

ОБРАБОТКА СТОЧНЫХ ВОД В РОТОРНО-ДИСКОВЫХ СМЕСИТЕЛЯХ

Для повышения эффективности реагентной обработки сточных вод предлагается использовать роторные перемешивающие устройства с рабочими элементами в виде перфорированных дисков. Эти устройства были экспериментально апробированы в процессе обработки кальцийсодержащих стоков углекислым газом с получением товарного продукта – химически осаждённого мела.

Введение

При химической обработке сточных вод различными реагентами необходимо быстро и равномерно распределить их в обрабатываемой среде. Достигается это путём турбулизации обрабатываемого потока в разных типах перемешивающих устройств.

Одним из направлений интенсификации процессов смешения является использование вихревого движения потоков газа или жидкости. Вихревое движение оказывает на обрабатываемую систему комплексное действие различных сил и явлений, к которым можно отнести центробежные и инерционные силы, локальную кавитацию, гидравлические удары, интенсивные турбулентные пульсации, различные вихревые эффекты и т.д. Поэтому вихревое движение приводит к интенсификации процесса смешения неоднородной системы и сопутствующее ей ускорение обменных процессов за счет увеличения удельной поверхности контакта фаз и гидродинамической неустойчивости межфазной поверхности.

Смесители вихревого типа можно разделить на две группы: аппараты без вращающихся элементов - статические смесители и аппараты с вращающимися элементами - динамические смесители.

В статических смесителях турбулизация потока производится за счет установки в корпусе аппарата неподвижных элементов, которые позволяют менять направление движения потока, приводящие к появлению локальных зон интенсивного завихрения. К

Е.А. Николаев*,
кандидат технических
наук, доцент,
Уфимский
государственный
нефтяной технический
университет



динамическим смесителям относят устройства, которые в качестве рабочего органа содержат ротор, при вращении которого и создаётся вихревое движение потока, поэтому их часто называют – роторные смесители. Существует множество особенностей конструктивного исполнения роторных смесителей. Так, устройства могут содержать только вращающиеся элементы, а могут вращающиеся элементы чередоваться с неподвижными (статорами). Наличие подвижных и неподвижных элементов, как правило, интенсифицирует процессы смешения. На вращающихся элементах может быть выполнена перфорация как простой, так и сложной геометрической формы, кроме этого на интенсивность гидродинамического воздействия на обрабатываемую среду существенно влияет положение, форма и размер перфораций. Статические смесители отличаются простой конструкцией, неприхотливостью в эксплуатации, низкими затратами на изготовление и эксплуатацию, но данная группа аппаратов не может конкурировать с динамическими по интенсивности воздействия на обрабатываемый поток [1-3].

Из перспективных разновидностей динамических перемешивающих устройств для обработки сточных вод можно выделить

* Адрес для корреспонденции: nikevan@rambler.ru

роторно-дисковые смесители (РДС) [4-6]. В частности, эти устройства можно использовать для обработки кальцийсодержащих стоков, образующихся в виде невозвратных отходов при производстве таких химических продуктов, как кальцинированная сода или гипохлорит кальция [7, 8].

К примеру, стоки производства гипохлорита кальция представляют собой суспензию гидроксида кальция с общим массовым содержанием компонента $7\div 10\%$. Образующиеся стоки в настоящее время не перерабатываются и полностью сбрасываются в шламостойники. Для решения данной проблемы рациональным направлением является переработка стоков с получением товарного продукта.

Наиболее перспективно выбрать получение высококачественного химически осажденного карбоната кальция в связи с его возрастающей потребностью - он нашёл широкое применение в пищевой, медицинской, косметической, резинотехнической, кабельной, бумажной, лакокрасочной, химической промышленности, в производстве пластмасс и полимеров, в сельском хозяйстве и т. д.

Оптимальным с технологической точки зрения способом получения высококачественного синтетического карбоната кальция является карбонизация раствора гидроксида кальция в присутствии карбоната или гидроксида натрия [9]. Карбонат (гидроксид) натрия в реакционной смеси необходим для ускорения реакции перевода всего гидроксида кальция в карбонат, т.е. он служит катализатором реакции.

В настоящее время получение химически осажденного карбоната кальция карбонизацией раствора гидроксида кальция осуществляют в аппаратах барботажного типа [10]. Недостатками проведения процесса в аппаратах барботажного типа является неэффективное использование карбонизирующего газа, длительность процесса, крупнодисперсность получаемых частиц.

Для выявления возможности применения аппаратов типа РДС в процессе карбонизации кальцийсодержащих стоков и исследование закономерностей проведения данного процесса под воздействием различных переменных физических факторов были проведены экспериментальные исследования.

Конструкции РДС

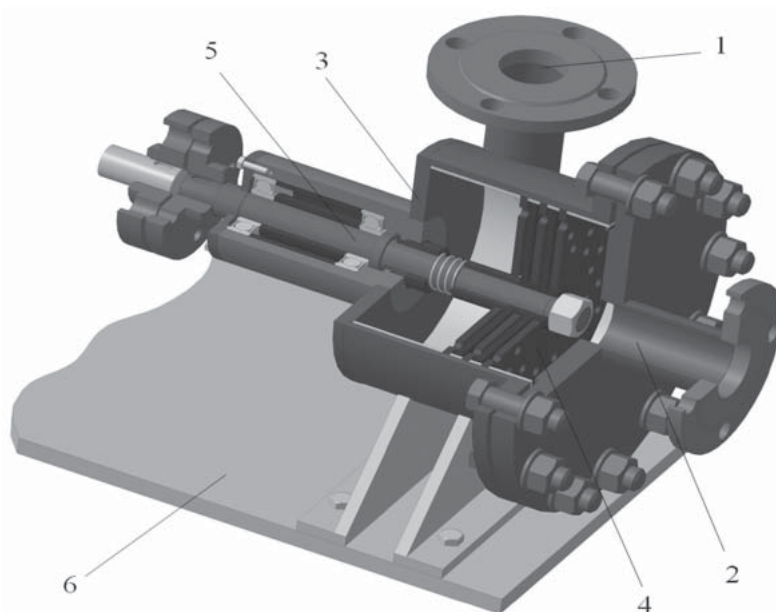
Типовые конструкции РДС состоят из загрузочного и разгрузочного патрубка, неподвижного цилиндрического корпуса, в объёме которого жёстко зафиксированы перфорированные диски, расположенные поочередно с аналогичными по конструкции перфориро-

ванными дисками, закреплёнными на вращающемся роторе. Причём отверстия перфорированных дисков могут быть выполнены в различном исполнении (круглые, прямоугольные, трапецеидальные и т.д.) и ориентироваться под различным углом в направлении от центра к периферии. Ротор с дисками может располагаться между двумя опорами или консольно на свободном конце вала (рис. 1). Пара, состоящая из одного подвижного и одного неподвижного диска, составляет рабочую ступень аппарата.

РДС может быть выполнен с возможностью регулирования зазора между подвижными и неподвижными перфорированными дисками с помощью регулирующего устройства или с помощью дистанцирующих колец. Возможность изменения величины зазора между вращающимися и неподвижными дисками позволит получать на выходе из аппарата дисперсные частицы требуемых размеров.

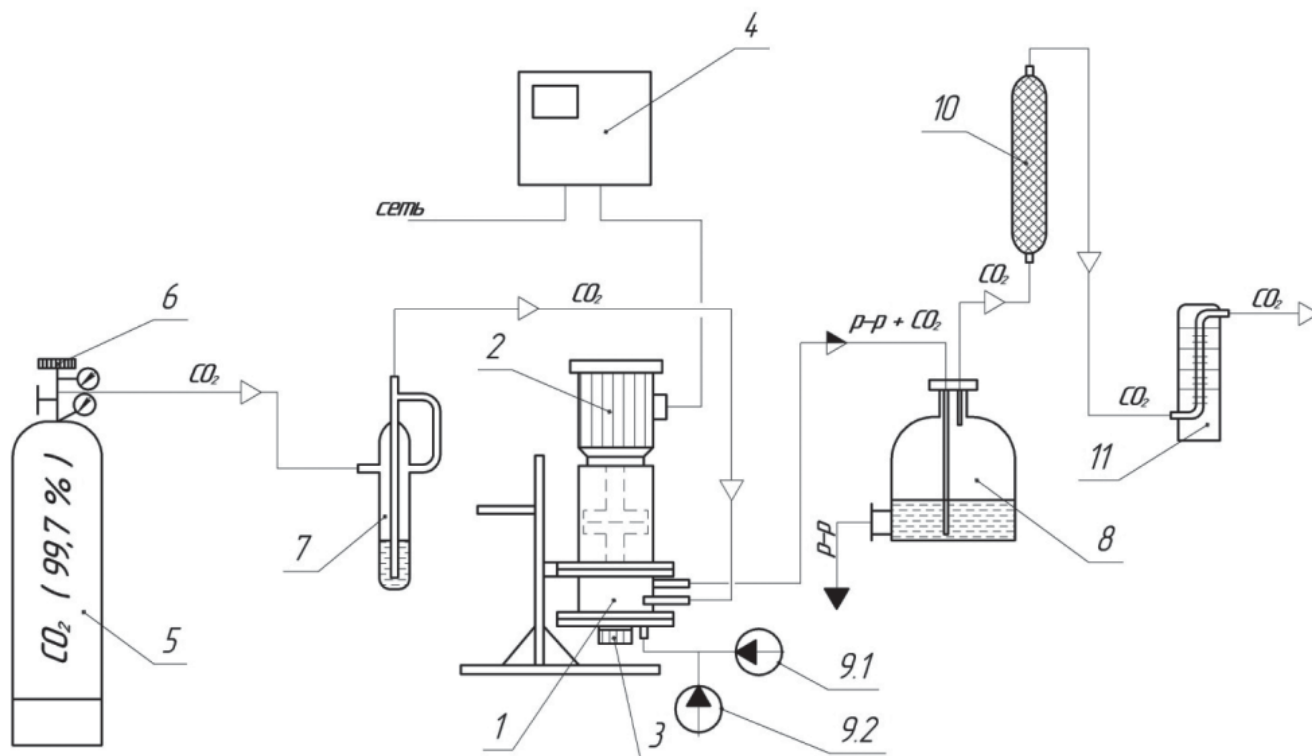
При работе РДС под действием массовых сил или искусственно создаваемого избыточного давления обрабатываемая смесь перемещается от загрузочного парубка к разгрузочному. При движении через перфорированные диски обрабатываемая смесь подвергается интенсивному механическому и гидродинамическому воздействию с проведением процесса диспергирования и перемешивания.

Интенсивность механического воздействия достигается относительно высокой частотой вращения ротора и возникающим в связи с этим высокотурбулентным движением



1 и 2 – загрузочный и разгрузочный патрубок, 3 - неподвижный цилиндрический корпус, 4 - перфорированные диски, 5 – вал, 6 - опора

Рис. 1. Схема РДС с двумя подвижными дисками на консоли.



обрабатываемой среды в зазорах между вращающимися и неподвижными перфорированными дисками и за счёт принудительного перекрытия каналов течения обрабатываемой среды с возникновением значительных значений градиента скорости и давления. Отверстия в роторе и статоре создают осевой поток, непрерывно ориентируют элементы объёма среды перпендикулярно направлению сдвигового воздействия, а также дробят потоки на малые объёмы, способствуя значительному увеличению площади поверхности раздела и равномерному распределению элементов объёма обрабатываемой смеси в аппарате. Кроме того, поскольку материал обрабатывается в малом зазоре, в нём возникают большие скорости сдвига, что позволяет достичь высокой интенсивности деформационного воздействия.

1 – РДС, 2 – электродвигатель, 3 – механизм регулирования зазора между рабочими элементами аппарата, 4 – преобразователь частоты вращения электродвигателя, 5 – баллон углекислого газа, 6 – редуктор баллона углекислого газа, 7 – реометр влажный, 8 – ёмкость газоотделения (сепаратор), 9.1 и 9.2 – насосы, 10 – адсорбер с цеолитом КА (размер пор 3 \AA), 11 – реометр сухой.

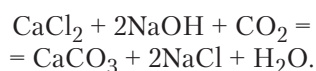
Материалы и методы исследования

Испытания РДС проводились на экспериментальной установке, упрощённая схема которой представлена на рис. 2. Испытываемый в процессе карбонизации раствора аппарат выполнен с возможностью изменения числа ступеней и имеет следующие конструктивные параметры: радиус диска $R_D = 6,125 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; радиус вала $R_B = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; число отверстий диска $z_{\text{отв}} = 16$; площадь одного отверстия $S_{\text{отв}} = 17,66 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$; величина зазора $h = 1 \text{ мм}$ между вращающимися и неподвижными дисками.



Рис. 2. Схема экспериментальной установки и её внешний вид.

Суспензия гидроксида кальция (с концентрацией $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 120 г/л) насосом 9.1 подавалась в реакционный аппарат РДС 1, состоящий из 2 ступеней со скоростью 0,29 л/мин. Одновременно в аппарат насосом 9.2 подавался раствор щёлочи (с концентрацией NaOH 114 г/л) со скоростью 0,11 л/мин, а также из баллона с диоксидом углерода 5 через редуктор 6 подавался карбонизирующий реагент – диоксид углерода (с содержанием CO_2 92 %) со скоростью 6,9 л/мин. Расход подаваемого в аппарат диоксида углерода контролировался по влажному реометру 7. Частотный преобразователь 4 обеспечивал частоту вращения электродвигателя 2 в 700 об/мин. Основная реакция процесса:



Газожидкостная меловая суспензия после выхода из аппарата поступала в сепаратор 8, где происходило отделение газа. После сепаратора газ проходил через слой цеолита КА (размер пор 3A°) в адсорбере 10, избирательно поглощающий из смеси газа только пары воды, не адсорбируя углекислый газ. Выход диоксида углерода регистрировался на сухом реометре 11. Меловая суспензия анализировалась на содержание CaCO_3 методом нейтрализации, эффективность использования диоксида углерода η (%) находилась расчётным путём.

Оставляя без изменения скорость подачи реагентов в аппарат, эксперименты проводили при различных угловых скоростях вращения ротора, а также увеличивая число пар перфорированных дисков (т.е. ступеней) на валу аппарата. Величину зазора устанавливали с помощью механизма 3.

В ходе экспериментов исследовалось влияние конструктивных параметров аппарата, скорости вращения ротора на выход целевого продукта. Эффективность работы РДС при различных условиях оценивалась по следующим критериям:

- ◆ потребляемая мощность;
- ◆ массовая доля карбоната кальция в суспензии;
- ◆ эффективность использования диоксида углерода;
- ◆ коэффициент массопередачи.

Результаты и их обсуждение

Основные результаты представлены на рис. 3 и 4 и табл. 1–3.

Значения коэффициента массопередачи K , $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, рассчитанного исходя из данных [11], представлены в табл. 2.

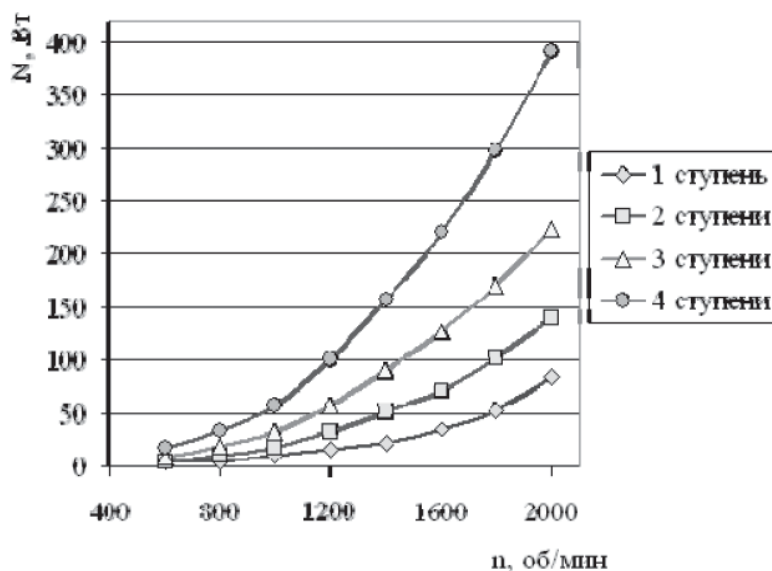


Рис. 3. Графики зависимостей потребляемой мощности от числа оборотов ротора для различных чисел ступеней.

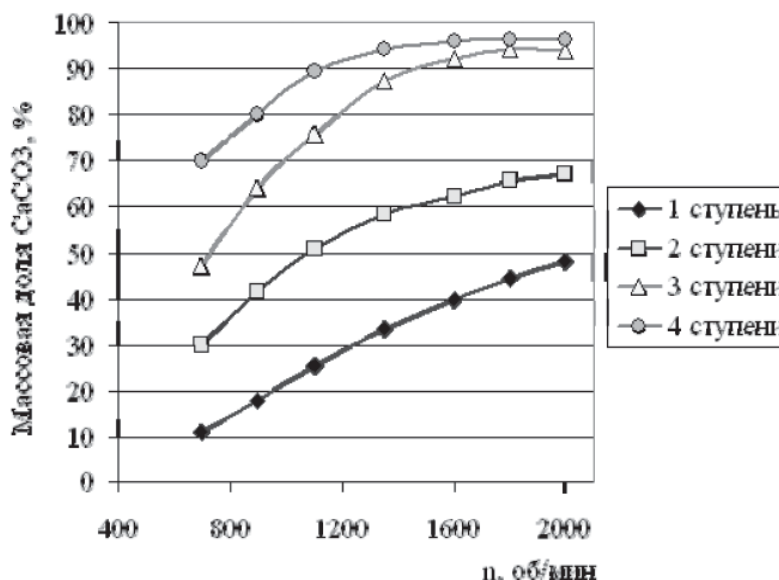


Рис. 4. График изменения массовой доли карбоната кальция от числа оборотов ротора для различных чисел ступеней.

Таблица 1

Эффективность использования диоксида углерода η , % от числа оборотов ротора для различных чисел ступеней аппарата

n, об/мин	Число ступеней			
	1 ступень	2 ступени	3 ступени	4 ступени
700	18,1	44,4	56,2	76,7
900	26,9	52,8	66,5	84,7
1100	34,3	61,4	77,2	91,5
1350	41,6	67,3	85,5	96,3
1600	48,6	71,7	92,3	97,2
1800	52,0	74,9	94,8	97,6
2000	55,2	76,5	95,0	97,7

Таблица 2

Коэффициент массопередачи К 103 от числа оборотов ротора для различных чисел ступеней аппарата

n, об/мин	Число ступеней			
	1 ступень	2 ступени	3 ступени	4 ступени
600	1,8	4,4	6,2	9,0
800	2,9	5,7	7,6	10,1
1000	3,9	7,1	9,1	11,1
1200	4,7	8,1	10,4	12,0
1400	5,5	8,9	11,3	12,5
1600	6,0	9,6	12,1	12,6
1800	6,7	10,0	12,5	12,8
2000	7,1	10,4	12,7	12,9

Анализ данных, представленных на *рис. 4* и в *табл. 1*, показывает, что для аппарата с числом ступеней, равным три и четыре, при числе оборотов ротора свыше 1700÷1800 об/мин наблюдается прекращение роста массовой доли карбоната кальция в суспензии и, соответственно, эффективности использования диоксида углерода. Кривые зависимости массовой доли карбоната кальция от числа оборотов ротора (*рис. 4*) для аппарата с тремя и четырьмя ступенями в интервале 1700÷2000 об/мин отличаются не более, чем на 5 % по величине массовой доли карбоната кальция; аналогичные данные по эффективности использования диоксида углерода приведены в *табл. 1*. На графике зависимости потребляемой мощности от числа оборотов ротора (*рис. 3*) в интервале 1700÷2000 об/мин значение мощности для аппарата с тремя и четырьмя ступенями отличается в 1,6÷1,8 раз. Таким образом, учитывая затраты мощности оптимальный режим работы аппарата наблюдается при числе оборотов ротора 1700÷1800 об/мин при трёх ступенях аппарата.

Для обоснования перспективности применения РДС в процессе карбонизации кальцийсодержащего раствора приведена таблица сравнения с аппаратом барботажного типа. Процесс карбонизации проводили в РДС с тремя ступенями при числе оборотов ротора в 1700 об/мин. Расход суспензии гидроксида кальция (с концентрацией Са(ОН)₂ 120 г/л), раствора щёлочи (с концентрацией NaOH 114 г/л) и диоксида углерода поддерживался в 0,29 л/мин, 0,11 л/мин и 6,9 л/мин соответственно. Аппарат барботажного типа представлял собой цилиндрическую ёмкость объёмом 2 л, на дне которого находился барботёр в виде спирали.

Меловая суспензия на выходе из аппарата подвергалась анализу на дисперсный состав частиц химически осаждённого мела в лабораторном аппарате «Норба Сара-700».

Как видно из *табл. 3*, при одинаковых количествах подаваемого диоксида углерода в аппарате барботажного типа степень использования диоксида углерода и продолжительность процесса карбонизации в десятки раз меньше, чем в РДС. Несмотря на то, что один из этих аппаратов динамический – РДС, а другой статический – аппарат барботажного типа, в их сравнении важное значение имеет дисперсный состав получаемого химически осаждённого мела. Наиболее востребованным и дорогостоящим считается мел с размерами частиц не более 20 мкм. Размеры частиц химически осаждённого мела, полученного в РДС, меньше частиц, полученных в аппарате барботажного типа в 5÷8 раз, а максимальные размеры их не превышают 20÷22 мкм.

В РДС с тремя рабочими ступенями при частоте вращения ротора в 1700 об/мин проводили карбонизацию реальных стоков производства гипохлорита кальция с концентрацией гидроксида кальция в них 112 г/л. Расход раствора щёлочи (с концентрацией NaOH 107 г/л), суспензии гидроксида кальция и диоксида углерода составлял 0,27 л/мин, 0,1 л/мин и 7,7 л/мин, соответственно. Полученную меловую суспензию промывали дистиллированной водой от хло-

Таблица 3

Сравнительные характеристика РДС и аппарата барботажного типа

№ Опыта	Показатели процесса карбонизации	Аппараты	
		Роторно-дисковый смеситель	Аппарат барботажного типа
1	Время карбонизации, мин	1,0	32,0
	η, %	70,8	2,1
	Расход СО ₂ , л/мин	5,2	5,2
	Размер частиц тах, мкм более 50 %, мкм	25 10÷12	110 35÷70
2	Время карбонизации, мин	1,0	32,0
	η, %	78,9	2,47
	Расход СО ₂ , л/мин	5,8	5,8
	Размер частиц тах, мкм более 50 %, мкм	20 8÷11	95 35÷70
3	Время карбонизации, мин	1,0	32,0
	η, %	85,9	2,68
	Расход СО ₂ , л/мин	6,3	6,3
	Размер частиц тах, мкм более 50 %, мкм	20 6÷10	95 35÷65
4	Время карбонизации, мин	1,0	32,0
	η, %	93,8	2,9
	Расход СО ₂ , л/мин	6,9	6,9
	Размер частиц тах, мкм более 50 %, мкм	18 4÷8	90 35÷60

Таблица 4

Основные физико-химические показатели опытного образца мела в сравнении с мелом первого сорта по ГОСТ 8253-79

Наименование показателей	Мел первого сорта по ГОСТ 8253-79	Мел - опытный образец
Массовая доля углекислого кальция, %, не менее	98	97
Массовая доля веществ, нерастворимых в соляной кислоте, %, не более	0,1	0,1
Массовая доля железа в пересчете на Fe ₂ O ₃ , %, не более	0,1	0,1
Остаток на сите № 0045, %, не более	0,4	0,2
Плотность, г/см ² , не более	0,3	0,3
Массовая доля влаги, %, не менее	0,5	0,4
Массовая доля хлор-ионов, %, не более	не нормируется	0,47
Белизна, %, не менее	93	95

ридов натрия и фильтровали на лабораторном вакуум-фильтре. Осадок просушивали в печи и пропускали через лабораторную валковую дробилку. В табл. 4 приведены основные физико-химические показатели опытного образца мела в сравнении с мелом первого сорта по ГОСТ 8253-79.

В результате исследований процесса карбонизации реальных стоков производства гипохлорита кальция в РДС был получен образец химически осажденного мела [12, 13], показатели которого максимально приближены к аналогичным показателям мела первого сорта по ГОСТ 8253-79.

Заключение

Таким образом, одно из возможных применений аппаратов типа РДС в химической промышленности - получение химически осажденного мела.

Для снижения материальных затрат вместо товарных продуктов (кальцинированная

сода, едкий натр) можно использовать полуфабрикаты, например, электрощелока.

Следует заметить, что в качестве поставщика карбонизирующего агента – CO₂, может быть использован любой промышленный источник - печи обжига известняка, дымовые газы котельных и т.д., так называемые «парниковые газы», выбросы которых негативно влияют на окружающую среду.

Литература

1. Богданов В.В. и др. Эффективные малообъемные смесители. Л.: Химия, 1989. 224 с.
2. Николаев Е.А. Статические и динамические смесители для компаундирования нефтепродуктов / Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2011. № 3. С. 29-34.
3. Николаев Е.А. Обзор статических смесителей в нефтеперерабатывающей промышленности / Е.А. Николаев, В.Г. Афанасенко, Е.В. Боев // Инженер-нефтяник. 2011. № 2. С. 47-50.





4. Шулаев Н.С. Малообъёмные роторно-дисковые смесители, / Н.С. Шулаев, Е.А. Николаев, С.П. Иванов. М.: Химия, 2009. 186 с.
5. Шулаев Н.С. Разработка конструкции малообъёмного роторно-дискового дезинтегратора-смесителя для получения гетерогенных смесей / Н.С. Шулаев, Е.А. Николаев, С.П. Иванов, Е.В. Боев // Химическая промышленность сегодня. 2008. № 3. С. 42-44.
6. Николаев Е.А. Влияние конструктивных особенностей роторно-дисковых смесителей на гидродинамические режимы обработки жидких сред / Е.А. Николаев, Н.С. Шулаев/

Ключевые слова:
ротор,
диск,
смеситель,
кальцийсодержащие
стоки,
химически
осаждённый мел

- Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2010. № 9. С. 11-12.
7. Мельников Е.Я. Технология неорганических веществ и минеральных удобрений. / Е.Я. Мельников, В.П. Салтанова, А.М. Наумова. М.: Химия, 1983. 432 с.
 8. Сухотин А. М., Лабутич А.Л. Коррозия и защита химической аппаратуры: В 9 т. Л.: Химия, 1972. Т. 6. 376 с.
 9. Патент РФ № 2051101. С01F11/18 Способ получения химически осажденного мела / Тер-Аракелян К.А., Татевосян А.В., Финкельштейн Б.И., Оганян Р.С. // Заявлено 02.17.1992. Опубл. 12.27.1995. Бюл. № 17.
 10. Паус К.Ф. Химия и технология мела. / К.Ф. Паус, И.С. Евтушенко. М.: Стройиздат, 1977. 132 с.
 11. Зимин А.И. Абсорбция диоксида углерода водой в роторном аппарате с модуляцией потока / А.И. Зимин, В.Ф. Юдаев // ТОХТ. 1989. Т. 23. № 5.
 12. ГОСТ 21138.5-78. Мел. Метод определения массовой доли углекислого кальция и углекислого магния. М.: Изд-во стандартов, 1978. 16 с.
 13. ГОСТ 21138.0-85. Мел. Общие требования к методам анализа. М.: Изд-во стандартов, 1984. 13 с.



E.A. Nikolaev

WASTE WATER TREATMENT IN ROTOR-TYPE DISK MIXER

Rotor-type disk mixers are suggested to improve the efficiency of reagent waste water treatment. These devices have been experimentally tested in the

process of calcium-sink treatment by carbon dioxide with generation of marketable product – chemically precipitated chalk.

Key words: rotor, disk, mixer, calcium-sinks, calcium carbonate precipitated