности пластины нагревателя, которая непрерывно увлажнялась системой подпитки 8.

Экспериментальная установка включала также:

- 1) компрессор 1 и ресивер 2 (рис.1), которые обеспечивали создание стационарного воздушного потока;
- 2) очистку воздуха от аэрозольных частиц в блоке предварительной очистки 3, созданного на базе волокнистого материала марки ФП-15;
- 3) систему кранов 4, позволяющих регулировать воздушные потоки в различных частях установки, расходы которых измерялись реометрами 6;
- 4) генератор аэрозоля NaCl 5 смесительного типа [4], [5];
- 5) камеру 9 с прозрачными боковыми стенками, позволяющими наблюдать за выходящими каплями;
- 6) длиннофокусный микроскоп 11;
- 7) гелий-неоновый лазер 10.

Эксперимент проводился при следующих условиях:

- Воздушный поток, несущий аэрозольные частицы, ламинарный ($Re < 50$).
- Температура холодильника поддерживалась при комнатной темпера-

туре ($T_c \approx 20^\circ\text{C}$), а температура нагревателя изменялась в пределах от 32°C до 47°C .

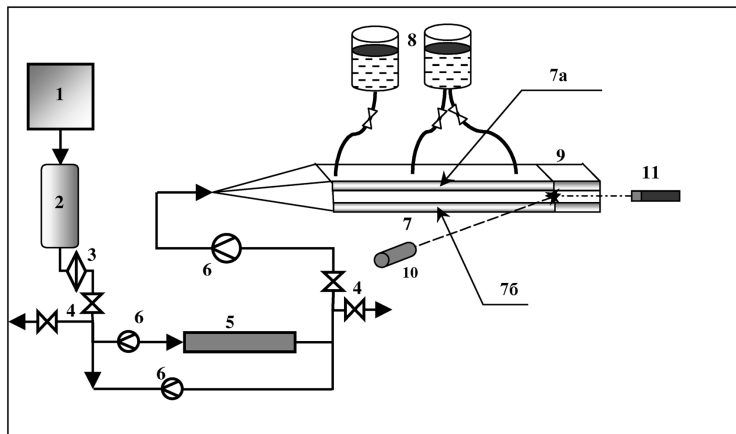


Рис. 1. Упрощённая схема экспериментальной установки.

1 — компрессор, 2 — ресивер, 3 — блок предварительной очистки воздуха от аэрозольных частиц, 4 — регулировочные краны, 5 — генератор монодисперсного аэрозоля, 6 — реометры, 7 — ТДК, 8 — система подпитки, 9 — камера для наблюдения за каплями, 10 — подсветка (лазер), 11 — система наблюдения.

Поток воздуха нагнетался компрессором типа УК — 40 в ресивер, предназначенный для стабилизации расхода газового потока путём сглаживания пульсаций давления. Затем попадал в блок предварительной очистки от аэрозольных частиц. Очищенный от аэрозольных частиц воздушный поток подавался на вход генератора аэрозоля конденсационного типа. Генератор аэрозоля конденсационного типа позволял получать частицы NaCl в диапазоне размеров $(1 \div 300) \cdot 10^{-10}$ м при объемной скорости прокачивания воздуха через него $(150 \div 250) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$. Принцип получения аэрозоля состоял в смешении разнотемпературных потоков воздуха, в результате чего в зоне смешения возникало пересыщение, приводившее к гомогенной конденсации паров NaCl и дальнейшему образованию частиц. Стандартное геометрическое отклонение β_g не хуже 1.4. Средний размер частиц на входе в ТДК при проведении эксперимента составлял $\langle d \rangle = 0.5$ мкм. Размер частиц и их концентрацию можно было изменять путём изменения температурного режима и расходов смешивающихся воздушных потоков. Из генератора воздушный поток с частицами аэрозоля NaCl поступал на вход ТДК. В канале ТДК аэрозольные частицы обводнялись и укрупнялись в результате конденсации на

них пересыщенных водяных паров, которые диффундировали от нагревателя. Выросшие на частицах капли осаждались на поверхности холодильника под действием силы тяжести.

Наблюдение за выходящими каплями осуществлялось только в центральной части выходного сечения ТДК, чтобы исключить влияние боковых стенок на результаты измерений. Система наблюдения представляла собой объектив (фокусное расстояние составляло 135 мм) и микроскоп, закреплённые в тубусе.

Методика измерений заключалась в подборе некоторого объёмного расхода Q^* (названного нами “критическим”) для заданного перепада температур между нагревателем и холодильником ТДК, при котором наблюдалось полное осаждение капель внутри канала ТДК. Преимущество такого подхода состоит в том, что необходимо контролировать только “нулевой” коэффициент проскока, избегая его непосредственного измерения.

Основными величинами, измеряемыми в ходе проведения эксперимента, являлись температуры нагревателя T_1 и холодильника T_2 , “критический” расход Q^* . Дополнительно контролировались температура и относительная влажность входящего воздушного потока. Контроль температур осуществлялся при помощи дифференциальных медь-константановых термопар с точностью до 0.1°C . Для измерения термо э.д.с. использовался цифровой вольтметр с чувствительностью 1 мкв.

При изменении расхода Q воздушного потока, проходящего через ТДК, было замечено изменение числа капель на выходе из неё. Причём с уменьшением Q уменьшалось и число выходящих капель.

Проведённые измерения показали, что путём последовательного уменьшения расхода воздушного потока (при постоянном тепловом режиме камеры) на входе в ТДК можно найти такое значение $Q=Q^*$, при котором все капли осаждаются внутри канала.

С ростом перепада температур возрастал “критический” расход прокачиваемого через ТДК аэрозольного потока (рис.2), то есть величина “критического” расхода зависит от перепада температур ΔT между нагревателем и холодильником ТДК.

Относительная ошибка измерений составляла 10 — 12 %.

Величина пересыщения играет основную роль в конденсационном росте частиц, а она определяется относительной концентрацией насыщенных паров воды. Следовательно, чем выше паросодержание, тем больше пересыщение δ и тем выше скорость конденсационного роста капли ($R^2 \sim \delta$, R — радиус капли). Большее увеличение пересыщения и скорости конденсационного роста капли позволяет очищать объёмы с растущим, расходом газа.

Ранее было показано [6], что варьированием условий на входе ТДК (относительная влажность воздушного потока, его температура) можно достичь положительных пересыщений, намного превышающих значения внутри канала, что позволит увеличить скорость конденсационного роста ка-

пель, тем самым сократить время их пребывания в канале до полного осаждения. То есть, интенсифицировать работу термодиффузионной камеры как модели одного из возможных устройств для высокоэффективной очистки газов от аэрозольных частиц. Это будет являться предметом дальнейших экспериментальных исследований.

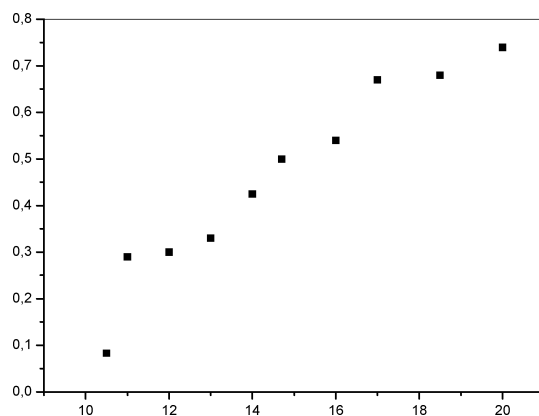


Рис. 2. Данные эксперимента. Зависимость “критического” расхода от перепада температур

Литература

1. Баканов С.П., Высоцкий В.В. О влиянии концентрации аэрозольных частиц на эффективность их осаждения в поточной термодиффузионной камере.// Коллоидный журнал. — 1991. — Т.53. — С.793–800.
2. Липатов Г.Н., Скапцов С.А. Экспериментальное исследование фильтрующей способности термодиффузионной камеры с управляющим элементом.// ИФЖ. — 1984. — Т. 47, № 1. — С. 93–100.
3. Баринаева М.Ф., Щукин Е.Р. О термодиффузионнофоретическом захвате аэрозольных частиц в разно температурном плоском канале.// ИФЖ. — 1981. — Т. 81, №1. — С. 47–54.
4. Фукс Н.А., Сутугин А.Г. Высокодисперсные аэрозоли.// Колл. ж. — 1964. — Т. 42, вып. 1. — С. 110–116.
5. Скапцов А.С. Движение частиц высокодисперсного аэрозоля в поле градиента концентрации водяного пара. // Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Одесса, 1984.
6. Шингарев Г.Л. Процессы теплопереноса и движение аэрозольных частиц в поточных термодиффузионных камерах // Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Одесса, 1989.

Г. М. Ліпатов, П. І. Миргород, М. Х. Копит

Експериментальне дослідження осадження розбавленого аерозолі NaCl в полі дифузії пересиченої водяної пари. Попередні результати

АНОТАЦІЯ

Оскільки вимоги до ступеню очищення газів від аерозольних часток невинно зростають ведуться пошуки методів та розробка фільтруючих систем, котрі задовільнювали б наступним вимогам: осадження аерозольних часток не повинно залежати від їх розмірів, повинен бути неперервним процес фільтрації, і не потрібна регенерація фільтруючого матеріалу.

Пропонується модель одного з можливих типів такого роду аерозольних фільтрів. Основа моделі фільтра — щільова термодифузійна камера. Завданням теплового режиму камери може бути досягнуте повне осадження аерозольних часток всередині її об'єму. Метод вимірювання ґрунтується на підбір'ї такого об'ємного розходу газового потоку за заданим тепловим режимом, при якому на виході із ТДК фіксується нуль крапель. Даний тип фільтру можна використовувати в якості доочищуючого приладу для повного осадження аерозольних часток.

Lipatov G. N., Mirgorod P. I., Kopyt N. H.

The experimental research of sedimentation of a dilute aerosol NaCl in the field of supersaturated water vapour. The precut result

SUMMARY

Since the requirements to the degree of filtration of gases from aerosol particles are steadily increasing, the search of methods and creation of filtration systems are conducted, which would meet the following requirements: the sedimentation of aerosol particles shouldn't depend on their sizes, should provide continuity of filtration process and mustn't require the regeneration of filter material.

One of the possible variants of aerosol filters of this sort is examined. Well-known physical processes such as: the condensational growth of aerosol particles in the diffusive field of super-saturated water vapors and their movement in laminar flow under gravity force are put into the basis of the suggested elaboration.

The basis of the filter model is the slip thermal diffusion chamber. Full sedimentation of aerosol particles is reached due to management of a thermal mode of the chamber. The method of measuring consisted in the fixation of zero sudden change of drops when thermal conduction is given and the measuring of volumetrical expenditure of the gas flow.

The given type of the filter is intended for final cleaning gases from aerosol particles.