

Обобщение режимных условий работы каплеуловителей интенсивных аппаратов мокрой газоочистки

С.И. Голубева, Л.И. Хорзова

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Аннотация: В статье рассматриваются закономерности образования и определяющие факторы роста грубодисперсного и аэрозольного уноса жидкости в интенсивных аппаратах мокрой пылегазоочистки, проанализированы и обобщены режимные условия работы сепарирующих устройств применительно к задачам их конструктивного совершенствования с целью сокращения каплеуноса

Ключевые слова: интенсивные аппараты мокрой пылегазоочистки, грубодисперсный и аэрозольный каплеунос, сепарация капельной влаги, каплеуловитель.

Основным направлением современного этапа развития промышленного производства является активное совершенствование технологических процессов, которое приводит к существенному увеличению выброса вредных веществ в атмосферу, содержащих как дисперсные, так и газообразные компоненты, негативно воздействующие на окружающую среду.

Для обеспечения экологической безопасности производства требуется нейтрализация не только дисперсных, но и газообразных составляющих, способных оказывать значительно более существенное техногенное влияние [1,2]. Максимальный эффект комплексной очистки многокомпонентных выбросов зачастую достигается только на основе методов мокрой очистки при использовании аппаратов с интенсивным режимом работы.

Однако высокоэффективная очистка вентиляционных и технологических выбросов в интенсивных аппаратах мокрого типа возможна только при условии обеспечения сепарации капельной влаги из объема очищаемого газа на выходе из газоочистного оборудования с целью исключения загрязнения атмосферы уловленными в процессе очистки компонентами, содержащимися в каплеуносе поглощающей жидкости.

Вынос капель рабочей жидкости в системах пылегазоочистки является нежелательным явлением по ряду причин, к числу которых относятся и

загрязнение воздушного бассейна, и возможное выпадение вредностей в виде дождя на территорию предприятия, и интенсивная коррозия оборудования при наличии кислотосодержащих компонентов. Таким образом, присутствие каплеуноса и резкое возрастания его в условиях режимной интенсификации процессов очистки (увеличение скорости газа, расхода орошающей жидкости) значительно снижают эффективность работы газоочистного оборудования.

Поэтому задача предотвращения или снижения каплеуноса является одной из главных при совершенствовании работы аппаратов мокрой газоочистки, как и задачи исследования закономерностей сепарации капельной жидкости из потока очищенного газа.

Процесс прохождения газа через жидкость сопровождается брызгообразованием. Фонтанирующие источники брызг образуются при нарушении внешней поверхности слоя пены струями газового потока. Улавливание или унос, а также массовая концентрация и размеры образующихся капель жидкости, определяются режимными условиями работы каплеуловителей.

При интенсивных режимах взаимодействия газа и жидкости капельный унос обуславливается условиями осуществления процессов газоочистки и их конструктивным исполнением. В этом случае основную часть уноса составляют грубодисперсные капли (брызговой унос с диаметром капель от 20 мкм до 1200 мкм). Мелкодисперсные капли (аэрозольный унос с диаметром капель менее 10 мкм) присутствуют в уносе в незначительном количестве (не более 3,0-3,5% по массе уноса), однако, именно аэрозольный унос и является причиной невозможности достижения высокой степени очистки, как в пенных, так и в интенсивных вихрепленных пылеуловителях, особенно при проведении процессов очистки с внутренней циркуляцией жидкости [3].

В результате проведения анализа режимно-технологических характеристик существующих на сегодняшний день конструкций каплеуловителей, выяснено, что приоритетное направление в их разработках – это сокращение брызгового уноса. Мелкодисперсные капли в простейших каплеуловителях не улавливаются.

Образование мелких капель и их сепарация исследовано только в рамках малоинтенсивного пузырькового барботажного режима [4,5]. Каплеобразование в этом случае осуществляется на поверхности газожидкостного слоя при разрушении столбика жидкости, который выплескивается вверх при смыкании кольцевой волны. Определены следующие критические состояния поверхности раздела фаз при разных скоростях барботирующего газа.

В режиме очень малых скоростей газового потока аэрозольный унос незначительно увеличивается при возрастании скорости пропускаемого газа. Когда на поверхности жидкости возникает наибольшее количество пузырьков, которые способны выбрасывать капли, каплеобразование достигает максимума. Последующий рост скорости газа приводит к образованию стабильного слоя пены, способствующему снижению каплеуноса, так как проявляется эффект так называемого “пенного поглощения”. В этом случае в слое стабильной пены происходит слияние газовых пузырьков, а поглощение мелких капель крупными пузырьками – это энергоемкий процесс, приводящий к минимальному выносу капель с поверхности жидкости. При достижении скорости газа значений, превышающих скорость подъема газовых пузырьков, происходит переход к режиму подвижной пены. На величину аэрозольного уноса активное влияние начинает оказывать режим образования пены по всему ее объему при высоте пенного слоя свыше 30 мм. Наиболее наглядное проявление это находит в установках с пенодинамическим режимом очистки.

Процесс аэрозольного уноса из пенодинамического слоя необходимо анализировать прежде всего, исходя из гидродинамических закономерностей контакта газа и жидкости [6,7]. Изменение структурных элементов газожидкостного слоя, а именно, разрушение газовых пустот, дробление агрегатов жидкости, обязательно приводит к генерации капель, т. е. каплеобразование начинается уже в объеме газожидкостного слоя при интенсивных режимах взаимодействия газа и жидкости, где параллельно осуществляется и сепарация части образованных капель [8].

Необходимо также учитывать неоднородность пенодинамического слоя по высоте, что определяет специфику процесса формирования и сепарации капель. В объеме пенодинамического слоя, образованного путем вихревой инжекции жидкости потоком очищаемого газа, определены три участка: начальный участок (I), который характеризуется распадом газовых струй на полидисперсные пузырьки; основной (II), где образовывается развитая пузырьковая система; и конечный участок (III), где проявляется процесс преобразования пузырьковой системы сначала в струйное, а потом – в сплошное течение, и где над поверхностью формируется область, так называемого активного каплеуноса. На рис.1 представлены зависимости массовых концентраций грубодисперсного и аэрозольного уноса от скорости очищаемого потока газа при различной высоте начального слоя жидкости на решетке. При скорости газового потока до 1,3 м/с, в гидродинамическом режиме, когда газ распределен в жидкости (I), грубодисперсный унос не наблюдается, а обнаруживается только в режиме “инверсия фаз” (II), однако аэрозольный унос проявляется при всех гидродинамических режимах. Зависимость массовых концентраций грубодисперсного (а) и аэрозольного уноса (б) от скорости очищаемого потока газа при различной высоте

начального слоя жидкости на решетке приведена на рис.1.

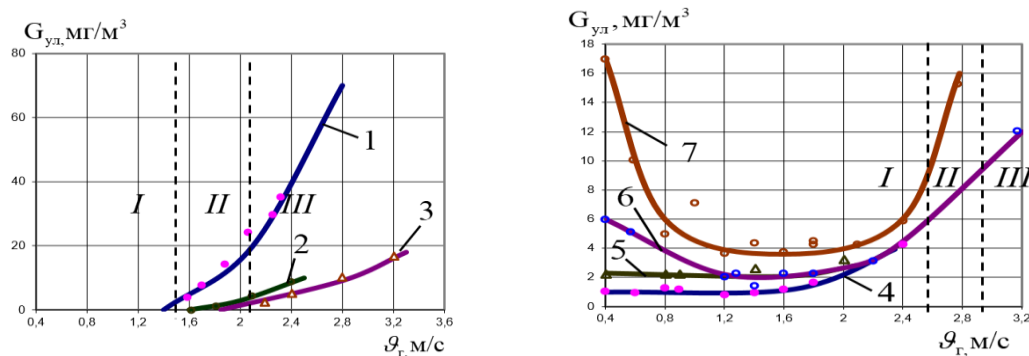


Рис. 1 - Зависимость массовых концентраций грубодисперсного (а) и аэрозольного уноса (б) от скорости очищаемого потока газа при различной высоте начального слоя жидкости на решетке: 1 – $h_0=12$ мм; 2 – $h_0=25$ мм; 3 – $h_0=50$ мм ; 4 – $h_0=10$ мм; 5 – $h_0=35$ мм ; 6 – $h_0=50$ мм; 7 – $h_0=70$ мм.

Массовую концентрацию капель, улавливаемых в этой зоне $G_{ул}$, определяет соотношение:

$$G_{ул} = \left[(g_1 + g_2) \left(1 - \frac{\mathcal{E}_2}{100} \right) + g_3 \right] \left(1 - \frac{\mathcal{E}_3}{100} \right), \text{ г/м}^3 \quad (1)$$

где g_1, g_2, g_3 – массовая концентрация капель, сформированных на начальном (I), основном (II) и конечном (III) участках газожидкостной системы, соответственно (г/м^3);

$\mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$ – эффективность каплеулавливания в области основного участка системы (II) и сепарационном пространстве (III).

Проведенный анализ литературных и опытных данных показывает, что значения параметров ($g_1, g_2, g_3, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3$), определяющих величину уноса на выходе из аппарата, являются функцией всех гидродинамических, физических и геометрических параметров системы. В общем виде эту функцию можно записать следующим образом:

$$G_{ул} = f(w_г, h_0, \rho_г, \rho_ж, \mu_г, \mu_ж, \sigma, \Omega, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3) \quad (2)$$

где $w_г$ – скорость газового потока; h_0 – высота начального слоя жидкости на решетке; $\rho_г$ и $\rho_ж$ – плотность, соответственно, газа и жидкости; $\mu_г$ и $\mu_ж$ –

динамические коэффициенты вязкости, соответственно, газа и жидкости; σ – поверхностное натяжение; Ω – коэффициент, характеризующий влияние природы жидкости на пенообразование; $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$ – симплексы, учитывающие конструктивные особенности пенообразующего узла.

Согласно формулы (1), величина капельного уноса зависит от специфики работы сепарационного объема. Капли, образующиеся над газожидкостным слоем, на начальном участке, приобретают скорость, которая превышает подъемную скорость пропускаемого газа. Далее, из-за сопротивления среды, скорость газа уменьшается и наступает момент, когда газовый поток увлекает за собой капли жидкости. Транспортируемые капли поднимаются на высоту, определяемую значениями подъемной скорости газа, вертикальной начальной скорости капли и скорости ее витания.

Формирование капель в аппаратах колонного типа осуществляется в результате разрыва пузырей [9]. Размеры капель составляют от 20-30 мкм до 600-1200 мкм. Определяющие факторы интенсивности каплеуноса в тарельчатых и насадочных колоннах – это, в первую очередь, скорость очищаемого потока газа и режим взаимодействия газовой и жидких фаз, поэтому для каждого типа контактных устройств определяются оптимальные режимы их работы и максимальные скорости очищаемого газового потока.

Процесс очистки, осуществляемый при скоростях газа превышающих оптимальные значения, вызывает в контактном устройстве изменение нормального взаимодействия газа и жидкости, что приводит к резкому увеличению каплеуноса. Так, в частности, увеличивается в несколько раз унос капельной дисперсии в аппаратах с провальными тарелками при переходе от рабочего пенного к волновому режиму [10]. Наибольший размер капель, выносимых газом, определяется скоростью их витания, которая приравнивается к скорости газового потока в свободном сечении на выходе из газоочистной установки [11].

Таким образом, в результате обобщения особенностей образования капельной дисперсии выяснено, что размер капель - основной фактор для определения величины каплеуноса и конструктивного совершенствования каплеуловителя при различных механизмах каплеобразования.

По результатам обобщения режимно-технологических характеристик сепарирующих устройств различного принципа действия очевидна необходимость применения оптимизационного подхода для определения направления конструктивного усовершенствования устройств каплеулавливания в интенсивных аппаратах. Конструктивное оформление каплеуловителей в аппаратах с интенсивным пенодинамическим режимом взаимодействия жидкости и газа должно учитывать серьезное воздействие на эффективность сепарации капельной влаги процессов преобразования капельной дисперсии, которые протекают над поверхностью газожидкостного слоя в их рабочем пространстве.

Литература

1. Arravsmith A., Ashton N., Parsons A.C. Gaseous emission control by gas absorption some case studies // Process Safety and Environ. Prot. 1990. v. 68, № 3. pp. 176–180.
2. Азаров В.Н., Кошкарев С.А. К экспериментальной оценке эффективности аппарата мокрой очистки в системах обеспыливания выбросов в атмосферу от печей обжига керамзита // Инженерный вестник Дона, 2014, № 4 -1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2572
3. Мухленов И.П., Тарат Э.Я., Туболкин А.Ф., Тумаркина Е.С. Пенный режим и пенные аппараты // Ленинград: Химия, 1977. 304 с.

4. Розен А.М., Голуб С.М. О закономерностях капельного уноса при барботаже // Теоретические основы химической технологии. 1978. №т.12, №6. С. 817-825.
 5. Кончуков В.А., Жихарев А.С., Кутепов А.М., Соловьев В.В. Статистический подход к исследованию уноса при работе струйных сепараторов в аппаратах барботажного типа // Химия и химические технологии. 1979. №11. С. 1403-1407.
 6. Енгибарян С.Н., Тарат Э.Я, Мухленов И.П. О структуре межфазной поверхности дисперсных систем газ-жидкость и газ-жидкость-твердое тело, образующихся в пенных аппаратах // Прикладная химия. 1970. т.43, №5. С. 1178-1182.
 7. Hanson A., Domich E., Adams H. Phys. Fluid, 6, 1963, № 8, p. 517–525.
 8. Диденко В.Г. Проблемы сокращения влагоуноса в тепломассообменных контактных аппаратах // Air-Conditioning and District Heat. – Rational of Design Modes: Third Internahional Conf., Wroclaw, May 14-15. Wroclaw: 1987. С. 54-60.
 9. Балабеков О.С., Романков П.Г., Тарат Э.Я. О режимах работы колонных аппаратов с орошаемой взвешенной шаровой насадкой // Прикладная химия. 1971. №т.44, №6. С. 1061-1068.
 10. Вальберг А.Ю., Тарат Э.Я., Зайцев М.М. Исследование уноса жидкости из пенных аппаратов с провальными решетками // Химическое и нефтяное машиностроение. 1969. №4. С. 45-62.
 11. Тарат Э.Я., Иванов Е.С. Вопросы механизма и расчета аэрозольного уноса из пенного слоя // Журнал прикладной химии. 1978. №6. С. 1323 – 1327.
-

References

1. Arravsmith A., Ashton N., Parsons A.C. Process Safety and Environmental Protection. 1990. V.68, №3. pp. 176-180.
2. Azarov V.N., Koshkarev S.A. Inženernyj vestnik Dona. 2014, № 4-1 (31). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2572
3. Mukhlenov I.P., Tarat E.Ya., Tubolkin A.F., Tumarkina E.S. Pennyry rezhim i pennyrye apparaty [Foam formation mode and foaming apparatuses]. Leningrad: Khimiya, 1977. 304 p.
4. Rozen A.M., Golub S.M. Teoreticheskiye osnovy khimicheskoy tekhnologii. 1978. V.12, №6. pp. 817-825.
5. Konchukov V.A., Zhikharev A.S., Kutepov A.M., Solov'yev V.V. Khimiya i khimicheskkiye tekhnologii. 1979. №11. pp. 1403-1407.
6. Yengibaryan S.N., Tarat E.Ya, Mukhlenov I.P. Prikladnaya khimiya. 1970. V.43, №5. pp. 1178-1182.
7. Hanson A., Domich E., Adams H. Phys. Fluid, 6, 1963, № 8, pp. 517-525.
8. Didenko V.G. Tretya Mezhdunarodnaya Konferentsiya, Wroclaw, May 14-15 1987 "Air-Conditioning and District Heat. Rational of Design Modes": trudy (Proc. Third Internahional Conf. May 14-15 1987 "Air-Conditioning and District Heat. Rational of Design Modes".) Wroclaw, 1987, pp. 54-60.
9. Balabekov O.S., Romankov P.G., Tarat E.Ya. Prikladnaya khimiya. 1971. V.44, №6. pp. 1061-1068.
10. Val'berg A.Yu., Tarat E.Ya., Zaytsev M.M. Khimicheskoye i neftyanyoye mashinostroyeniye. 1969. №4. pp. 45-62.
11. Tarat E.Ya., Ivanov E.S. Zhurnal prikladnoy khimii. 1978. №6. pp. 1323-1327.