УДК 66.048.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-3-238-65-67

*О. А. Залипаева, В. М. Яшук, С. Г. Поступаева, М. А. Мгарбел***ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТНО-ГАЗОВЫМ
ЭЖЕКТОРНЫМ АБСОРБЕРОМ****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: zalipaevaolga@yandex.ru

Рассматриваются вопросы интенсификации и оптимизации технологического режима жидкостно-газовых эжекторных абсорберов. Описывается метод оптимального управления такими абсорберами с помощью микропроцессорного контроллера и SCADA-системы.

Ключевые слова: абсорбционная очистка газов, жидкостно-газовый эжекторный абсорбер, оптимальное управление.

*O. A. Zalipaeva, V. M. Yaschuk, S. G. Postupaeva, M. A. Mgarbel***OPTIMAL CONTROL OF LIQUID-GAS EJECTOR ABSORBER****Volgograd State Technical University**

The issues of intensification and optimization of the technological regime of liquid-gas ejector absorbers are considered. The method for optimal control of such absorber using a microprocessor controller and SCADA-system is described.

Keywords: absorption gas cleaning, liquid-gas ejector absorber, optimal control.

Абсорбция является одним из наиболее распространенных методов улавливания газовых примесей, широко применяемым в различных отраслях промышленности, энергетике, металлургии, машиностроении для очистки газов.

Эффективным оборудованием, в котором можно реализовать данный процесс, являются жидкостно-газовые эжекторные абсорберы [1], представляющие собой вертикальные кожухотрубные аппараты, трубки которых являются камерами смешения эжекторов. Для обеспечения технологичности изготовления аппарата камеры смешения эжекторов имеют прямолинейную форму. С помощью насоса высокого давления в них из сопел соосно подается высокоскоростная струя абсорбента. За счет создаваемого на входе каждой из камер смешения разрежения в них вовлекается газ, который требуется очистить от примесей. В турбулентном потоке происходит смешение струи абсорбента и потока газа, окружающего струю, с последующей абсорбцией примесей из газовой фазы в жидкую. Выходящие из камер смешения потоки насыщенного абсорбента попадают в сепаратор, в котором происходит отделение насыщенного абсорбента и очищенного газа.

Камеры смешения абсорбера находятся внутри кожуха, через который может циркули-

ровать охлаждающий агент, что позволяет улучшить массопередачу внутри труб за счет увеличения движущей силы процесса абсорбции.

Для примера на рисунке приведена конструктивная схема экспериментального эжекторного абсорбера с одной камерой смешения [2], которая выполнена в виде трубки, помещенной в цилиндрический корпус поз. 1, через который может циркулировать захламленная вода, обеспечивая охлаждение камеры смешения поз. 4. В эжектор через сопло из верхней камеры поз. 3 под высоким давлением подается струя абсорбента. В нижней камере абсорбера имеется сепарационное пространство, из которого отводится очищенный газ и насыщенный целевым поглощенным компонентом абсорбент.

В штуцер А под высоким давлением подается абсорбент, в штуцер Б подводится газ, очищаемый от примесей, штуцер В используется для установки датчика измерения вакуума, штуцер Г – для отвода насыщенного абсорбента, штуцер Д – для отвода очищенного газа, штуцер Е – для установки датчика уровня, штуцера Ж₁ и Ж₂ – для подачи и отвода охлаждающей воды соответственно.

Применение эжекторных абсорберов возможно в типовых схемах абсорбционной очистки газов с применением типовых схем контроля и управления [3, 4].

Конструктивная схема экспериментального
эжекторного абсорбера:

1 – корпус; 2 – нижняя крышка; 3 – верхняя камера; 4 – камера
смешения эжектора; 5 – прокладка; 6–8 – болт, шайба, гайка

Использование микропроцессорных регуляторов позволяет реализовать каскадное управления по основным технологическим параметрам, определяющим качество очистки газа, например:

- регулирование подачи активного компонента (абсорбента) в зависимости от конечной концентрации примесей в выходящем потоке очищенного газа и уровня жидкости в сепараторе;
- регулирование давления на выходе эжектора, отбором жидкой и газовой фаз из сепаратора в определенном соотношении в зависимости от конечной концентрации примесей в выходящем потоке очищенного газа.

Для организации каскадного взаимодействия отдельных контуров регулирования целесообразно использовать средства SCADA-системы [4].

Интенсификация процесса абсорбционной очистки газов может осуществляться по следующим направлениям:

- определение оптимальных технологических параметров, обеспечивающих максимальную производительность при минимальных энергетических затратах на проведение процесса;
- разработка комбинированных технологических схем, в которых абсорбция применяется в сочетании с другими технологическими процессами, например, десорбция, ректификация, термодиффузия;
- проведение процесса под воздействием физических полей (ультразвукового, электрического, центробежного);
- применение различных химических веществ, воздействующих на поглотительную способность абсорбента;
- разработка новых конструкций аппаратов, обеспечивающих увеличение их производительности за счет существенного увеличения поверхности контакта фаз и коэффициентов массоотдачи;
- применение рециркуляционных схем взаимодействия фаз.

Эжекторные абсорберы достаточно хорошо подходят для реализации вышеперечисленных направлений интенсификации.

Возможность интенсификации массопередачи ограничена ростом гидравлического сопротивления и «захлебыванием» эжектора, вследствие чего обеспечение максимальной эффективности массообмена должно осуществляться без существенного роста гидравлического сопротивления, и, соответственно, энергозатрат на создание высокой скорости струи абсорбента на входе в камеру смешения эжектора.

Коэффициент эжекции $K_{\min}$, соответствующий минимальному массовому расходу абсорбента, может быть рассчитан по формуле:

$$K_{\min} = \frac{\rho_y}{\rho_x} \cdot \frac{y_H - y_K}{x_K^* - x_H}, \quad (1)$$

где ρ_y и ρ_x – плотность газовой фазы и абсорбента, соответственно; y_H и y_K – начальная и конечная концентрация примеси в газовой фазе; x_H – начальная концентрация примеси в абсорбенте; x_K^* – концентрация в насыщенном абсорбенте, соответствующая равновесному состоянию (определяется по точке пересечения, соответствующей конечной концентрации примеси в газовой фазе с кривой равновесия).

Оптимальный режим работы эжекторного абсорбера будет обеспечен таким значением коэффициента эжекции K , равному отношению

массового расхода жидкости к массовому расходу газа, при котором конечная концентрация примеси y_k в очищенном газе будет находиться в пределах допустимых технологическим регламентом.

Оптимальное управление будет заключаться в варьировании коэффициента эжекции K таким образом, чтобы энергозатраты на преодоление гидравлического сопротивления абсорбера, отнесенные к поглощенному в единицу времени количеству ключевого компонента G_m , принимали минимальные значения [5]

$$F_{opt} = \frac{\Delta P \cdot G}{G_m} \Rightarrow \min, \quad (2)$$

где ΔP – гидравлическое сопротивление эжекторного абсорбера; G – объемный расход насыщенного газа.

При проведении расчетов должен производиться соответствующий пересчет концентраций и расходов (мольных в объемных).

При аппаратной реализации оптимального управления с помощью соответствующих датчиков с преобразователями и контроллером измеряется значение технологических параметров и фиксируется SCADA-системой. Контроллер, согласно заложенным законам регулирования и параметрам настройки, вырабатывает управляющие воздействия по соответствующим контурам регулирования, а SCADA-системой выполняются расчет целевой функции и вычисли-

тельная процедура по одному из оптимизационных алгоритмов и корректируется значение коэффициента эжекции.

Корректировка режима производится только при уменьшении значения F_{opt} и сохранении текущих значений параметров, в пределах предусмотренных технологическим регламентом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Канищев, С. С. Повышение эффективности массообменных процессов путем применения жидкостно-газовых эжекторов / С. С. Канищев, В. М. Яшук // России – творческую молодежь : тез. докл. IX регион. науч.-практ. студ. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. Героя Советского Союза Маресьева А. П. (г. Камышин, 27–28 апр. 2016 г.). В 2 т. Т. 1 / ВолгГТУ, КТИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград, 2016. – С. 70–71.
2. Яшук, В. М. Экспериментальная установка для исследования работы жидкостно-газового струйного аппарата / В. М. Яшук, Д. А. Козлов // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 11(37) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – С. 5–8. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии»; вып. 1).
3. Рамм, В. М. Абсорбция газов / В. М. Рамм. – М. : Химия, 1976. – 655 с.
4. Втюрин, В. А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: учеб. пособие / В. А. Втюрин. – Санкт-Петербург, Санкт-Петерб. лесотехн. академ. им. С. М. Кирова, 2006. – 154 с.
5. Яшук, В. М. Оптимальное управление абсорбционной колонной / В. М. Яшук, О. А. Залипаева // Известия ВолгГТУ : межвуз. сб. науч. ст. № 13(100) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – С. 132–133. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 8).