

August 2019

Cleaning gas emissions from carbon dioxide

Bakhronov Khashim Shayimovich

Navoi State Mining Institute, Uzbekistan, bahronav@mail.ru

Akhmatov Abdumalik Abduvakhobovich

Navoi State Mining Institute, Uzbekistan, a.a.axmatov@gmail.com

Ganieva Sabokhat Uktamovna

Navoi State Mining Institute, Uzbekistan, sharofat.sharopova@mail.ru

Suyarova Hilola Hakimovna

Navoi State Pedagogical Institute, Uzbekistan, hilola_suyarova@rambler.ru

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/cce>

 Part of the [Materials Science and Engineering Commons](#)

Recommended Citation

Khashim Shayimovich, Bakhronov; Abdumalik Abduvakhobovich, Akhmatov; Sabokhat Uktamovna, Ganieva; and Hilola Hakimovna, Suyarova (2019) "Cleaning gas emissions from carbon dioxide," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2019 : No. 3 , Article 36.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/cce/vol2019/iss3/36>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

CLEANING GAS EMISSIONS FROM CARBON DIOXIDE

Khashim Shayimovich BAKHRONOV¹ (*bahronav@mail.ru*), **Abdumalik Abduvakhobovich AKHMATOV¹** (*a.a.axmatov@gmail.com*), **Šabokhat Uktamovna GANIEVA¹** (*sharofat.sharopova@mail.ru*), **Hilola Hakimovna SUYAROVA²** (*hilola_suyarova@rambler.ru*)
¹Navoi State Mining Institute, Uzbekistan
²Navoi State Pedagogical Institute, Uzbekistan

The description of a pilot plant and results of a research of intensity of a heat mass transfer are provided and hydraulic resistance at various initial concentration of the absorbed gas and relations of an expense of the liquid absorber to a consumption of gas mixture. It is established that use of water as the absorber of carbon dioxide doesn't provide necessary effectiveness of process. At absorption of carbon dioxide from an air with an aqueous solution of monoethanol amine in the hollow vortex device, with increase in concentration of CO₂ (carbon dioxide) in steam-and-gas mixture on an entrance to the device the effectiveness of the device significantly decreases and increases with the gain in the relation of mass flows of liquid and gas phases. It is noted that vortex devices are 3-5 times more effective in comparison with nozzle ones, by 2-3 times more in comparison with dish-shaped devices.

Keywords: gas purification, vortex scrubber, parameters of a vortex generator, effectiveness.

ОЧИСТКА ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Хошим Шайимович БАХРОНОВ¹ (*bahronav@mail.ru*), **Абдумалик Абдувахобович АХМАТОВ¹** (*a.a.axmatov@gmail.com*), **Шабохат Уктамовна ГАНИЕВА¹** (*sharofat.sharopova@mail.ru*), **Хилола Хакимовна СУЯРОВА²** (*hilola_suyarova@rambler.ru*)
¹Навоийский государственный горный институт, Узбекистан
²Навоийский государственный педагогический институт, Узбекистан

Приведены описание опытной установки и результаты исследования интенсивности теплообмена и гидравлического сопротивления при различных начальных концентрациях поглощаемого газа и отношениях расхода жидкого поглотителя к расходу газовой смеси. Установлено, что использование воды в качестве поглотителя диоксида углерода не обеспечивает необходимую эффективность процесса. При поглощении диоксида углерода из воздуха водным раствором моноэтаноламина в полом вихревом аппарате с увеличением концентрации в газо-воздушной смеси на входе в аппарат эффективность аппарата существенно снижается и возрастает с увеличением отношения массовых расходов жидкой и газовой фаз. Отмечается, что вихревые аппараты эффективнее в 3-5 раза по сравнению с насадочными, в 2-3 раза по сравнению с тарельчатыми аппаратами.

Ключевые слова: газоочистка, вихревой скруббер, параметры завихрителя, эффективность.

CHI QINDIGAZLARNI UGLERODTO`RTOKSIDIDANTOZALASH

Xashim Shayimovich BAKHRONOV¹ (*bahronav@mail.ru*), **Abdumalik Abduvakhobovich AXMATOV¹** (*a.a.axmatov@gmail.com*), **Šabokhat Uktamovna GANIEVA¹** (*sharofat.sharopova@mail.ru*), **Hilola Hakimovna SUYAROVA²** (*hilola_suyarova@rambler.ru*)
¹Navoiy Davlat konchilik instituti, O'zbekiston
²Navoiy Davlat pedagogikainstituti, O'zbekiston

Tajriba qurilmasining yozuvi va yutiladigan gazning turli boshlang'ich kontsentratsiyalari va suyuq yutuvchi sarfining gaz aralashmasi sarfiga nisbatlaridagi issiqlik-massaalmashinish jadalligi va gidravlik qarshiliklar tadqiqotlari natijalari keltirilgan. Suvdan karbonat angidridini yutuvchi sifatida foydalanish jarayonining zarur samaradorligini ta'minlay o'lmasligi aniqlangan. Ichi bu sh'uyurmali apparatda khavodagi karbon dioksidini monoetanolaminning suvli eritmasiga yuttirishda gaz-khavo aralashmasi tarkibidagi CO₂ ning apparatga kirishdagi kontsentratsiyasi oshishi bilan apparatning samaradorligi ancha kamayadi va suyuq va gaz fazalarning massa sarflarining nisbati oshishi bilan u'sadi. Uyurmali apparatlar nasadkali apparatlarga nisbatan 3-5, tarelkali apparatlarga nisbatan 2-3 marta samaraliroq ekanligi qayd etilgan.

Kalit so'zlar: gazlarni tozalash, uyurmali skrubber, fyantirgichning parametrlari, samaradorlik.

Введение

Проблема интенсификации процессов тепло-массообмена и химических превращений в двух и трехфазных средах является чрезвычайно актуальной для многих технологий. Способы решения рассматриваемой проблемы могут быть различными, тем не менее, все они основаны на увеличении интенсивности межфазного взаимодействия за счет увеличения поверхности контакта фаз, повышения скорости относительного движения фаз, турбулизации локальных течений у поверхностей раздела фаз.

Одним из способов интенсификации взаимодействия многофазных систем является осуществление контакта фаз в центробежном поле. За счет вращения в многофазном слое возникают значительные центробежные силы, что обеспечивает высокую дисперсность и устойчивость многофазной системы, большие удельные поверхности контакта и относительные скорости фаз. Существование развитой, мгновенно обновляющейся поверхности контакта фаз в аппарате с вращающимся газожидкостным слоем делает возможным интенсификацию процессов тепло-

массопереноса. В вихревом аппарате достигается весьма высокая эффективность очистки - 98-99 % и выше. Аппарат может применяться для очистки газов с температурой до 700°C. В вихревом скруббере не наблюдается износа внутренних стенок аппарата, что связано с особенностями его воздушного режима. Аппарат более компактен, чем другие аппараты для очистки газа. Несмотря на то, что принципы конструирования вихревых аппаратов были сформулированы достаточно давно, они не находили широкого использования по ряду причин. Среди последних можно отметить как недостаточную изученность характеристик их работы и отсутствие научно обоснованных методов расчета, так и незаинтересованность предприятий и ведомств в организации качественной очистки промышленных газовых выбросов. Многие вопросы работы вихревых скрубберов в настоящее время не исследованы. Поэтому исследование процессов в вихревых скрубберах и разработка инженерных методов расчета является актуальной научной и инженерной задачей.

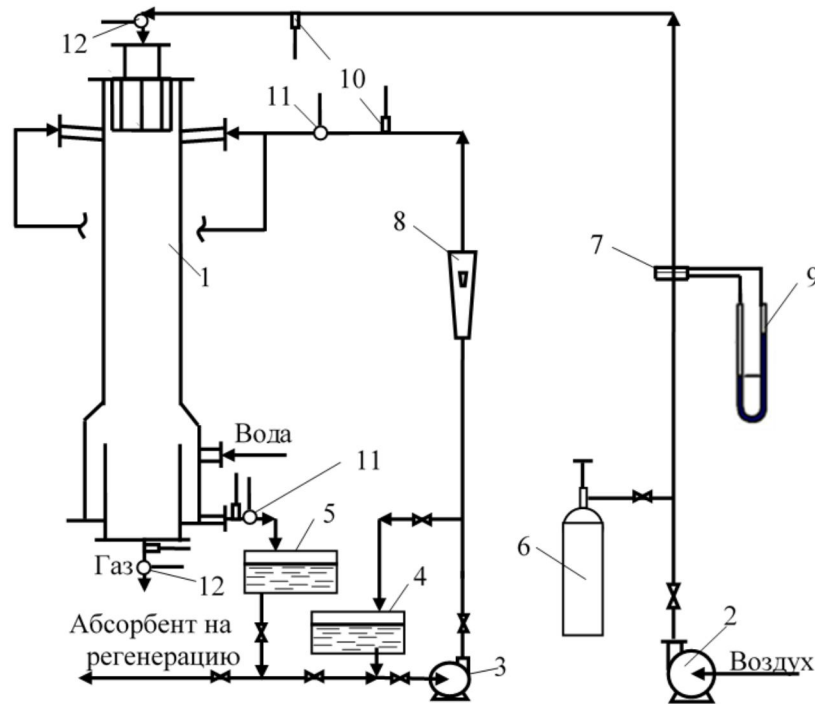


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки:

1 - вихревой аппарат; 2 - высоконапорный вентилятор; 3 - насос; 4 - емкость свежего поглотителя; 5 - емкость отработанного поглотителя; 6 - баллон со сжиженным CO₂; 7 - расходомер газовой фазы; 8 - расходомер поглотителя; 9 - дифференциальный манометр; 10 - термометры; 11 - точки отбора проб поглотителя; 12 - точки отбора проб газовой фазы.

Основным элементом вихревого скруббера является вихревая камера. В вихревом аппарате реализован «мокрый» способ очистки газовых выбросов, который позволяет улавливать частицы диаметром менее 10 мкм и очистить от вредных газовых примесей. Высокая эффективность вихревого скруббера обеспечивается развитой поверхностью контакта фаз, возникновением относительных скоростей фаз, интенсивным перемешиванием и высокой дисперсностью вращающегося газожидкостного слоя.

Условием эффективной работы аппарата является организация однородного, покрывающего всю внутреннюю поверхность вихревой камеры газожидкостного слоя, исключающего возможность проскока газа без контакта с жидкостью.

Эффективность работы вихревого скруббера, его гидродинамическое сопротивление, каплеунос, степень забивания твердыми осадками зависят от совершенства конструкции и главным образом от устройства завихрителя.

Методы исследования

Для качественной мокрой очистки промышленных пылегазовоздушных выбросов (промышленных газов) от твердых частиц и вредных газовых загрязнений разработан полый вихревой аппарат с простым по конструкции завихрителем [1]. Предлагаемый завихритель позволяет более эффективно закручивать поток текучей среды при небольших значениях гидравлического сопротивления благодаря равно-

мерному и плавному уменьшению сечения и изменению направления движения воздушного потока в двух каналах. В данном завихрителе потока с целью увеличения степени крутки, каналы для прохода среды имеют форму эвольвенты, в которых создается большая угловая скорость потока.

Принцип работы вихревого аппарата заключается в образовании закрученного газожидкостного потока с последующим разделением фаз в поле центробежных сил. Наличие жидкой фазы позволяет осуществить процесс очистки пылегазовоздушных выбросов (промышленного газа) от крупных и мелких (мелкодисперсных) частиц пыли. Поток пылегазовоздушных выбросов поступает в корпус вихревого аппарата через верхний патрубок. Проходя через завихритель газ получает спиральное (вихревое) движение и направляется в нижнюю часть аппарата, откуда отделяется от жидкости и выводится из сепарационной части аппарата через соосный с рабочей камерой аппарата штуцер.

Поток жидкости поступает в аппарат через два боковых тангенциальных патрубка и тоже вихревым движением направляется вниз по внутренней поверхности стенки аппарата интенсивно взаимодействуя с газом. Вращаясь вместе с газожидкостным потоком, частицы перемещаются на поверхность капель жидкости. Под действием центробежной силы жидкость осаждается на стенке аппарата и стекает по ней в виде пленки. При этом создается дополнительная зона контакта газовой и жидкой фаз. Отработан-

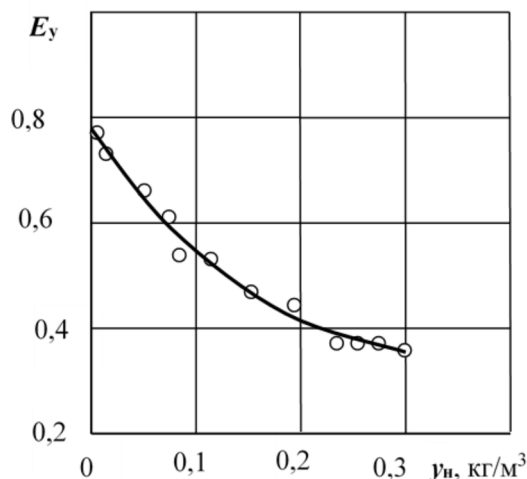


Рисунок 2. Зависимость эффективности массопереноса от начальной концентрации CO_2 в газовой фазе.

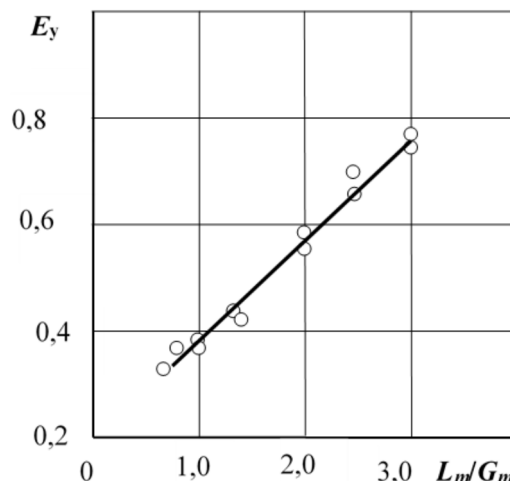


Рисунок 3. Зависимость эффективности массопереноса от соотношения нагрузок по фазам.

ная жидкость удаляется через боковой патрубок бункера.

Основным достоинством данного аппарата является высокая производительность и эффективность очистки от частиц пыли и вредных газовых загрязнений при низком гидравлическом сопротивлении.

Проведены ряд исследований для интенсификации различных физико-химических процессов с применением современного и высокоэффективного способа взаимодействия фаз в контактных аппаратах, реализуемый за счет различных завихрителей газа [2].

С целью экспериментального исследования тепло- и массообменной эффективности вихревого аппарата при закрученном потоке газа, определения оптимальной геометрии завихрителя, собрана экспериментальная установка (рис. 1), которая состоит из вихревого аппарата 1; высоконапорного вентилятора 2; баллона со сжиженным углекислым газом (CO_2) 6; емкости свежего поглотителя 4; емкости отработанного поглотителя 5; центробежного насоса 3; запорно-регулирующих арматур; средств измерения и контроля, приборов измерения концентрации CO_2 в газовой смеси и в жидкой фазе, подключенные к точкам отбора проб. Исследования проводили при значениях технологических параметров, близких к промышленным. В рамках исследований концентрация диоксида углерода в исходной газовой смеси составляла 0-5% об. Поглощение диоксида углерода осуществлялось водой и водным раствором моноэтаноламина (МЭА) с концентрацией 20% масс., что соответствует параметрами такого же раствора, применяемого в производстве аммиака.

Исходная газозвушная смесь формируется на входе в вихревой аппарат путем подачи сжатого воздуха из вентилятора и подачи CO_2 из баллона. Расход CO_2 и газозвушной смеси регулируется вентилями. Для определения расхода

газовой фазы использована стандартная измерительная диафрагма. Концентрация CO_2 в газовой фазе на входе и выходе вихревого аппарата определялась с помощью газоанализатора ИГМ-014-3 в местах отбора проб. Очищенный газовый поток после отделения от жидкости выбрасывается по воздуховоду в атмосферу за пределы помещения установки.

Исходный раствор МЭА готовится в емкости для свежего поглотителя 4. Готовый раствор центробежным насосом 3 подается на вход вихревого аппарата 1. Расход поглотителя измеряется ротаметром 8, регулируется вентилями, установленными на линии подачи жидкости и на линии байпаса насоса. Отработанный реагент собирается в отдельную емкость 5. Контроль за давлением газовой и жидкой фаз осуществляется манометрами, а перепад давления в аппарате стеклянным дифманометром. В качестве массообменного устройства использовался одноступенчатый вихревой аппарат с прямоточным нисходящим движением фаз. Аппарат состоит из корпуса, завихрителя, установленного в верхней части корпуса, двух тангенциальных штуцеров подачи поглотителя, расположенных ниже завихрителя, патрубка выхода отработанного поглотителя и патрубка выхода очищенного газа. Завихритель имеет канал эвольвентной формы с уменьшающимся сечением к выходу газа. Отсутствие резкого изменения направления движения потока, обеспечивает интенсивное закручивание потока при небольших значениях гидравлического сопротивления. Величина тангенциальной скорости в аппарате зависит от соотношения общей площади поперечного сечения аппарата и щелей завихрителя. Геометрические параметры завихрителя, такие как: ширина канала, диаметр цилиндрической части, высота ввода газа выбираются в зависимости от диаметра аппарата. Средне расходную скорость газового потока в узком сечении щелей завихрителя повысили до 50 м/с.

При работе аппарата закрученный поток газовой смеси активно взаимодействует с жидкостью на внутренней поверхности стенки корпуса, где и протекает процесс поглощения CO_2 . Вращательное движение газожидкостного потока и возникающее при этом центробежные силы и относительная скорость фаз обеспечивают высокую интенсивность теплообмена в рабочей камере и качественную сепарацию очищенного газа от пленки поглотителя в нижнем бункере.

Исследования проводились при давлении $0,1 \pm 0,17$ МПа и температуре около $20-50$ °С. В экспериментах изменяются начальная концентрация CO_2 в газе, y_n , в пределах $0-5\%$ об., соотношения массовых расходов жидкости и газа, поступающих в вихревой аппарат, L_m/G_m , в диапазоне $1-3$, средняя расходная скорость газа w_r , в аппарате $10-30$ м/с.

Эффективность поглощения газа в жидкость характеризует завершенность процесса массообмена в аппарате. Количественно она определяется как отношение изменения количества компонента в одной из контактирующих фаз на реальном и теоретическом аппарате. Эффективность массообмена вихревого аппарата выражается по конечному составу фаз в реальном аппарате, который именуется эффективностью Мерффри и в данном случае выражается через концентрации компонента в газовой и жидкой фазе и определяется по следующей зависимости [2, 4]:

$$E_y = (y_n - y_k) / [y_n - y^*(x_n)]; \quad E_x = (x_k - x_n) / [x^*(y_n) - x_n]$$

где y_n - начальная концентрация CO_2 в газе, % об.; y_k - конечная концентрация CO_2 в газе, % об.; $y^*(x_n)$ - равновесная концентрация CO_2 в газе, % об.; x_n - начальная концентрация CO_2 в жидкости, % об.; x_k - конечная концентрация CO_2 в жидкости, % об.; $x^*(y_n)$ - равновесная концентрация CO_2 в жидкости, % об.

Результаты и обсуждение

В процессе проведения опытов определялись концентрации диоксида углерода в газовой фазе перед массообменным аппаратом и после него, а также концентрации CO_2 в воде и водном растворе моноэтаноламина до и после очистки. Определение содержания CO_2 в водных растворах моноэтаноламина выполнялось по стандартной методике и основывалось на выделении CO_2 из раствора при добавлении к нему избытка 50% раствора H_2SO_4 . Первый этап исследований проведен на воде, а последующие на готовом 20% растворе моноэтаноламина, приобретенного из производства аммиака. Высокий уровень значения концентрации углекислого газа в исходной газовой смеси позволил применить газоанализатор диоксида углерода ИГМ-014-3 для определения содержания CO_2 в воздухе.

Исследования показали, что использование воды для очистки газозводушных выбросов от диоксида углерода не обеспечивает необходимую эффективность процесса. Некоторое повышение эффективности (на $10-15\%$) путем отвода пленки жидкости, образовавшейся на внутренней стенке аппарата, не решает поставленной задачи.

Результаты экспериментального исследования процесса поглощения диоксида углерода из воздуха водным раствором моноэтаноламина в полом вихревом аппарате приведены на рисунках 2 и 3.

На рисунке 2 показано влияние на эффективность полого вихревого аппарата начальных концентраций диоксида углерода в газе при степени карбонизации $\alpha=0,15$. Видно, что с увеличением концентрации CO_2 в газо-воздушной смеси на входе в аппарат эффективность аппарата существенно снижается.

Результаты исследования представлены на рис. 3 в виде зависимости эффективности массообмена от соотношения нагрузок по фазам. Видно, что эффективность поглощения CO_2 в полом вихревом аппарате практически линейно возрастает с увеличением отношения массовых расходов жидкой и газовой фаз. Такая картина обусловлена увеличением средней движущей силы процесса. Отметим, что эти данные получены при скорости газа в каналах завихрителя равной $w=34,2$ м/с, $\alpha=0,15$ и $y_n=0,11-0,13$ кг/м³. С увеличением нагрузки по раствору моноэтаноламина до $L_m/G_m=3$ эффективность массообмена возросла до $E_y=0,748$.

При увеличении отношения массовых расходов L_m/G_m эффективность очистки газа возрастает, однако при значениях $L_m/G_m > 2$ ухудшается сепарация капель из-за снижения крутки газового потока и, как следствие, возможен повышенный унос жидкости. Попытка повысить эффективность очистки газа при водной абсорбции диоксида углерода путем использования несколько последовательно установленных аппаратов оказывается экономически невыгодной.

Увеличение эффективности поглощения диоксида углерода при протекании химической реакции, по сравнению с физической сорбцией, объясняется тем, что в аппарате вихревого типа исключается процесс десорбции из пристенной пленки жидкости. Поглощение пленкой жидкости происходит при большой движущей силе массообмена.

Проведены сравнения полученных экспериментальных данных по эффективности массообмена с рассчитанными по известным уравнениям [5] для насадочных и тарельчатых абсорберов. Установлено, что вихревые аппараты эффективнее в $3-5$ раза по сравнению с насадочными и в $2-3$ раза по сравнению с тарельчатыми аппаратами.

Заклучение

Использование воды в качестве поглотителя диоксида углерода не обеспечивает необходимую эффективность процесса очистки газа.

При поглощении диоксида углерода из воздуха водным раствором моноэтаноламина с увеличением концентрации CO_2 в газовой смеси на входе в аппарат эффективность аппарата существенно снижается.

С увеличением отношения массовых рас-

ходов жидкой и газовой фаз интенсивность массопереноса возрастает.

Сравнением полученных экспериментальных данных по эффективности массообмена с рассчитанными по известным уравнениям для насадочных и тарельчатых абсорберов установлено, что вихревые аппараты эффективнее в 3-5 раза по сравнению с насадочными и в 2-3 раза по сравнению с тарельчатыми аппаратами.

REFERENCES

1. Baxronov X.Sh., Tuyboyov O.V. *Zavikhritel' potoka techey sredey* [Fluid flow swirl] Patent UZ, no. FAP 01348. 2018.
2. Baxronov Kh.Sh., Tuyboyov O.V. *Razrabotka konstruksii i issledovaniye effektivnosti teplomassoobmennykh apparatov s zakruchennim potokom* [Design development and efficiency study of swirl-flow heat and mass transfer apparatus]. Navoi, Alishera Navoi Publ., 2017. 199 p.
3. Voynov N.A., Zhukova O.P., Lednik S.A., Nikolayev N.A. *Massootdacha v gazozhidkostnom sloe na vikhrevykh stupenyakh* [Mass transfer in a gas-liquid layer on vortex steps]. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoy tekhnologii*, 2013, vol. 47, no. 1, pp. 1-6.
4. Bikov I.Yu. *Metodika eksperimental'nykh issledovaniy effektivnosti massoobmena kontaktnoy stupeni vikhrevogo apparata s tangentsial'nym zavikhritelem* [Methods of experimental studies of the efficiency of mass transfer of the contact stage of a vortex apparatus with a tangential swirl]. *Stroitel'stvo nefyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2012, no. 7, pp. 9-11.
5. Ramm V.M. *Absorbtsiya gazov* [Gas absorption]. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 665 p.