

DOI:10.6060/snt.20216602.00012

УДК 66.063.6:661.185:621.66

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА МОКРОГО ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ В АППАРАТАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ**Чагин О.В., Блиничев В.Н., Колобов М.Ю.**

Чагин Олег Вячеславович, Блиничев Валерьян Николаевич, Колобов Михаил Юрьевич
Ивановский государственный химико-технологический университет,
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7.
E-mail: chagin@isuct.ru, blinich@isuct.ru, mikhailkolobov@rambler.ru

Статья посвящена исследованию влияния конструкции пылеулавливающего аппарата на процесс мокрого пылеулавливания. Показано влияние конструкции пылеулавливающего аппарата на величину предельной концентрации твердой фазы в орошающей суспензии. вихревая пакетная, модифицированная насадка обладает рядом преимуществ перед другими контактными устройствами. Приведена критериальная оценка эффективности работы пылеулавливающего аппарата с различными типами контактных устройств. Легкость масштабирования при переходе к аппаратам промышленного образца, низкое гидравлическое сопротивление аппарата при больших расходах газа, а также малые габариты при высокой производительности по газовой фазе.

Ключевые слова: пылеулавливание, ньютоновская жидкость, суспензия, эффективная вязкость, насадочный скруббер.

EFFICIENCY OF THE PROCESS OF WET DUST COLLECTION IN APPARATUS WITH DIFFERENT TYPES OF CONTACT DEVICES**Chagin O.V., Blinichev V.N., Kolobov M.Yu.**

Chagin Oleg Vyacheslavovich, Blinichev Valerian Nikolaevich, Kolobov Mikhail Yurievich
Ivanovo State University of Chemical Technology,
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.
E-mail: chagin@isuct.ru, blinich@isuct.ru, mikhailkolobov@rambler.ru

The article is devoted to the study of the influence of the design of the dust collecting apparatus on the process of wet dust collecting. The influence of the design of the dust collecting apparatus on the value of the limiting concentration of the solid phase in the irrigating suspension is shown. vortex packet, modified packing has a number of advantages over other contact devices. A criterial assessment of the efficiency of the dust-collecting apparatus with various types of contact devices is given. Ease of scaling in the transition to industrial design devices, low hydraulic resistance of the device at high gas flow rates, as well as small dimensions with high performance in the gas phase.

Keywords: dust collection, Newtonian liquid, suspension, effective viscosity, packed scrubber.

Мокрое пылеулавливание широко используется в различных отраслях промышленности. Одним из больших недостатков данного способа пылеулавливания является достаточно высокий удельный расход улавливающей жидкости. Режим рециркуляции улавливающей среды характеризуется ее экономичным расходом при очистке газа. В этом случае улавливающая среда представляет собой суспензию с непрерывно возрастающей концентрацией. В связи с этим точное определение предельно

допустимых концентраций твердого вещества в орошающей суспензии, с целью надежного расчета рециркуляционного режима и снижение ее расходов представляет большой практический интерес. Также практический интерес представляет выбор оптимального конструктивного оформления процесса пылеулавливания как с конструктивной точки зрения, так и затрат энергии на ведение данного процесса.

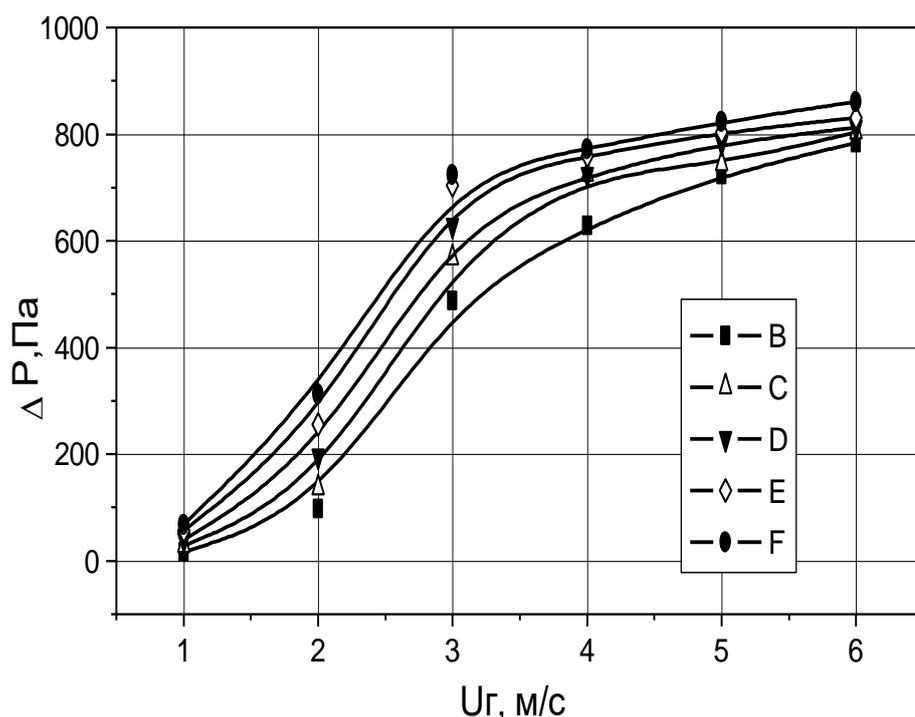


Рис. 1. Зависимость гидравлического сопротивления аппарата от расходов газовой и жидкой фаз (B-L=4,5x10⁻³ м³/м²с, C-L=6,2x10⁻³ м³/м²с, D-L=7,8x10⁻³ м³/м²с, E-L=9,6x10⁻³ м³/м²с, F-L=12,6x10⁻³ м³/м²с).

Fig. 1. Dependence of the hydraulic resistance of the apparatus on the flow rates of the gas and liquid phases (B-L=4,5x10⁻³ м³/м²с, C-L=6,2x10⁻³ м³/м²с, D-L=7,8x10⁻³ м³/м²с, E-L=9,6x10⁻³ м³/м²с, F-L= 12.6x10⁻³ м³/м²с).

Для осуществления экспериментов была создана лабораторная установка, позволяющая применять разные виды насадок для пылеулавливания. Для создания межфазной поверхности использовались три вида насадки – кольца Рашига, псевдооживленная шаровая насадка, вихревая пакетная модифицированная насадка типа ПВН [1-2]. Полученные данные сравниваются с данными, полученными при проведении процесса пылеулавливания в ударно-инерционном аппарате типа «Ротоклон» [3].

Основная цель данных исследований заключается в том, чтобы выяснить, является ли закономерностью процесс резкого снижения эффективности пылеулавливания при изменении в аппарате, режима течения орошающей жидкости при достижении концентрации,

соответствующей переходу суспензии из ньютоновской в неньютоновскую.

Сначала нами было проведено исследование по определению гидродинамических характеристик каждого вида насадок. На рис.1. приведена, для примера, гидродинамическая характеристика вихревой пакетной модифицированной насадки [4].

На следующем этапе было проведено исследование эффективности пылеулавливания сажи на типовой насадке из колец Рашига диаметром 20мм, уложенных хаотично. Высота слоя составила 400 мм. Эффективность пылеулавливания находилась в пределах 99,6-99,3%, при соответствующем изменении весовой концентрации пыли в орошающей суспензии от 1 до 20% (рис.2). Исследования проводились при скорости газа 1м/с и плотности орошения 4,5*10⁻³м³/м²с.

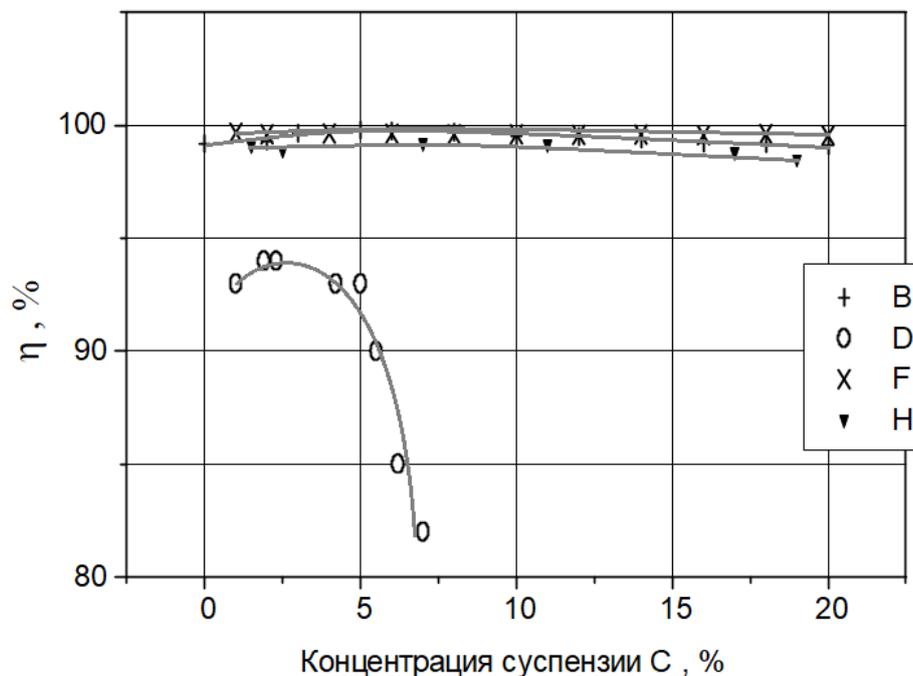


Рис.2. Зависимость общей эффективности процесса пылеулавливания сажи от концентрации орошающей суспензии для различных видов аппаратов:
В - вихревая пакетная, модифицированная насадка $U_{г}=4$ м/с, $L=4,5 \times 10^{-3}$ м³/м²с, $\Delta P=650$ Па;
Д - "Ротоклон" $U_{г}=25$ м/с; **Ф** - псевдоожиженная шаровая насадка $U_{г}=3$ м/с, $L=4,5 \times 10^{-3}$ м³/м²с, $\Delta P=700$ Па; **Н** - кольца Рашига $U_{г}=1$ м/с, $L=4,5 \times 10^{-3}$ м³/м²с, $\Delta P=1200$ Па.
Fig. 2. Dependence of the overall efficiency of the soot dust collection process on the concentration of the irrigating suspension for various types of devices:
V - vortex packet, modified nozzle $U_{g} = 4$ m/s, $L=4,5 \times 10^{-3}$ м³/м²с, $\Delta P = 650$ Па;
D - "Rotoklon" $U_{g} = 25$ м/с; **F** - fluidized ball nozzle $U_{g} = 3$ м/с, $L=4,5 \times 10^{-3}$ м³/м²с, $\Delta P=700$ Па;
H - Raschig rings $U_{g}=1$ м/с, $L=4,5 \times 10^{-3}$ м³/м²с; $\Delta P=1200$ Па.

При использовании колонного аппарата с псевдоожиженной насадкой (полюе шары диаметром 15 мм) для пыли каолина эффективность пылеулавливания плавно снижалась с 99,3 % до 99,15 % при соответствующем увеличении концентрации пыли в орошающей суспензии с 1 % до 20 %. Для частиц сажи эффективность более высокая - 99,6 %, причем, это значение оставалось неизменным при увеличении концентрации пыли в суспензии до 20 % (рис.2). Для обеспечения устойчивой работы аппарата в противоточном режиме скорость аэрозоля составила 3 м/с [5-6].

Исследование процессов пылеулавливания в насадочном аппарате с различными видами насадок и применение широкого диапазона концентраций орошающих суспензий позволило выявить закономерности процессов

при низких скоростях ($U_{г}=1-4$ м/с) контактирования фаз. Осаждение пыли происходит в данных аппаратах, преимущественно, на пленках жидкости, что характерно для вихревой пакетной модифицированной насадки и колец Рашига, или в пенном слое, турбулизированном подвижной насадкой. Незначительное снижение к.п.д. газопромывателя (не более 1%), при значительном увеличении весовых концентраций орошающих суспензий (до 20%), свидетельствует о малом влиянии реологического поведения взвесей на процесс пылеочистки при данных режимах работы скрубберов.

Проведенные сравнительные эксперименты в различных типах пылеуловителей позволяет сделать следующие выводы. Для осуществления обеспыливания в условиях

многократной рециркуляции улавливающей жидкости следует отдать предпочтение насадочным аппаратам, работающим с высокой эффективностью на концентрированных взвешах. Для обеспечения надежного проведения процесса следует использовать такие виды насадок, как псевдооживленная шаровая или вихревая пакетная модифицированная насадка. Наличие в аппарате подвижных насадочных элементов или широких проходных каналов, с развитой криволинейной формой образующих поверхностей в вихревой пакетной модифицированной насадке, устраняют с большой долей вероятности возможные отложения твердой составляющей аэрозоля в рабочей зоне аппарата, приводящей к остановке процесса.

Продолжительное время контакта газового потока с орошающей жидкостью и низкая скорость подвода твердой составляющей к границе раздела фаз не позволяет создавать на пленке жидкости слоя, обогащенного частицами и препятствующего осаждению твердой фазы. Не наблюдается также развитой капельной области, с соответствующим эффектом создания пограничного слоя частиц на поверхности раскручиваемых капель.

где η – общая эффективность процесса пылеулавливания;

η_{min} – эффективность процесса пылеулавливания на минимальном режиме осуществления процесса для данного контактного устройства;

$Eu = \frac{\Delta P}{\rho \cdot U^2}$ – критерий Эйлера, рассчитанный для данного режима процесса пылеулавливания;

Eu_{min} – критерий Эйлера, рассчитанный для данного режима процесса пылеулавливания на минимальном режиме осуществления процесса для данного контактного устройства.

На рис.3. представлены зависимости критерия эффективности ведения процесса пылеулавливания от скорости газа и типа контактного устройства. Видно, что кольца Рашига представлены точкой в виду малого диапазона работы по газу контактного устройства не превышающем 1 м/с. Псевдооживленная шаровая насадка демонстрирует практически не заметный рост критерия эффективности и до-

выше приведенные данные исследований показывают, что эффективные реологические параметры оказывают разное влияние на процесс обеспыливания при использовании оборудования различного типа. Конструкция аппарата, а следовательно и режимы проведения процессов, определяют вид и интенсивность нагружения орошающих суспензий [7]. Реологические параметры суспензии могут изменяться в значительной степени от вида прилаемого внешнего механического воздействия.

В рассматриваемых аппаратах преимущественная роль нагружения пылеосаждающей жидкости отводится движущемуся газовому потоку, скорость которого и характер траектории определяется конструкцией аппарата.

Приведенные данные по эффективности пылеулавливания не позволяют судить об эффективности ведения процесса при применении разных типов контактных устройств с соответствующими энергетическими затратами на его осуществление. Поэтому ввели следующий оценочный критерий:

$$Ec = \frac{\eta}{\eta_{min}} \cdot \frac{Eu}{Eu_{min}},$$

стигает максимума $Ec=1,006$ при $U_r=3$ м/с. Вихревая пакетная модифицированная насадка показывает уверенный рост критерия, который достигает максимума при $Ec=2,7$ при $U_r=3$ м/с. и снижается до $Ec=2,07$ при $U_r=4$ м/с. Полученные значения критерия эффективности позволяют выбирать наиболее оптимальный режим ведения процесса пылеулавливания при минимальных энергозатратах. Проведенные исследования показали, что вихревая пакетная, модифицированная насадка обладает рядом преимуществ перед другими контактными устройствами. Легкость масштабирования при переходе к аппаратам промышленного образца, так как в этом случае увеличивается лишь количество вихревых ячеек, наличие которых исключает проскок пыли в крупных пузырях газа, присущего аппаратам с псевдооживленным слоем орошаемой насадки. Низкое гидравлическое сопротивление аппарата при больших расходах газа, а также малые габариты при высокой производительности по газовой фазе.

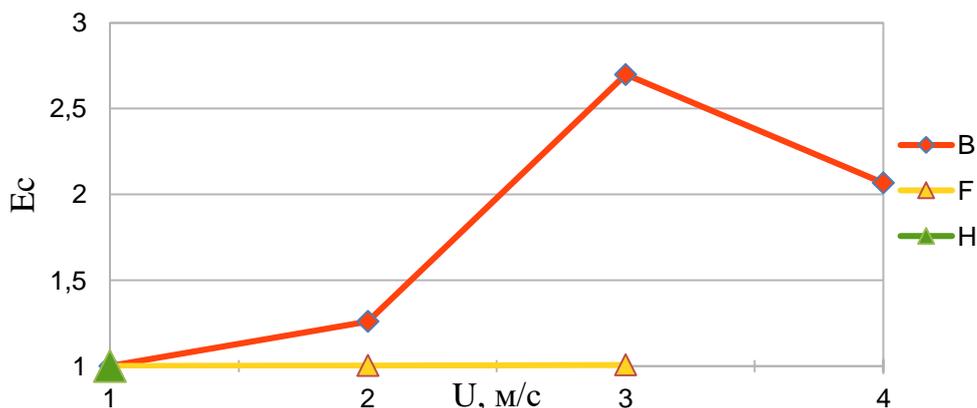


Рис.3. Зависимость критерия эффективности ведения процесса пылеулавливания от скорости газа и типа контактного устройства:

В - вихревая пакетная, модифицированная насадка $L=4,5 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с}$; **F** - псевдоожиженная шаровая насадка $L=4,5 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с}$; **H** - кольца Рашига $L=4,5 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с}$.

Fig. 3. Dependence of the efficiency criterion for conducting the dust collection process on the gas velocity and the type of contact device:

V - vortex batch, modified nozzle $L=4.5 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с}$; **F** - fluidized ball nozzle $L=4.5 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с}$; **H** - Raschig rings $L=4.5 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чагин О.В., Блиничев В.Н., Кравчик Я. Исследование процесса мокрого пылеулавливания в аппаратах разного конструктивного оформления. *Российский химический журнал*. 2018. Т. LXII, № 4. с. 13-18.
2. Назаров Г.Е., Кравчик Я., Блиничев В.Н., Чагин О.В. Влияние конструкции пылеулавливающего аппарата на предельную концентрацию орошающей суспензии. *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2000. Т. 43, № 2. С. 32-36.
3. Krawczyk J. Rozwoj mokrych metod odpylania gazow przemyslowych w swietle analizy wyników badan eksperymentalnych. *Politechnika Krakowska*. 2015. P. 192.
4. Повтарев И.А., Блиничев В.Н., Чагин О.В., Кравчик Я. Исследование зависимости гидравлического сопротивления насадочного слоя колонного оборудования. *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2006. Т. 49, № 12. С. 109-110.
5. Юренив В.Н., Лебедев П.Д. *Теплотехнический справочник*. М.: Энергия. 1976. 896 с.
6. Броунштейн Б.И., Щеголев В.В. *Гидродинамика, тепло- и массообмен в колонных аппаратах*. Л.: Химия. 1988. 336 с.
7. Полянский А.В., Блиничев В.Н., Чагин О.В., Кравчик Я. Оценка эффективности насадочных массообменных устройств. *Теоретические основы химической технологии*. 2017. Т. 51. № 3. С. 330-337.

REFERENCES

1. Chagin OV, Blinichev VN, Kravchik Ya. Investigation of the process of wet dust collection in devices of different design. *Russian chemical journal*. 2018. Vol. LXII, N 4. P. 13-18.
2. Nazarov G.E., Kravchik Y., Blinichev V.N., Chagin O.V. Influence of the design of the dust collecting apparatus on the limiting concentration of the irrigating suspension. *Proceedings of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology*. 2000. T. 43, N 2. P. 32-36.
3. Krawczyk J. Rozwoj mokrych metod odpylania gazow przemyslowych w swietle analizy wyników badan eksperymentalnych. *Politechnika Krakowska*. 2015. P. 192.
4. Povtarev IA, Blinichev VN, Chagin OV, Kravchik Ya. Investigation of the dependence of the hydraulic resistance of the packed bed of column equipment. *Proceedings of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology*. 2006. T. 49, N 12. P. 109-110.
5. Yurenev V.N., Lebedev P.D. *Heat engineering reference book*. M.: Energy. 1976. 896 p.
6. Braunstein B.I., Shchegolev V.V. *Hydrodynamics, heat and mass transfer in column apparatus*. L.: Chemistry. 1988. 336 p.
7. Polyansky AV, Blinichev VN, Chagin OV, Kravchik Ya. Evaluation of the effectiveness of packed mass transfer devices. *Theoretical foundations of chemical technology*. 2017. Vol. 51. N 3. P. 330-337.