

УДК 66.081.2

Н. А. Меренцов^а, А. В. Персидский^б, А. Б. Голованчиков^а, А. С. Гендлер^а, Д. А. Тезиков^в

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *АО «Федеральный научно-производственный центр „Титан-Баррикады“»*

^в *Волгоградская академия МВД РФ*

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАСАДОЧНЫМИ АБСОРБЦИОННЫМИ АППАРАТАМИ СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ, РАБОТАЮЩИМИ В РЕЖИМЕ ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых — кандидатов наук МК-1287.2020.8 «Моделирование процессов управления в массообменном экологическом и нефтегазоперерабатывающем оборудовании»

Представлен алгоритм программы автоматического адаптивного управления гидродинамическими режимами работы насадочных абсорбционных колонн, работающих в режиме эмульгирования. Рассмотрены основные преимущества искомого гидродинамического режима и программ автоматического адаптивного управления массообменными системами. Приведены основные преимущества и перспективы подобных систем распознавания и адаптивной гидродинамики в массообменных аппаратах селективной очистки газовых выбросов промышленных предприятий.

К л ю ч е в ы е с л о в а: очистка газовых выбросов, абсорбция газов, массообмен, сорбционные массообменные аппараты, насадочные блоки, гидродинамика, режим турбулизации, режим эмульгирования, система автоматического управления, идентификация технологических параметров.

Массообменные сорбционные системы очистки газовых выбросов являются неотъемлемой частью технологических линий химической, нефтехимической, нефтегазоперерабатывающей, строительной, металлургической, энергетической и смежных отраслей промышленности [1—9]. Процессы сорбции, абсорбции, адсорбции, ионного обмена, хемосорбции, десорбции лежат в основе экологических систем очистки вентиляционных выбросов, санитарной очистки газов промышленных предприятий, процессов водоподготовки, водоотведения и др. [3—9]. Сорбционные процессы позволяют почти полностью извлечь из жидко- и газофазных потоков извлекаемые целевые компоненты. В экологических процессах очистки жидко- и газофазных потоков приходится работать с малыми и сверхмалыми концентрациями улавливаемых веществ, что формирует повышенные требования к качеству работы массообменных систем. Наиболее распространенным типом аппаратов абсорбционной очистки газов являются насадочные колонные аппараты [10—26]. Они обладают рядом существенных преимуществ: высокая эффективность, широкий интервал устойчивой работы, сравнительно низкое гидравлическое сопротивление, простота конструкции, надежность и др. В насадочных блоках массообменных аппаратов могут быть реализованы гидродинамические режимы работы, существенно отличающиеся друг от друга по интенсивности протекающих диффузионных (массообменных) процессов и развиваемой поверхности контакта фаз продуктов массообмена. Наиболее эффективный из спектра гидродинамических режимов — режим эмульгирования, проявляется в узком

диапазоне соотношения расходов жидкости и газа, поэтому на сегодняшний день единственным способом долговременного его удержания является использование систем автоматизированного управления (САУ) процессами абсорбционной очистки газов. Причины эффективности режима эмульгирования — активно развиваемая и обновляемая поверхность контакта фаз, наивысшие показатели интенсивности диффузионных процессов в условиях инверсивного перемешивания продуктов массообмена и активной турбулентной диффузии вихрей потока газовой фазы в поток жидкого абсорбента в каналах насадочного блока, высокие показатели удерживающей способности насадочных блоков по жидкой и газовой фазам [24], возможность сокращения объема насадочного блока для снижения энергетических затрат [там же] и др. Указанные преимущества режима полностью соответствуют акцентированным требованиям, предъявляемым к системам абсорбционной селективной очистки газов промышленных предприятий.

Основным препятствием, не позволяющим типовым САУ долговременно поддерживать режим эмульгирования, является отсутствие методов и математических моделей, содержащих инструменты мгновенной количественной оценки гидродинамического режима работы аппарата. Авторами предложена математическая модель [26], базирующаяся на использовании индекса турбулизации при анализе фильтрационных кривых для мгновенной количественной оценки гидродинамического режима работы насадочных колонн и обнаружения (идентификации) режима эмульгирования.

Также авторами предложен алгоритм автоматизированной идентификации математической модели управления насадочным аппаратом абсорбционной очистки газов, названный автокалибровкой, аналоги которого представлены в работах [25—29]. Этот алгоритм позволяет, проводя в автоматическом режиме серию испытаний массообменной системы в области фильтрационных течений, классифицировать гидродинамические режимы работы, определять и сохранять в энергонезависимой памяти значения коэффициентов, входящих в математическую модель, на основе которой функционирует его САУ, и использовать их для расчета управляющих воздействий при работе массообменного аппарата в технологическом процессе.

Анализ объекта управления

Объектом управления является абсорбционный массообменный аппарат. Он имеет следующие особенности:

1. Малые допустимые конечные концентрации извлекаемого вещества в выходящем потоке газа.
2. Концентрация извлекаемого вещества может меняться во времени из-за влияния процессов, на других стадиях технологического процесса. Типовые массообменные системы абсорбционной очистки газов в силу инерции не в состоянии реагировать на резкие всплески концентрации извлекаемых веществ.
3. Нестационарность условий проведения процесса очистки газов по объемным расходам газовой фазы.
4. Непостоянство объемных и поверхностных свойств насадочных контактных элементов, обусловленное их засорением, износом и прочими факторами.

5. Большая инерционность по каналу управления концентрацией извлекаемого вещества.

В качестве промежуточной выходной величины, имеющей малую инерционность, введем характеристику гидродинамического режима работы массообменного аппарата, отражающую динамику развития турбулентного потока в насадочном блоке массообменного аппарата и развитие турбулентной диффузии в развитых гидродинамических режимах, — индекс турбулизации In_i , на основании которой предлагается идентифицировать нижние и верхние пределы искомых гидродинамических режимов (режима эмульгирования). Более подробно анализ полных фильтрационных кривых и индексов турбулизации рассмотрен в работах [30—32].

Цель управления — интенсификация процессов массообмена при абсорбционной очистке газов в условиях возмущающих воздействий, программное определение и устойчивое поддержание искомых гидродинамических режимов по фактическим значениям величин, измеряемым в ходе технологического процесса.

На рис. 1 представлен анализ процесса сорбционной очистки газовых выбросов как объекта управления.

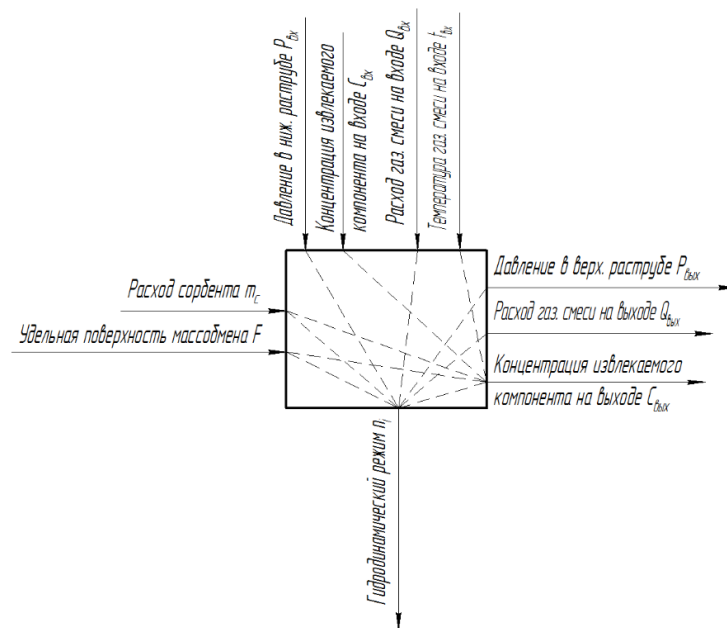


Рис. 1. Процесс сорбционной очистки газовых выбросов в виде объекта управления

Для достижения цели управления предлагается концепция управления массообменными процессами селективной очистки газовых выбросов, состоящая:

1) в выборе в качестве малоинерционной выходной величины показателя, характеризующего динамику развития турбулентного режима течения в насадочном блоке и полученного в ходе изучения опытных данных и анализа смежных фильтрационных кривых течений газовой фазы через насадочный блок при смене режимов орошения;

2) сведение задачи управления концентрацией извлекаемого компонента в выходящем из аппарата потоке газовой фазы к адаптивному управлению гидродинамическими режимами.

Аппроксимируя фильтрационные кривые $\Delta P / H = f(v_{\phi})$ в узких диапазонах скорости фильтрации (расходов сплошной газовой фазы в колонне) (рис. 2), определяются значения коэффициентов $K_{тр}$ и In_i . Полученные значения индексов турбулизации In_i , отражающих градиенты нарастания фильтрационной кривой для ряда интервалов по возрастающей скорости фильтрации, служат показателем меры интенсивности развития составляющей общего градиента давления за счет сил инерции, обусловленных возрастающей турбулизацией потока газа и развивающейся турбулентной диффузией вихрей потока газовой фазы в поток жидкости (жидкого абсорбента), движущейся в каналах массообменного насадочного блока в режимах турбулизации, развитой турбулизации и эмульгирования. Работа массообменной колонны в интенсивных гидродинамических режимах развитой турбулизации и эмульгирования сопровождается существенным ростом удерживающей способности, т. е. жидкость (абсорбент) аккумулируется в массообменном насадочном блоке, что сопровождается всплеском общего градиента давления. Именно в этих режимах наблюдается активизация турбулентной диффузии вихрей потока газовой фазы в поток жидкости, удерживаемой в насадочном блоке, что сопровождается инверсивным перемешиванием продуктов массообмена, резким развитием и обновлением поверхностей контакта фаз, а также интенсификацией тепло- и массообменных процессов. Данные интенсивные режимы представляется возможным отследить и классифицировать по индексам турбулизации In_i , т. е. всплескам инерционных составляющих структур фильтрационных течений (всплескам градиента давления) [30—32], при снятии опытных данных смежных фильтрационных кривых для ряда режимов орошения насадочных блоков массообменных аппаратов (рис. 2).

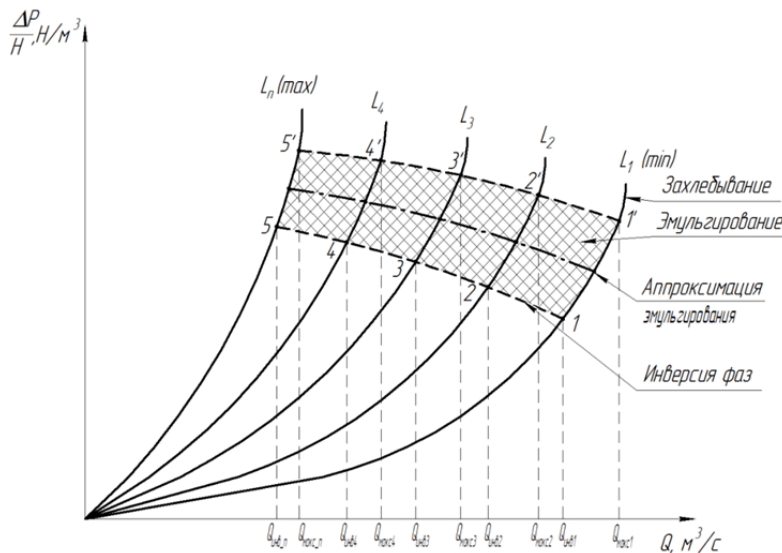


Рис. 2. Графическая интерпретация получения закона управления для режима эмульгирования при анализе смежных фильтрационных кривых на стадии автокалибровки

САУ процессом абсорбционной очистки газов

На рис. 3 представлена схема САУ процесса селективной очистки газовых выбросов с помощью насадочного абсорбционного аппарата.

Программируемый логический контроллер ПЛК выполняет программы автокалибровки и управления, получая информацию с датчиков и посылая управляющие сигналы исполнительным устройствам. Термоанемометрический датчик (расходомер) Д1 измеряет скорость (расход) газового потока в трассе газопровода, датчики Д2 и Д5 измеряют концентрацию извлекаемого компонента во входном и в выходном воздуховодах (патрубках массообменного аппарата) соответственно, а датчики давления Д3 и Д4 определяют гидравлическое сопротивление насадочного блока, регистрируя давление газа над и под насадочным блоком.

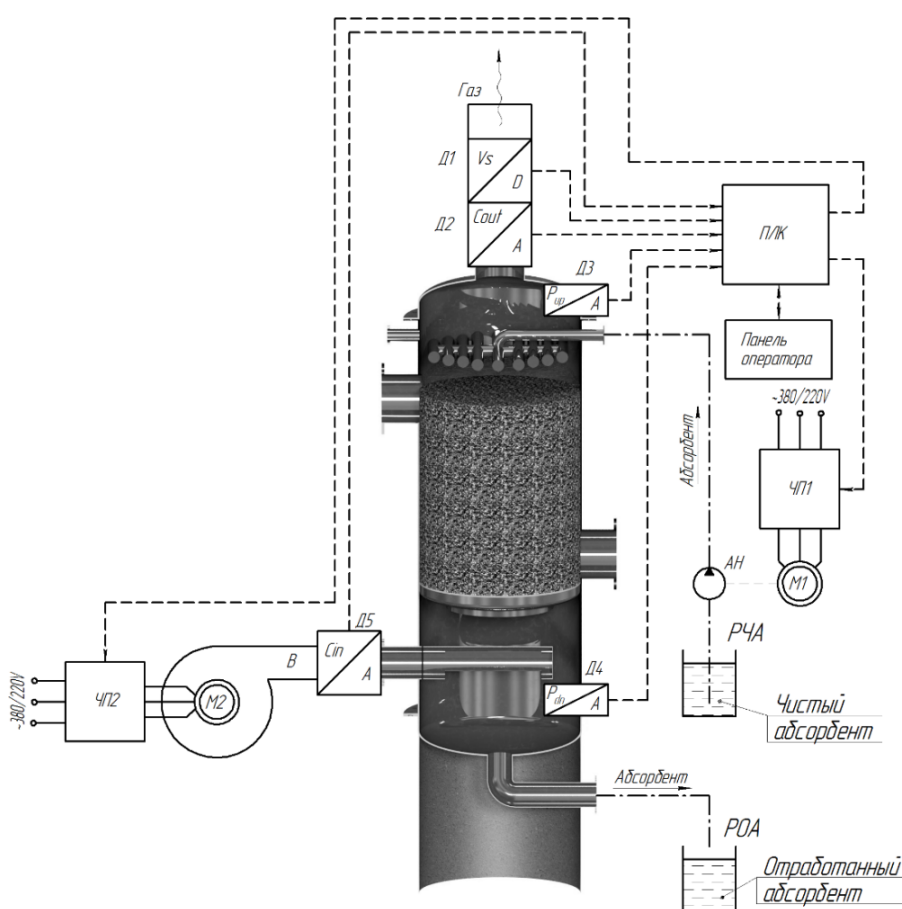


Рис. 3. Схема АСУ насадочным абсорбционным аппаратом селективной очистки газовых выбросов

Частотный преобразователь ЧП1 управляет насосом подачи чистого абсорбента АН из резервуара РЧА, а отработанный абсорбент собирается в резервуаре РОА, откуда отправляется на регенерацию. Для управления расходом газовой фазы служит частотный преобразователь ЧП2, управляющий частотой вращения газового нагнетателя (вихревого турбокомпрессора).

На рис. 4 представлен алгоритм программы автоматического управления абсорбционным аппаратом селективной очистки газов. Его циклическое выполнение обеспечивает реакцию (отклик) аппарата на изменение концентрации извлекаемого компонента во входящем газовом потоке, колебания расхода газовой фазы, а также устойчивое поддержание режима эмульгирования. Выполнение алгоритма начинается с задания оператором целевых показателей работы аппарата: максимально допустимой концентрации извлекаемого компонента в выходящем из аппарата потоке газовой фазы, а также величины минимально допустимого расхода газа через массообменный аппарат. Последний параметр необходим для ограничения поисков режимных диапазонов работы насадочных блоков массообменного аппарата.

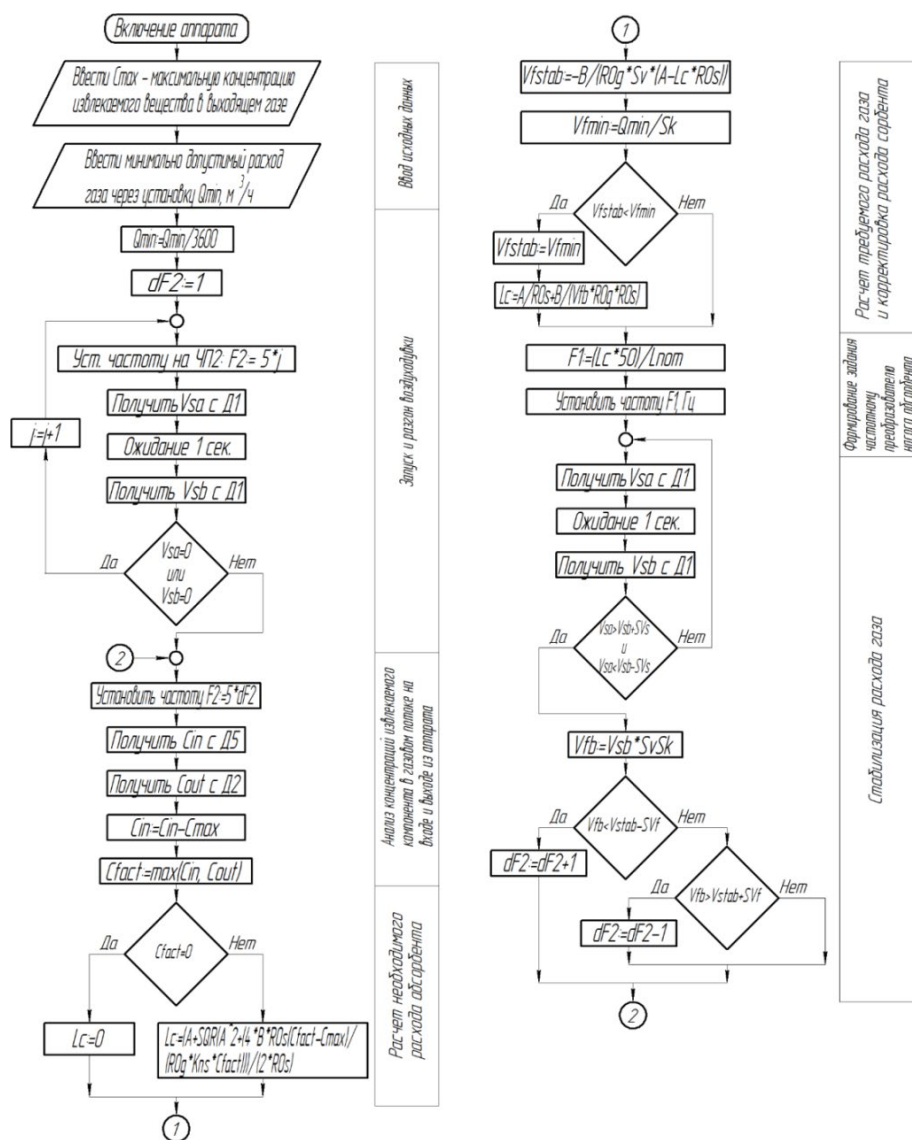


Рис. 4. Алгоритм работы САУ процессом абсорбционной очистки газовых выбросов

На первом этапе программа запускает воздуходувку и постепенно увеличивает ее частоту вращения, пока скорость газового потока по датчику Д1 не станет ненулевой. Это делается с целью обеспечения омывания потоком газовой фазы, содержащим извлекаемый компонент, датчиков концентрации Д3 и Д4.

На следующем этапе программа получает с датчиков Д2 и Д5 значения концентрации извлекаемого компонента в газовом потоке и выбирает из них значение, которое будет использоваться в расчете управляющего воздействия. Затем программа, используя полученное значение концентрации, а также значения величин, определенные в процессе автокалибровки, рассчитывает объемный расход абсорбента, необходимый для снижения концентрации извлекаемого компонента в выходящем газовом потоке до заданной величины, а также частоту питания насоса, подающего поток жидкого абсорбента. Для этого используется основное уравнение предложенной авторами математической модели, которое в обозначениях, принятых в программе, имеет вид

$$Lc = \frac{A + \sqrt{A^2 + \frac{4 \cdot B \cdot ROs (C_{\text{fact}} - C_{\text{max}})}{ROg \cdot Kns \cdot C_{\text{fact}}}}}{2 \cdot ROs}, \quad (1)$$

где A, B – коэффициенты аппроксимации диапазона искомого гидродинамического режима (режима эмульгирования); ROs – плотность абсорбента, $\text{кг}/\text{м}^3$; ROg – средняя плотность газовой смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$; Kns – коэффициент насыщения абсорбента, отражающий, какая часть извлекаемого компонента должна переходить в абсорбент за единицу времени; C_{max} – максимально допустимая концентрация извлекаемого компонента в выходящем газовом потоке, $\text{кг}/\text{м}^3$; C_{fact} – фактическое значение концентрации по показаниям датчиков, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Далее программа вычисляет требуемый расход газа при найденном значении расхода абсорбента для устойчивой работы массообменного аппарата в режиме эмульгирования либо реализуется программа адаптации режима орошения насадочных блоков при колебаниях расхода газовой фазы (в зависимости от условий протекания технологических процессов и задачи программы управления). Для этого также используется уравнение математической модели, которое в обозначениях, принятых в программе, имеет вид

$$V_{f \text{ stab}} = \frac{-B}{ROg \cdot S_v (A - Lc \cdot ROs)}, \quad (2)$$

где S_v – площадь поперечного сечения воздуховода в месте установки датчика скорости газового потока, м^2 . Если расход газовой фазы ниже заданного минимально допустимого значения, он устанавливается равным этому значению и пересчитывается подача абсорбента.

Затем программа получает с датчика Д1 значение фактической скорости (расхода) газового потока и рассчитывает частоту питания воздуходувки, которую необходимо обеспечить для ее стабилизации около значения $V_{f \text{ stab}}$.

Следует отметить, что адаптивное управление режимами работы на базе САУ осуществляется при текущем анализе начальных и конечных концен-

траций улавливаемых веществ (продуктов массообмена) в потоке газовой фазы и жидком абсорбенте.

Заключение

Рассмотренная САУ позволяет поддерживать постоянную работу системы в режиме эмульгирования, при этом реагировать на изменение концентрации извлекаемого компонента в потоке газовой фазы для его эффективно улавливания. Поскольку математическая модель управления гидродинамическими режимами получена из совместного решения уравнения материального баланса и аппроксимирующих зависимостей анализа смежных фильтрационных кривых в искомым режимных диапазонах, таким способом доступно управление в широких режимных диапазонах скоростей фильтрации, так как уравнение материального баланса справедливо для всех гидродинамических режимов работы массообменных насадочных колонн.

В дополнение к рассмотренной САУ следует отметить перспективные направления совершенствования насадочных блоков массообменных аппаратов, а именно применение динамических насадочных элементов [25, 26, 33—36].

За счет проявления динамических свойств насадочных контактных элементов повышается степень взаимного перемешивания продуктов массообмена, развивается вихреобразование и турбулентная диффузия вихрей потока газовой фазы в поток жидкого абсорбента, интенсифицируются тепло- и массообменные процессы, развиваются подвижные поверхности контакта фаз и существенно расширяются режимные диапазоны эффективной работы массообменных колонн [33—36]. Указанные эффекты проявляются в пределах каждого отдельного насадочного элемента и во всем объеме насадочного блока. Развитие данного направления, за счет резкой активизации турбулизации фаз, интенсификации протекающих гидромеханических и диффузионных процессов, способно сделать массообменные системы более компактными, устойчивыми в широких режимных диапазонах, соответственно, менее инерционными и подлежащими более качественной и гибкой автоматизированной идентификации и адаптивному автоматическому управлению.

Таким образом, открывается возможность устойчивого поддержания высокоэффективного гидродинамического режима эмульгирования в насадочных блоках массообменных аппаратов. Также за счет предварительной автокалибровки массообменной системы доступна более детальная классификация гидродинамических режимов работы насадочных блоков массообменных колонн в широких диапазонах расходов жидкой и газовой фаз, создание подклассификаций режимов, обладающих различным соотношением энергозатрат к эффективности (например, на переходный, развитый переходный, ранний турбулентный, турбулентный, развитый турбулентный, инверсивный, раннего эмульгирования, развитого эмульгирования и более детально). Такого рода детализация при анализе фильтрационных кривых и гидродинамических режимов позволяет системам управления удерживать процесс абсорбционной очистки газов в искомым (рабочих) заданных пределах расходов газовых фаз, плотностей орошения $L_{\min} — L_{\text{opt}} — L_{\max}$, что повышает энергоэффективность абсорбционных массообменных систем и способно оказать существенный энерго- и ресурсосберегающий эффект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимонин А. С., Божко Г. В., Борщев В. Я., Гусев Ю. И. Оборудование нефтегазопереработки, химических и нефтехимических производств : кн. 2 / Под общ. ред. А. С. Тимонина. М. : Инфра-Инженерия, 2019. 476 с.
2. Система централизованного сбора, переработки и утилизации отработанных травильных и гальванических растворов и шламов / Н. А. Меренцов, С. А. Бохан, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский, В. А. Балашов // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2018. № 53(72). С. 123—131.
3. Николаева Л. А., Хуснутдинов А. Н. Очистка газовых выбросов предприятий химической промышленности карбонатным шламом // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 8. С. 14—18.
4. Использование техногенных отходов для очистки дымовых газов тепловых устройств от вредных веществ / А. М. Погодаев, А. Ф. Шиманский, Ю. И. Сторожев, Я. В. Казанцев, В. С. Злобин // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 6. С. 4—7.
5. Очистка газовых выбросов от оксидов азота с использованием торфо-щелочного сорбента / В. А. Попова, М. В. Енютина, Л. В. Попова, О. Н. Филимонова, В. И. Корчагин, П. С. Репин // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 3. С. 4—9.
6. Носырев М. А., Комляшев Р. Б., Ильина С. И., Кабанов О. В. Очистка газовых выбросов от диоксида серы на промышленных предприятиях // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 8. С. 24—27.
7. Беккер В. Ф., Киссельман И. Ф., Садырева Ю. А. Разработка эффективных аппаратов для очистки газов // Математические методы в технике и технологиях — ММТТ. 2014. № 7(66). С. 47—50.
8. Беккер В. Ф., Киссельман И. Ф. Очистка промышленных газов в абсорберах с вращающейся подвижной насадкой // Экология и промышленность России. 2010. № 1. С. 18—21.
9. Перспективы использования промышленных отходов машиностроительных предприятий для решения экологических проблем строительной отрасли / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, В. Н. Лебедев, А. Г. Карасев, А. Б. Голованчиков // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 182—195.
10. Насадки массообменных колонн / Б. А. Сокол и др. ; под ред. Д. А. Баранова. М. : Инфохим, 2009. 358 с.
11. Контактные насадки промышленных тепломассообменных аппаратов / А. М. Каган и др. ; под ред. Лаптева. Казань : Отечество. 2013. 454 с.
12. Дмитриев А. В., Мадышев И. Н., Дмитриева О. С., Николаев А. Н. Исследования диспергирования жидкости и газа в контактных устройствах с увеличенным диапазоном устойчивой работы // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 3. С. 12—15.
13. Мадышев И. Н., Дмитриева О. С., Дмитриев А. В. Перспективы использования струйно-барботажных контактных устройств для повышения энергоэффективности массообменных аппаратов // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 7. С. 36—39.
14. Дмитриев А. В., Макушева О. С., Калимуллин И. Р., Николаев А. Н. Вихревые аппараты для очистки крупнотоннажных газовых выбросов промышленных предприятий // Экология и промышленность России. 2012. № 1. С. 4—7.
15. Laptev A. G., Farakhov T. M., Afanas'ev E. P. Comparative thermohydraulic efficiency of processes in channels with chaotic packing // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2018. Vol. 52. No. 5. Pp. 853—858.
16. Dmitriev A. V., Dmitrieva O. S., Madyshv I. N., Nikolaev A. N. Efficiency of the Contact Stage of a Jet-Film Device During Rectification of Ethylbenzene-Styrene Mixture // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53. No. 7-8. Pp. 501—507.
17. Farakhov T. M., Laptev A. G. Modeling of processes of gas cooling by contact with a liquid and updating of column apparatuses // Chemical and Petroleum Engineering. 2019. Vol. 55. No. 3-4. Pp. 282—289.
18. Dmitriev A. V., Dmitrieva O. S., Madyshv I. N. Optimal Designing of Mass Transfer Apparatuses with Jet-Film Contact Devices // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. Vol. 53. No. 7-8. Pp. 430—434.
19. Dmitriev A. V., Madyshv I. N., Dmitrieva O. S. Cleaning of industrial gases from aerosol particles in apparatus with jet-film interaction of phases // Ecology and Industry of Russia. 2018. Vol. 22. No. 6. Pp. 10—14.

20. *Laptev A. G., Farakhov T. M.* Mathematical model of mass transfer in randomly packed columns with phase maldistribution // *Journal of Engineering Thermophysics*. 2019. Vol. 28. No. 3. Pp. 392—399.
21. *Madyshev I. N., Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V., Nikolaev A. N.* Study of Fluid Dynamics of Mass-Transfer Apparatuses Having Stream-Bubble Contact Devices // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2016. Vol. 52. No. 5-6. Pp. 299—304.
22. *Golovanchikov A. B., Balashov V. A., Merentsov N. A.* The filtration equation for packing material // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2017. Vol. 53. No. 1-2. Pp. 10—13.
23. *Madyshev I. N., Dmitrieva O. S., Dmitriev A. V., Nikolaev A. N.* Assessment of Change in Torque of Stream-Bubble Contact Mass Transfer Devices // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2015. Vol. 51. No. 5-6. Pp. 383—387.
24. *Голованчиков А. Б., Меренцов Н. А., Качанов А. В.* Моделирование процесса абсорбции в насадочной колонне, работающей в режиме эмульгирования // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25. № 3. С. 24—29.
25. *Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Персидский А. В., Лебедев В. Н.* Моделирование процессов управления в экологическом массообменном оборудовании : моногр. Волгоград : ВолГТУ, 2020. 188 с.
26. *Меренцов Н. А., Голованчиков А. Б., Персидский А. В., Топилин М. В.* Моделирование процессов управления в нефтегазоперерабатывающем массообменном оборудовании : моногр. Волгоград : ВолГТУ, 2021. 212 с.
27. *Меренцов Н. А., Персидский А. В., Лебедев В. Н., Голованчиков А. Б.* Автоматическое управление режимами работы насадочных аппаратов селективной очистки газовых выбросов // *Экология и промышленность России*. 2020. Т. 24. № 2. С. 10—16.
28. *Меренцов Н. А., Персидский А. В., Гендлер А. С., Голованчиков А. Б.* Совершенствование систем газоочистки производств стройматериалов за счет новой методики пуска наладочных работ промышленных насадок абсорберов // *Вестн. ВолГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2021. Вып. 2(83). С. 110—125.
29. *Меренцов Н. А., Персидский А. В., Гендлер А. С., Голованчиков А. Б.* Адаптивное управление режимами работы насадочных абсорберов систем газоочистки предприятий строительной индустрии // *Вестн. ВолГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2021. Вып. 3(84). С. 234—253.
30. Структура фильтрационной кривой и способы ее аппроксимации. Часть 2. Верхний предел применения закона Дарси / Н. А. Меренцов, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков, М. В. Топилин, А. В. Персидский // *Вестн. Тамбовского гос. техн. ун-та (Вестн. ТГТУ)*. 2021. Т. 27. № 2. С. 245—254.
31. Структура фильтрационной кривой и способы ее аппроксимации. Часть 3. Уравнения для аппроксимации фильтрационной кривой / Н. А. Меренцов, В. А. Балашов, А. Б. Голованчиков, М. В. Топилин, А. В. Персидский // *Вестн. Тамбовского гос. техн. ун-та (Вестн. ТГТУ)*. 2021. Т. 27. № 3. С. 401—414.
32. Оценка интенсивности развития турбулизации в тепломассообменных насадочных контактных устройствах для селективной очистки газовых выбросов и испарительного охлаждения промышленной оборотной воды / Н. А. Меренцов, А. Б. Голованчиков, В. А. Балашов, В. Н. Лебедев, А. В. Персидский // *Вестн. ВолГАСУ. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2020. Вып. 2(79). С. 245—254.
33. *Микуленок И. О.* Классификация конструкций массообменных колонн с подвижной насадкой (обзор патентов) / И.О. Микуленок // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2021. № 4. С. 44—47.
34. *Носырев М. А., Комляшев Р. Б., Ильина С. И.* Расчет гидравлического сопротивления и удерживающей способности в абсорберах с псевдооживленной насадкой // *Экология и промышленность России*. 2013. № 7. С. 37—41.
35. *Носырев М. А., Тертугов Г. В., Ильина С. И., Вешняков А. В.* Исследование гидравлики в абсорбционных аппаратах с псевдооживленной насадкой // *Успехи в химии и химической технологии*. 2012. Т. 26. № 1(130). С. 108—112.
36. *Беккер В. Ф., Киссельман И. Ф., Садырева Ю. А.* Эффективность очистки абгазов в абсорберах с вращающейся подвижной насадкой // *Математические методы в технике и технологиях — ММТТ*. 2013. № 4. С. 37—39.

© Меренцов Н. А., Персидский А. В., Голованчиков А. Б., Гендлер А. С., Тезиков Д. А., 2022

Поступила в редакцию
в сентябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Автоматическое управление насадочными абсорбционными аппаратами селективной очистки газов, работающими в режиме эмульгирования / Н. А. Меренцов, А. В. Персидский, А. Б. Голованчиков, А. С. Гендлер, Д. А. Тезиков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 4(89). С. 198—208.

Об авторах:

Меренцов Николай Анатольевич — канд. техн. наук, доц. каф. процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; steeple@mail.ru, pahp@vstu.ru

Персидский Александр Владимирович — инженер-конструктор, АО «ФНПЦ „Титан-Баррикады“». Российская Федерация, 400071, г. Волгоград; a-persidsky@yandex.ru

Голованчиков Александр Борисович — д-р техн. наук, проф., проф. каф. процессов и аппаратов химических производств, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28; pahp@vstu.ru

Гендлер Александр Сергеевич — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр-т Ленина, 28

Тезиков Дмитрий Александрович — старший преподаватель каф. физической подготовки, Волгоградская академия МВД России. Российская Федерация, 400075, г. Волгоград, ул. Историческая, 130; volakdm@va-mvd

Nikolai A. Merentsov^a, Aleksandr V. Persidskiy^b, Aleksandr B. Golovanchikov^a, Aleksandr S. Gendler^a, Dmitry A. Tezikov^c

^a *Volgograd State Technical University*

^b *JSC Federal Scientific and Production Centre "Titan-Barricady"*

^c *Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation*

AUTOMATIC CONTROL OF PACKED ABSORBERS FOR SELECTIVE GAS PURIFICATION OPERATING IN THE EMULSIFICATION MODE

The work was supported by the grant of the President of the Russian Federation for young scientists - candidates of sciences MK-1287.2020.8 "Modeling of control processes in mass transfer environmental and oil and gas processing equipment"

Algorithm of program of automatic adaptive control of hydrodynamic modes of operation of packed absorption columns operating in emulsification mode is presented. The main advantages of the desired hydrodynamic mode and programs of automatic adaptive control of mass exchange systems are considered. The main advantages and prospects of such recognition systems and adaptive hydro-dynamics in mass exchange devices for selective cleaning of gas emissions of industrial enterprises are presented.

Key words: gas emission cleaning, gas absorption, mass exchange, sorption mass exchange apparatus, packing units, hydrodynamics, turbulization mode, emulsification mode, automatic control system, identification of process parameters.

For citation:

Merentsov N. A., Persidskiy A. V., Golovanchikov A. B., Gendler A. S., Tezikov D. A. [Automatic control of packed absorbers for selective gas purification operating in the emulsification mode]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2022, iss. 4, pp. 198—208.

About authors:

Nikolai A. Merentsov — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; steeple@mail.ru, pahp@vstu.ru

Aleksandr V. Persidskiy — Design engineer, Titan-Barrikady. Volgograd, 400071, Russian Federation; a-persidskiy@yandex.ru

Aleksandr B. Golovanchikov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; pahp@vstu.ru

Aleksandr S. Gendler — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 28, Lenina Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation

Dmitry A. Tezikov — Senior Lecturer, Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 130, Istoricheskaya st., Volgograd, 400075, Russian Federation; volakdm@va-mvd