

МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛАВЛИВАНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ В АППАРАТАХ УДАРНО-ИНЕРЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ

Исмагилов А.Т.

*Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова,
г. Шымкент, adiloil@rambler.ru*

В статье рассмотрена и проанализирована работа пылеуловителя ударно-инерционного действия. Описан принцип пылеулавливания при турбулентном движении потока газа. Приведен гидродинамический анализ на основе моделирования и представлены конструктивные доработки данного типа пылеулавливающего оборудования.

Ключевые слова: *пылеуловитель, скруббер, турбулентность, коагуляция, аэрозоль, брызгоунос, эжекция, улавливание частиц*

К аппаратам ударно-инерционного действия относится большая группа мокрых пылеуловителей, в которых контакт газов с жидкостью осуществляется за счет удара газового потока о поверхность жидкости с последующим пропуском газожидкостной взвеси через отверстия различной конфигурации. В результате такого взаимодействия образуются капли диаметром 300 – 400 мкм. Особенностью аппаратов ударного действия является полное отсутствие средств перемещения жидкости и поэтому вся энергия, необходимая для создания поверхности контакта, подводится через газовый поток. В связи с этим газопромыватели иногда называют аппаратами с внутренней циркуляцией жидкости. Несмотря на большое число различных конструкций аппаратов этого типа, нашедших применение в промышленности, особенно за рубежом, сколько-нибудь надежного теоретического метода их расчета пока не имеется [4].

Скрубберы ударно-инерционного действия относятся к мокрым пылеуловителям с внутренней циркуляцией жидкости, поэтому удаление из них шлама осуществляется чаще всего периодически (по мере его накопления в бункерной части). Возможен и непрерывный отвод шламовой жидкости, но в этом случае теряется основное достоинство ударно-инерционных аппаратов - снижение удельного расхода орошающей жидкости за счет многократной ее циркуляции. Отсутствие мелких отверстий для раздачи жидкости и механических вращающихся частей позволяет эксплуатировать аппараты этого типа при повышенном содержании твердой взвеси в контактирующей с газовым потоком жидкости.

Однако наряду с достоинствами они имеют ряд особенностей, на которые необходимо обращать внимание при их выборе и эксплуатации.

Важное значение для нормальной эксплуатации мокрых ударно-инерционных пылеуловителей играет поддержание постоянного уровня жидкости в аппарате. Даже незначительное снижение уровня жидкости (за счет отвода ее со шламом, испарения или брызгоуноса) может привести к резкому уменьшению эффективности и наоборот - увеличение уровня (при излишней подпитке) вызывает рост гидравлического сопротивления аппарата. Также одним из недостатков скрубберов ударно-инерционного действия является, то, что они эффективны при улавливании частиц размером не менее 4 мкм [2].

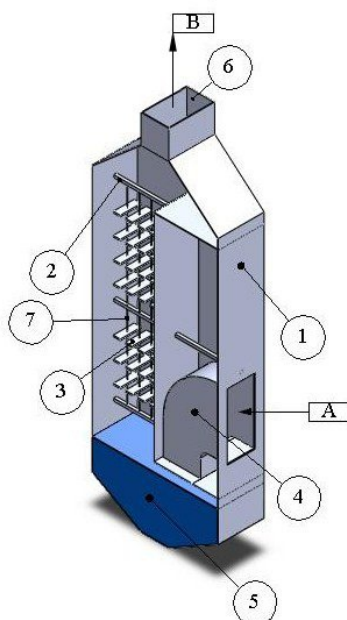


Рисунок 1. Модель ударно-инерционного устройства для осаждения аэрозолей:

- 1 - корпус, 2 - рейка, 3 - пластина, 4 - входной патрубок,
 5 – слой жидкости, 6 - патрубок для вывода очищенного газа, 7 – струна.
 А - вход газа с взвесями, В - выход очищенного газа

Сам процесс газоочистки состоит в следующем (рис. 1): смесь обрабатываемых газопылевых выбросов поступает в патрубок 4, имеющий на конце сужение, ускоряющий скорость газа до 2 – 12 м/с, и направляется на поверхность жидкости, после чего происходит удар, при этом газовый поток резко меняет направление движения. Крупные фракции пыли из-за инерции не

могут повернуть после удара вместе с потоком газа, и увлекаются в жидкость. В результате удара газа о жидкость, последняя эжектируется, создавая завесу из капель. Мелкие фракции, увлекаемые газом, улавливаются каплями жидкости и вследствие образования газожидкостной смеси отделяются от потока. Образующиеся при ударе капли имеют размеры до 400 мкм. Уровень жидкости 5 в аппарате чуть ниже кромки газоподводящей трубы. Вся энергия, необходимая для создания смеси, подводится газовым потоком. Затем газ движется к выходному патрубку 6. В ударно-инерционных аппаратах данной конструкции очистка основана на инерционном увлечении частиц в жидкость. Для улучшения эффективности работы оборудования предложен дополнительный процесс. В аппарате предусмотрены пластины 3, которые нанизаны на струны 7. Они выполняют функцию насадки. В зоне насадки создается интенсивный турбулентный поток.

Искусственное создание турбулентности за счет монтажа насадки необходимо для интенсификации процессов коагуляции.

Для коагуляции, вызванной турбулентностью потока, следует рассмотреть два случая. Во-первых, если импульс частиц аэрозоля приблизительно такой же, как у среды, они будут двигаться примерно с такой же скоростью, как и участки воздуха, окружающие их. В этом случае движение частиц можно описать с помощью коэффициента турбулентной диффузии D_T . Этот коэффициент может иметь значение, в $10^4 - 10^6$ раз большее, чем коэффициенты тепловой диффузии. Процессы коагуляции, вызванные турбулентностью потока, могут рассматриваться как обычная коагуляция, но с использованием больших коэффициентов диффузии.

Второй случай коагуляции аэрозоля в турбулентном потоке характеризуется возникновением инерционных различий между частицами разных размеров. Вследствие турбулентности частицы ускоряются до различных скоростей, зависящих от размера, и могут затем сталкиваться друг с другом. Для монодисперсного аэрозоля этот механизм не имеет значения. Для полидисперсного аэрозоля с известным распределением по размерам Левич показал, что скорость коагуляции пропорциональна основной скорости турбулентного потока в степени $9/4$, т. е. скорость коагуляции возрастает очень быстро с увеличением скорости турбулентного потока. Так как очень мелкие частицы быстро ускоряются, значение этого

механизма уменьшается с уменьшением размера частиц, причем он является наиболее важным для частиц, чьи диаметры составляют 0,1 – 1 мкм. Во всех случаях преобладает броуновская диффузия, когда диаметры частиц меньше 0,01 мкм [3]. С учетом выше сказанного мы добиваемся увеличения эффективности улавливания частиц менее 4 мкм за счет коагуляции, а также за счет захвата более крупными каплями, образующимися в результате эжекции.

Для изучения гидродинамических характеристик в аппарате было применено компьютерное моделирование программы CFD (Computational Fluid Dynamics) типа, предназначенные для решения задач механики жидкостей и газов, процессов горения и химической кинетики. Для расчета использовался метод конечных объемов, который является упрощенным, а следовательно, более быстродействующим вариантом метода конечных элементов. Было смоделировано только течение газа без дискретной фазы, ввиду того что силовое и тепловое воздействие частиц на течение газовой фазы пренебрежимо мало. Это предположение верно в том случае, когда массовая доля частиц в двухфазном потоке не превышает 30 % [1]. Численный анализ течения газа внутри ударно-вихревого аппарата сводится к решению системы осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса. Для замыкания газодинамических уравнений Навье-Стокса использовалась стандартная *k-ε* модель турбулентности. Помимо модели турбулентности и теплообмена, использовалась VOF (Volume of Fluid) для моделирования со свободной поверхностью воды и потока воздуха.

Граничные условия были выбраны следующие: в качестве газа был использован - воздух, жидкости, на которую направляется воздух – вода, температура на входе — 300 °К, давление газа на выходе чуть выше атмосферного — 101425 Па, интенсивность турбулентности на входе и выходе аппарата — 5 %.

Были проведены расчеты аппарата с насадкой и без нее, чтобы узнать о влиянии насадки на гидродинамические параметры. В диапазоне изменения $WГ$ от 2 до 12 м/с в результате удара газового потока о поверхность жидкости образуется сферическое углубление, а вытесненная жидкость образует "холм". С поверхности жидкостного "холма" происходит эжекция пленок, капель и струй в насадочную зону аппарата. Все представленные ниже результаты – это режим работы аппарата при скорости газа на выходе из патрубка на поверхность воды

$W_r = 6$ м/с. На рис. 2 показано взаимодействие газовой и жидкой фаз в эжекционной зоне аппарата УИД с РПН (ударно-инерционного действия с регулярной пластинчатой насадкой).



а - аппарат без насадки б - аппарат с насадкой

Рисунок 2. Взаимодействие газовой и жидкой фаз в эжекционной зоне аппарата УИД с РПН

Ниже представлены рисунки линий тока газа (рис. 3) и частоты турбулентных пульсаций (рис. 4), из которых видно, что газ в аппарате с насадкой в пост-эжекционной зоне имеет многочисленные равномерные завихрения, образование турбулентного следа за пластинами насадки в результате отрыва пограничного слоя от его поверхности и увеличение частоты турбулентных пульсаций.

Также усиливается интенсивность турбулентности (рис. 5), являющийся важным параметром не только для газоочистного оборудования.

Поле скоростей (рис. 6) показывает что с установкой насадки наблюдается более или менее равномерное распределение скоростей в аппарате.

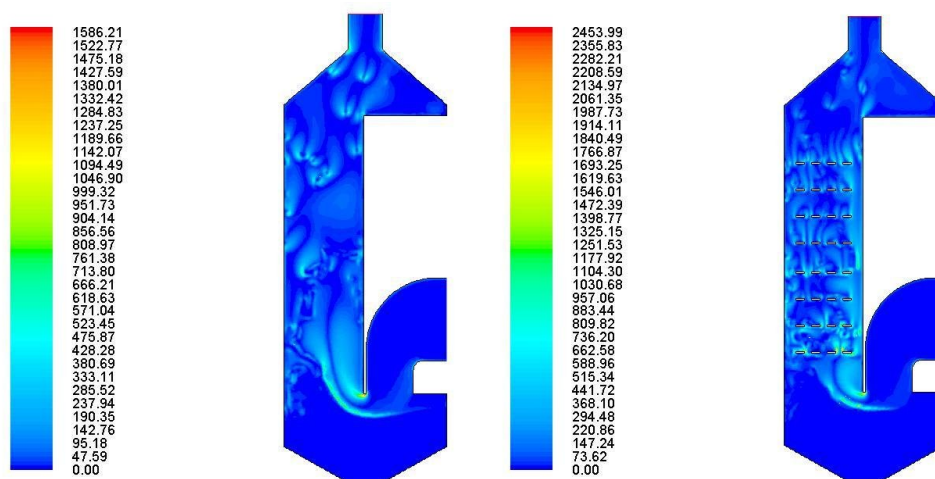
На рис. 7 показан контур давлений в аппарате. Внизу аппарата давление повышается в связи с гидростатическим давлением столба жидкости в нижней части корпуса, в частности воды. При данном режиме $W_r = 6$ м/с гидравлическое сопротивление аппарата для воздуха составил $\Delta P = 600 - 800$ Па без использования насадки и $\Delta P = 1100 - 1300$ Па для аппарата с насадкой соответственно.



а - аппарат без насадки

б - аппарат с насадкой

Рисунок 3. Траектории движения газа и жидкости в аппарате

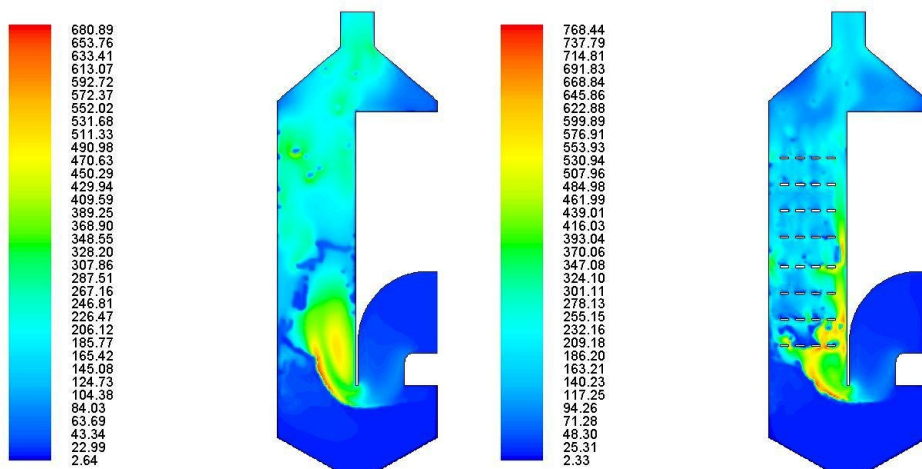


а - аппарат без насадки

б - аппарат с насадкой

$\omega = 0 \dots 2453,99$ – частота турбулентных пульсаций, 1/с

Рисунок 4. Частота турбулентных пульсаций

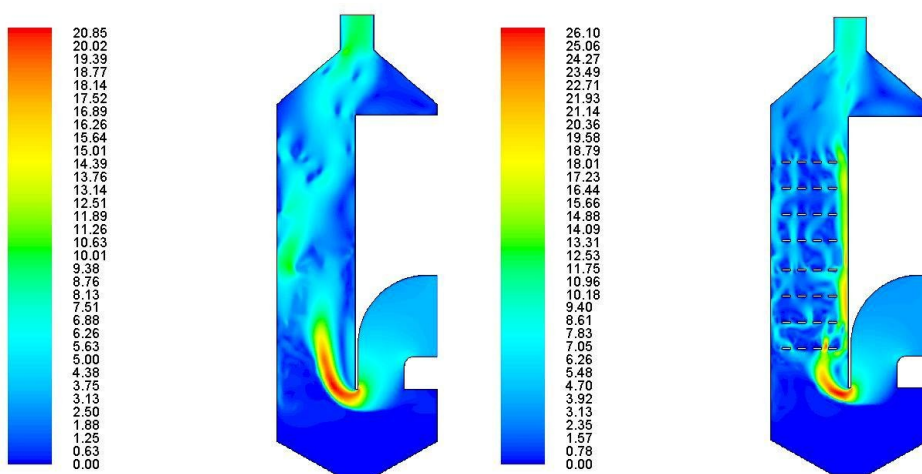


а - аппарат без насадки

б - аппарат с насадкой

$U = 2,33 \dots 26,1$ – интенсивность турбулентности, %

Рисунок 5. Интенсивность турбулентности

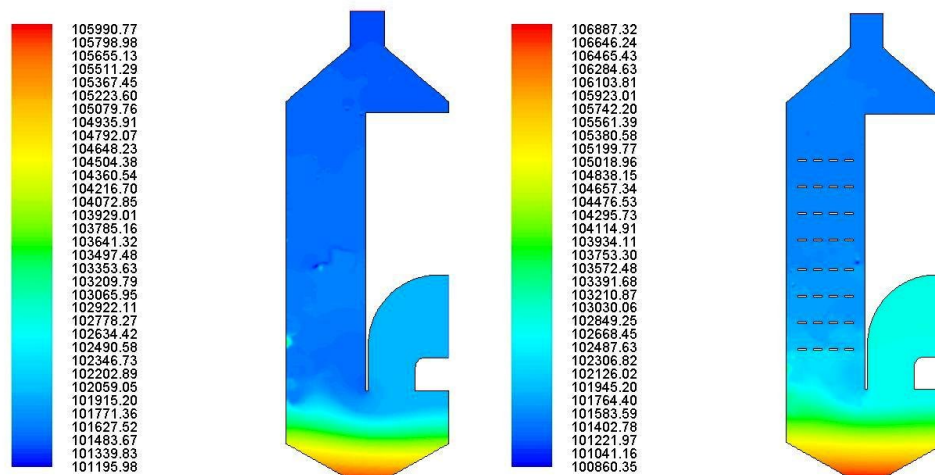


а - аппарат без насадки

б - аппарат с насадкой

$W = 0 \dots 26,1$ – скорость потока, м/с

Рисунок 6. Поле скоростей



а - аппарат без насадки б - аппарат с насадкой
 $P = 100860,35 \dots 106887,32$ – давление, Па

Рисунок 7. Контурный график распределения давлений

Таким образом можно сделать выводы, что насадки усиливают турбулизацию очищаемого газа в пост эжекционной зоне аппарата, что теоретический должно повлиять на увеличение эффективности улавливания частиц менее 4 мкм; с помощью моделирования определено, что с начиная со скорости подводящего газа 6 м/с и выше, начинается активный брызгоунос жидкости и появляется необходимость восполнять потери; установлено что основные потери давления в аппарате происходят в зоне удара газа о жидкость, что оптимальным уровнем воды до запуска оборудования является уровень до кромки входного патрубка, также установлено что, повышая уровень воды, значительно увеличивается не только гидравлическое сопротивление пылеуловителя, но и появляются пульсации давления со значительными магнитудами перепадов.

Литература

1. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
2. Вальдберг А.Ю. Мокрые пылеуловители ударно-инерционного, центробежного и форсуночного действия. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1981. – 35 с.
3. Райст П. Аэрозоли: введение в теорию. – М.: Мир, 1987. – 278 с.
4. Швыдкий В.С., Ладигичев М.Г. Очистка газов: Справочное издание. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 640 с.