

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 66.074.371

**ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ГИДРАТАЦИИ MgO
НА СВОЙСТВА Zn-Mg ПОГЛОТИТЕЛЯ СЕРОВОДОРОДА***К.А. Верес, В.В. Усов, А.А. Ильин, С.П. Кочетков**Ивановский государственный химико-технологический университет (г. Иваново)*

© Верес К.А., Усов В.В., Ильин А.А., Кочетков С.П., 2022

Аннотация. Изучены физические и сорбционные характеристики поглотителя сероводорода на основе оксида цинка. Указано, что в качестве промотирующей добавки в работе был использован оксид магния разной степени гидратированности. Приведены результаты исследования с помощью рентгенофазового анализа процесса гидратации MgO в воде. Установлено, что при увеличении времени гидратирования добавки оксида магния с 10 до 40 мин температура максимальной сероемкости образца возрастает на 100 °С.

Ключевые слова: цинковый поглотитель, оксид магния, сероемкость.

DOI: 10.46573/2658-7459-2022-3-73-83**ВВЕДЕНИЕ**

Сернистые соединения для большинства промышленных катализаторов являются сильнодействующими ядами. В производстве аммиака наиболее чувствительны к действию ядов катализаторы риформинга природного газа и низкотемпературной конверсии монооксида углерода. Сернистые соединения вызывают также коррозию аппаратуры, поэтому сероочистка обычно предшествует всем технологическим стадиям.

Очистка газов от соединений серы приносит экономическую выгоду: возникает регенерированная сера. Ежегодно на мировой рынок поступает более 50 млн т серы, извлекаемой по способу Клауса из отходящих газов предприятий газо- и нефтепереработки [1, 2].

Очистка природного газа проводится в два этапа. На первой стадии происходит гидрирование сераорганических соединений в сероводород, который затем поглощается сорбентами на основе оксида цинка. Ведущими производителями цинковых поглотителей являются такие компании, как HaldorTopsoe, JohnsonMatthey, Sud-Chemie. Среди отечественных производителей лидирующие позиции занимает ООО «НИАП-КАТАЛИЗАТОР» – практически монополист в отечественном производстве катализаторов сероочистки для предприятий, получающих синтез-газ из природного газа. Компания выпускает несколько типов поглотителей для разных условий эксплуатации и требований потребителей. Цинковые поглотители НИАП-02-02 (таблетки) и НИАП-02-05 (экструдаты) рассчитаны на диапазон температур 300–390 °С; цинк-медные поглотители НИАП-02-03

(экструдаты) и НИАП-02-04 (таблетки) могут использоваться для низкотемпературной очистки (интервал температур – 150–350 °С) [3].

Для повышения механической прочности и сорбционной емкости хемосорбенты на основе оксида цинка подвергают промотированию металлами и оксидами, а также поверхностно-активными веществами (ПАВ). Так, в работе [4] в качестве добавок использовались катионные фосфоросодержащие ПАВ.

В работе [5] исследовались характеристики устойчивости сорбентов на основе оксида цинка в среде компонентов синтез-газа с целью их количественного описания и учета в расчетах системы сероочистки.

При получении катализаторов и сорбентов с развитой геометрической поверхностью решающее значение приобретает стадия формования [6]. В технологии катализаторов и сорбентов наиболее распространены два способа формования: полусухое (прессование, таблетирование) и пластическое (экструзия) [7].

Экструзия (как более производительный способ формования) дает возможность получать изделия самой разнообразной формы. Более того, отличительная черта экструдеров – относительно простой переход от одного типа-размера к другому. Наиболее значимым преимуществом экструдированных контактных масс перед таблетированными выступает оптимальная пористая структура. Так, таблетированные гранулы имеют преимущественно монодисперсную структуру с эффективным радиусом пор 10–25 нм. Катализаторы и сорбенты, полученные экструзией, наряду с указанными, обладают широкими транспортными порами с диаметром 300–600 нм. Подобная пористая структура позволяет не только увеличить пористость, но и повысить степень использования зерна [8].

Целью данной работы является изучение влияния степени гидратации на механическую прочность и сорбционную емкость поглотителя сероводорода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовались следующие реактивы: оксид цинка квалификации «Ч» ZnO (ГОСТ 10262-73); оксид магния квалификации «Ч» MgO (ГОСТ 4526-75); спирт поливиниловый квалификации «ХЧ» (ГОСТ 10779-78).

Высокодисперсный оксид цинка получен по аммиачно-карбонатной технологии из технического ZnO по методике, описанной в работе [9].

Образцы серопоглотителя были приготовлены методом механического смешения оксидов цинка и магния (содержание MgO – 5 % от массы ZnO) с добавлением 4 % раствора поливинилового спирта (ПВС) для достижения оптимальной формовочной влажности. Полученную массу формовали в гранулы и просушивали на воздухе.

Образцы системы MgO-H₂O(ПВС) после гидратации просушивались при $t = 100$ °С в течение 2 ч, а затем исследовались на дериватографе Q-1500, что позволило провести разложение системы при постоянной температуре [10].

Рентгенофазовый анализ осуществлялся на дифрактометре ДРОН-3М с использованием $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ -излучения. Идентификация кристаллических фаз на дифрактограммах проводилась путем сравнения вычисленных межплоскостных расстояний с данными в базе ASTM.

Показатель сероемкости поглотителей определяли по поглощению H₂S статическим методом. Поглотитель фракции 0,5–0,25 мм помещали в реактор, находящийся в электропечи с регулируемой температурой. Осернение цинковых поглотителей проводили

в течение 10–12 ч при температуре 100–400 °С. После окончания осернения хемосорбент дробили, отбирали среднюю пробу, которую разлагали с помощью H_2SO_4 , а образовавшийся H_2S определяли иодометрически. Сероемкость a , %, рассчитывали по формуле

$$a = \frac{A \cdot 100}{g},$$

где A – количество серы во всей осерненной массе, г; g – исходная навеска хемосорбента, г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе [1] исследовано совместное влияние ПАВ и механической обработки на массу оксида цинка перед формованием. Исследования показали, что паста ZnO , приготовленная в лопастном смесителе без ПАВ при небольших скоростях деформации, характеризуется преобладанием быстрых эластических деформаций и имеет плохие реологические свойства (относится к III структурно-механическому типу). После механической обработки этой массы в бисерной мельнице или диспергаторе с импеллером в присутствии ПАВ, величина быстрых эластических деформаций уменьшилась с 60 до 33 %, а медленных пластических и эластических возросла с 13 до 23 % и с 26 до 46 % соответственно, вследствие чего структурно-механические характеристики улучшились. Эти изменения обусловлены увеличением толщины прослойки между частицами, а также уменьшением их размера.

Структурно-механические свойства паст катализаторов и сорбентов можно изменять в широких пределах смешением материалов с различными свойствами. Для этого в ходе структурно-механического анализа выясняют степень развития того или иного вида деформации. Если возникает необходимость перевести имеющийся материал в иной структурно-механический тип, то осуществляют это добавкой к основному материалу другого, способного компенсировать недостаточное или избыточное развитие того или иного вида деформации. Так, регулирование реологических свойств системы $\text{ZnO-H}_2\text{O}$ возможно за счет введения добавок порошков оксидов металлов, имеющих больший размер агрегатов, чем у ZnO . Для этих целей можно использовать оксиды Al , Ca , Mg , Zn .

Концентрация воды в системе, толщина гидратных оболочек и соотношение между количеством свободной и связанной воды в значительной степени определяют реологические и другие свойства системы.

Процесс гидратации оксида магния проводился не только в воде, но и в 4%-м водном растворе ПВС как при механическом перемешивании, так и при диспергировании. Температуры во время опыта поддерживались 25 и 60 °С, соотношение твердой и жидкой фаз – 1:10. Твердая фаза после опыта отделялась от раствора, промывалась спиртом и сушилась до постоянного веса при $t = 110$ °С. Установлено, что при перемешивании наибольшая степень гидратации MgO достигается через 2 ч при температуре опыта 60 °С (рис. 1).

Использование в качестве дисперсионной среды 4%-го водного раствора ПВС незначительно снижает скорость гидратации MgO . Так, после 2 ч перемешивания в воде при температуре 60 °С степень гидратации MgO стала равна 92,5 %, а при этих же условиях в ПВС – 90,4 %. С уменьшением температуры степень гидратации снижается. При диспергировании скорость гидратации резко возрастает как в случае использования в качестве дисперсионной среды воды, так и ПВС. Уже после 5 мин диспергирования в воде

при 60 °С степень гидратации MgO достигла 96,1 %. При этих же условиях в ПВС степень гидратации составляла 91,5 % (рис. 2).

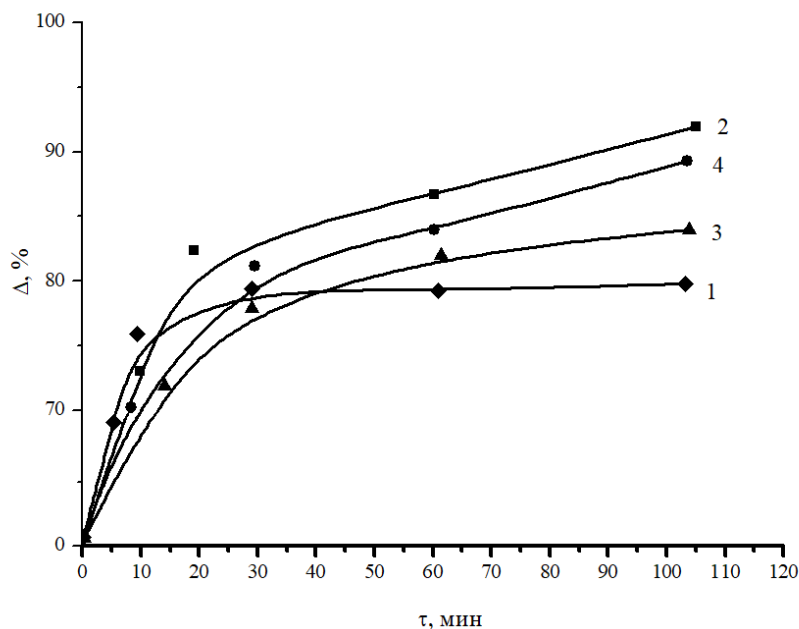


Рис. 1. Изменение степени гидратации оксида магния в воде и ПВС при перемешивании в зависимости от процесса и его температуры: 1 – гидратация в воде, температура 25 °С; 2 – гидратация в воде, температура 60 °С; 3 – гидратация в 4%-м растворе ПВС, температура 25 °С; 4 – гидратация в 4%-м растворе ПВС, температура 60 °С

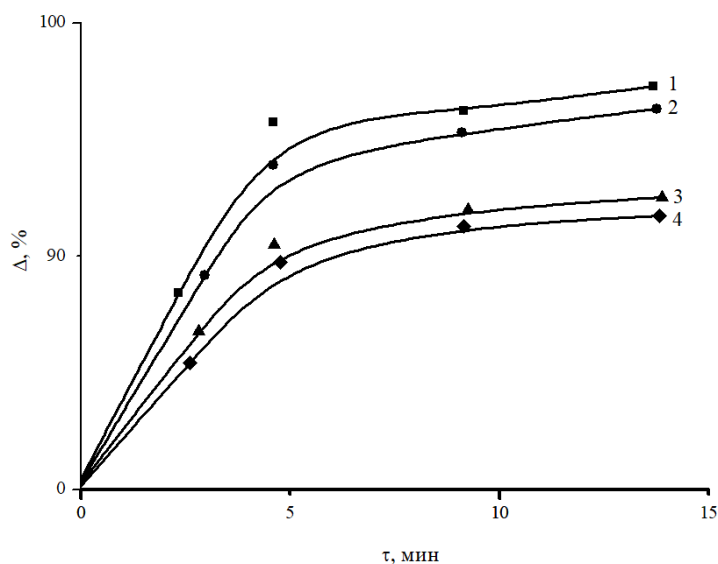


Рис. 2. Изменение степени гидратации оксида магния в воде и ПВС при диспергировании в зависимости от температуры процесса: 1 – гидратация в воде, температура 25 °С; 2 – гидратация в воде, температура 60 °С; 3, 4 – гидратация в 4%-м растворе ПВС, температура 25 °С; 4 – гидратация в 4%-м растворе ПВС, температура 60 °С

На рентгенограмме исходного оксида магния имеются три характерных рефлекса MgO (рис. 3). На рис. 3 цифры 1 и 2 обозначают индексированные фазы конкретных элементов. На рентгенограмме гидроксида магния появляется уже пять характерных линий. Полученный гидроксид магния относится к гексагональной сингонии.

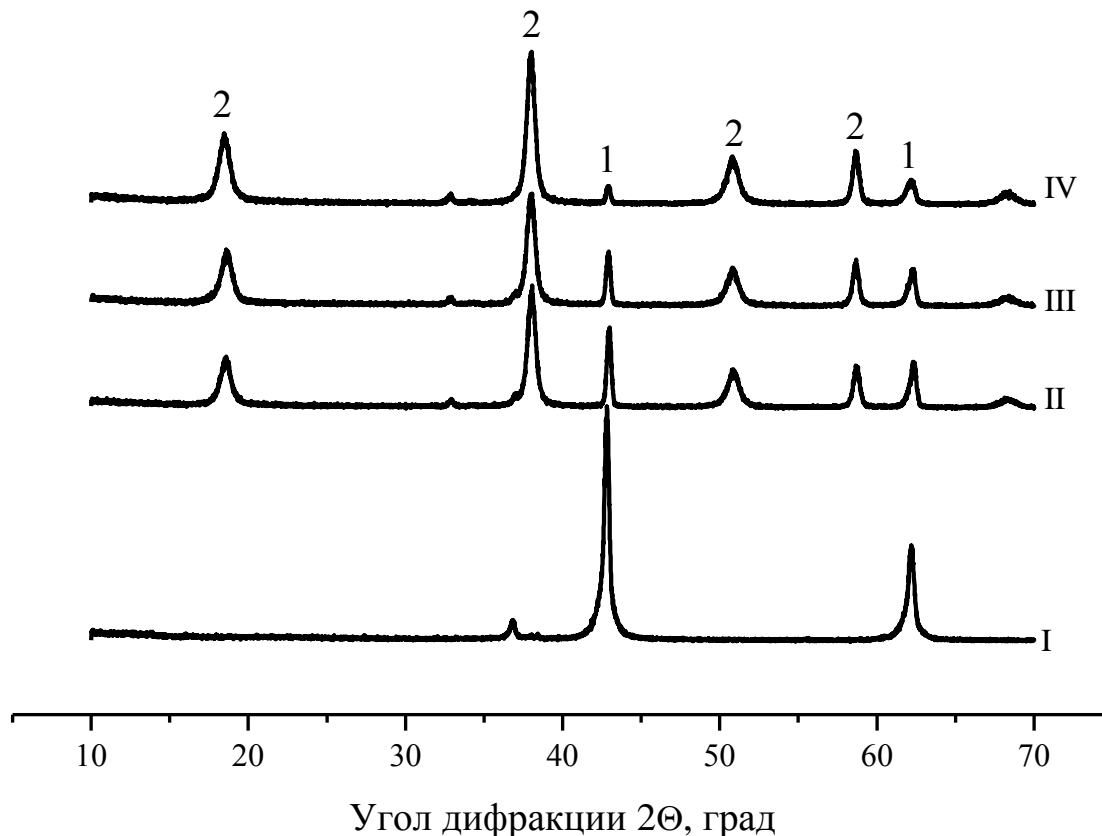


Рис. 3. Рентгенограммы исходного (I) и гидратированного в течение 10 (II) 30 (III), 60 мин (IV) оксида магния:
1 – MgO; 2 – Mg(OH)₂

На дериватограмме образца MgO-H₂O (рис. 4а) имеются два эндотермических эффекта: при температурах 102 и 402 °С. Первый связан с удалением адсорбционной влаги, второй – с разложением Mg(OH)₂ до MgO. Аналогичные эффекты наблюдаются и у системы, полученной диспергированием MgO в воде при температуре 60 °С в течение 15 мин (рис. 4б). Несколько отличается дериватограмма, полученная при использовании в качестве дисперсионной среды ПВС (рис. 4в). Во-первых, на ней наблюдается эндотермический эффект с максимумом при температуре 185 °С, вызванный, очевидно, термическим разложением ПВС. Во-вторых, максимум термического разложения Mg(OH)₂ приходится на температуру 382 °С, то есть несколько ниже, чем в случае использования в качестве дисперсионной среды чистой воды.

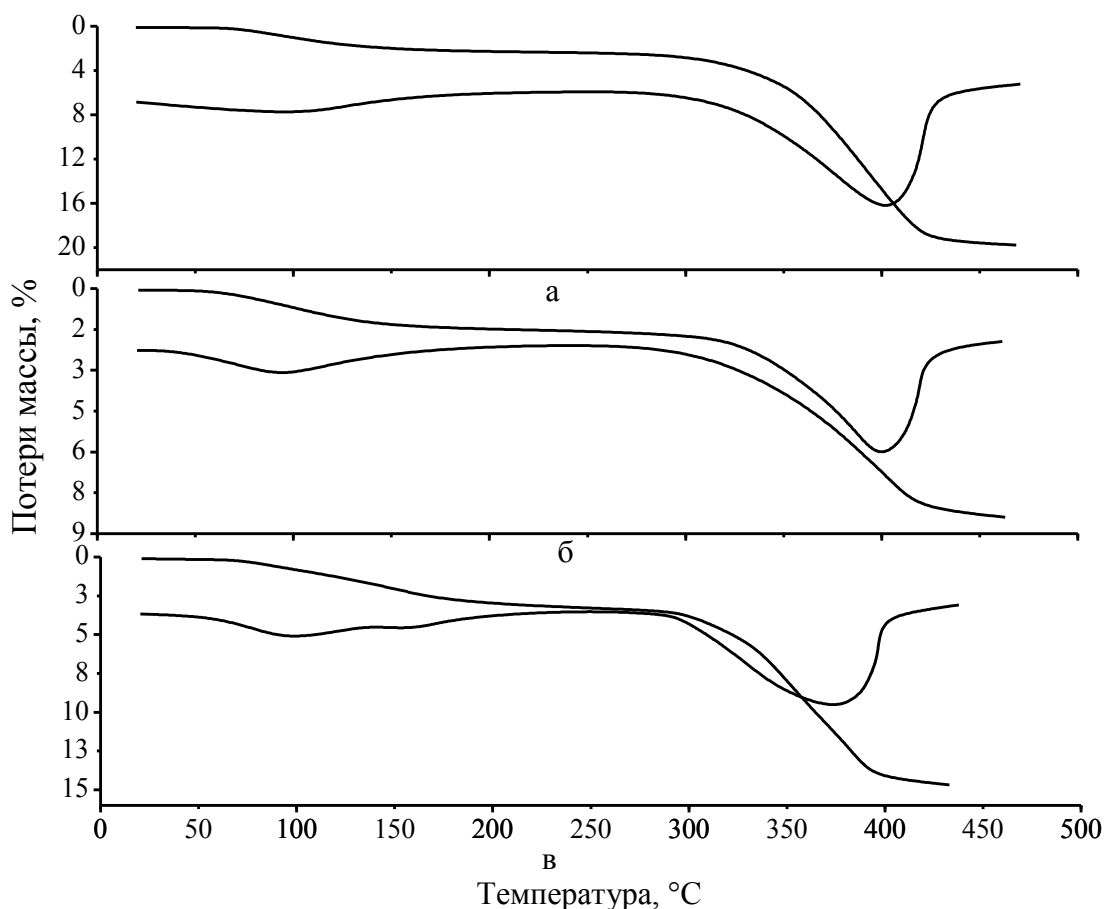


Рис. 4. Дериватограммы образцов: а – MgO-H₂O, 60 °С, 120 мин;
б – MgO-H₂O, 60 °С, 15 мин; в – MgO-ПВС, 25 °С, 120 мин

С целью определения оптимальных условий для получения гранул серопоглотителя с высокой механической прочностью выполнялись несколько опытов. Сначала путем перемешивания сухого оксида цинка и 5 % MgO с добавлением 4%-го раствора ПВС получили массу с оптимальной формовочной влажностью, которую затем формовали в гранулы. Таким способом было приготовлено три образца, время смешения оксидов с раствором ПВС у которых составляло 10, 20 и 40 мин соответственно. Оказалось, что с увеличением времени перемешивания механическая прочность возрастает с 10,60 до 15,24 МПа, что хорошо видно из данных, приведенных ниже:

Время смешения, мин	10	20	40
Механическая прочность при раздавливании, МПа	10,60	12,60	15,24

Вторая серия образцов была приготовлена с использованием 2%-го раствора ПВС и оксида магния, измельченного в течение 2, 5 и 10 мин. Механическая прочность формованных гранул серопоглотителя и средний размер частиц MgO и $Mg(OH)_2$ изменялись в зависимости от времени диспергирования MgO :

Время смешения, мин	2	5	10
Механическая прочность при раздавливании, МПа	3,8	4,6	7,3
Средний размер частиц MgO , нм	25,4	20,7	16,3
Средний размер частиц $Mg(OH)_2$, нм	14,4	15,1	19,7

Как видно из приведенных выше данных, механическая прочность в данной серии образцов также возрастает (с 3,8 до 7,3 МПа).

Анализ полученной информации позволяет сделать вывод, что на механическую прочность формованных гранул оказывают влияние дисперсность частиц и степень их гидратации (рис. 5).

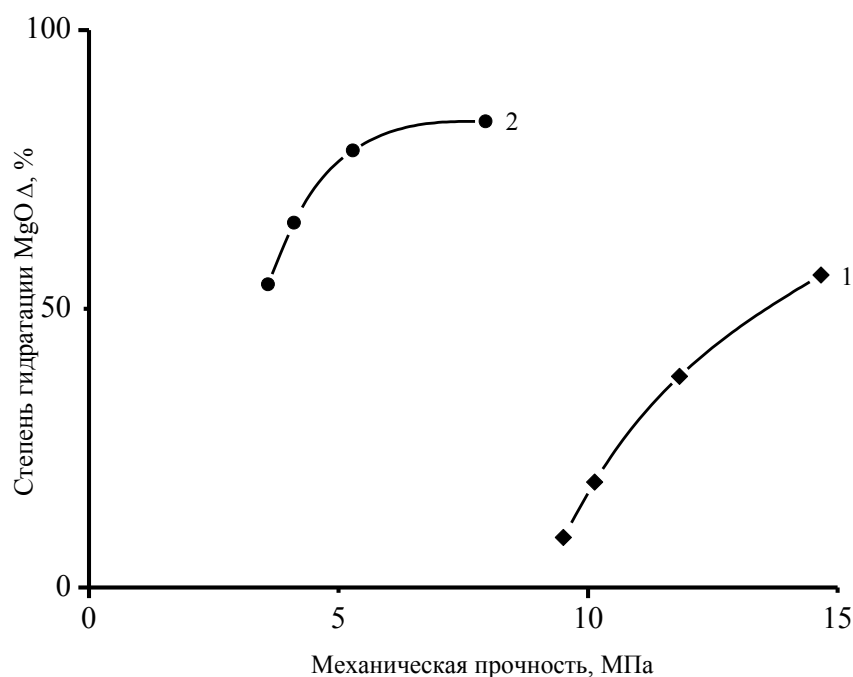


Рис. 5. Изменение механической прочности гранул серопоглотителя в зависимости от степени гидратации MgO : 1 – образец, полученный с использованием 4%-го раствора ПВС; 2 – образец, полученный с применением 2%-го раствора ПВС

Зависимость сероемкости исследованных образцов (рис. 6) показывает, что при достаточно высоком содержании в системе суспензии $MgO-H_2O$ не создаются прочные структуры, препятствующие получению однородной массы сорбента. Гидратированный оксид магния упрочняет структуру поглотителей на основе ZnO . Содержание ZnO в образцах адсорбентов оказывает влияние на общую сероемкость на всем интервале температур 100–350 °С. Максимум на дифференциальной кривой зависимости

сероемкости от температуры смещается в сторону более высоких температур при увеличении степени гидратации оксида магния. Это свидетельствует о меньшей реакционной способности, а следовательно, и адсорбционной активности образца, промотированного оксидом магния, время гидратации которого составляло 10 мин.

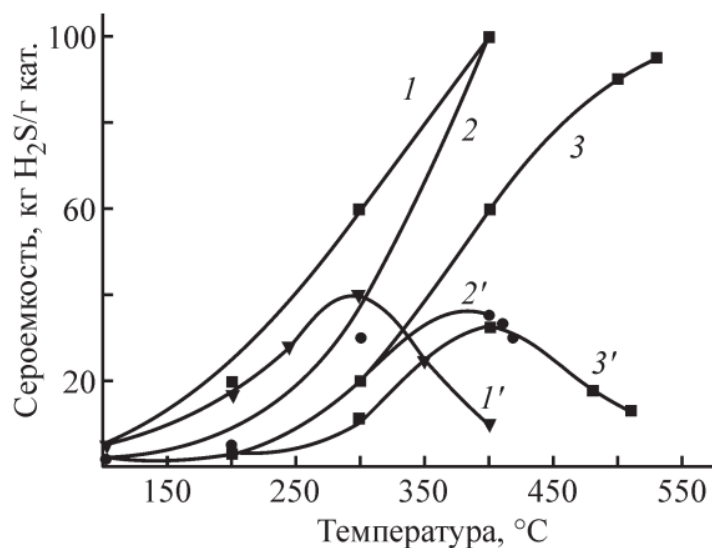


Рис. 6. Зависимость общей (1–3) и дифференциальной (1'–3') сероемкости от температуры для образцов при времени гидратирования MgO: 1, 1' – 10 мин; 2, 2' – 20 мин; 3, 3' – 40 мин

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для улучшения химико-реологических характеристик серопоглотителя на основе нанодисперсного ZnO в работе было предложено использовать промотирующую добавку в виде оксида магния разной степени гидратированности. Показано значительное влияние температуры, состава дисперсионной среды и диспергирования на процесс гидратации оксида магния. Методом рентгенофазового анализа определена степень гидратации серий образцов системы MgO-H₂O(ПВС), приготовленных различными способами. Показано влияние степени гидратации MgO на механическую прочность формованных гранул. Установлена зависимость сероемкости образцов от температуры. При увеличении степени гидратации оксида магния наблюдается смещение максимума на дифференциальной кривой в область высоких температур.

Полученные результаты могут быть использованы для улучшения технологии производства поглотителей сероводорода на основе оксида цинка.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-73-10210 (<https://rscf.ru/project/21-73-10210/>) и с применением ресурсов центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылов О.В. Гетерогенный катализ: учебное пособие для вузов. М.: Академкнига. 2004. 679 с.
2. Васильев Ю.В., Платонов О.И. Сравнительная оценка активности катализаторов процесса Клауса // *Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов: Труды III Всероссийской научной конференции с международным участием: в 2 т.* Иваново: ИГХТУ. 2018. Т. 2. С. 67–68.
3. Афанасьев С.В., Садовников А.А., Гартман В.Л., Обысов А.В., Дульнев А.В. Промышленный катализ в газохимии: монография / под ред. С.В. Афанасьева. Самара: СНЦ. 2018. 160 с.
4. Киенская К.И., Мазитова Г.Т., Сардушкин М.В., Белова И.А. Синтез и свойства нанодисперсий оксида цинка, стабилизированных катионными фосфорсодержащими ПАВ // *Химическая промышленность.* 2019. Т. 96. № 2. С. 79–83.
5. Каграманов Ю.А., Рыжков А.Ф., Осипов П.В., Тупоногов В.Г. Исследование устойчивости сорбента на основе оксида цинка // *Труды Седьмой российской национальной конференции по теплообмену: в 3 т.* М.: МЭИ. 2018. Т. 1. С. 394–397.
6. Кацман Е.А., Прокофьев В.Ю., Гордина Н.Е., Афанасьева Е.Е. [и др.]. Теория и практика гетерогенных катализаторов и адсорбентов: коллективная монография / под ред. О.И. Койфмана. М.: ЛЕНАНД. 2020. 584 с.
7. Прокофьев В.Ю., Разговоров П.Б., Ильин А.П. Основы физико-химической механики экструзионных катализаторов и сорбентов: монография. М.: КРАСАНД. 2013. 320 с.
8. Прокофьев В.Ю., Ильин А.П., Басова Т.В. Исследование ранних стадий приготовления хемосорбента на основе оксида цинка // *Известия вузов. Химия и химическая технология.* 2006. Т. 49. № 4. С. 90–95.
9. Патент РФ 2580731. *Способ получения ультрадисперсного оксида цинка* / Ларьков А.П., Хатьков В.Ю., Садовников А.А., Земляков Ю.Д., Добрыдnev С.В., Молодцова М.Ю. Заявл. 11.06.2014. Опубл. 10.04.2016. Бюл. № 10.
10. Каграманов Ю.А., Тупоногов В.Г., Рыжков А.Ф. Разработка системы глубокой сероочистки синтез-газов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика».* 2016. Т. 16. № 4. С. 5–11.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ВЕРЕС Ксения Андреевна – магистрант кафедры технологии неорганических веществ, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 153000, Россия, г. Иваново, пр-т Шереметевский, 7. E-mail: vereskami@gmail.com

УСОВ Владислав Вадимович – студент кафедры технологии неорганических веществ, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 153000, Россия, г. Иваново, пр-т Шереметевский, 7. E-mail: vladus1202@gmail.com

ИЛЬИН Александр Александрович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии неорганических веществ, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 153000, Россия, г. Иваново, пр-т Шереметевский, 7. E-mail: ilyin@isuct.ru

КОЧЕТКОВ Сергей Павлович – доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры строительного производства, филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный машиностроительный университет», 140402, Россия, Московская область, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, 408. E-mail: ilyin@isuct.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Верес К.А., Усов В.В., Ильин А.А., Кочетков С.П. Влияние степени гидратации MgO на свойства Zn-Mg поглотителя сероводорода // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 3 (15). С. 73–83.

**INFLUENCE OF MgO HYDRATION DEGREE
ON PROPERTIES OF Zn-Mg HYDROGEN SULFIDE ABSORB**

K.A. Veres, V.V. Usov, A.A. Ilyin, S.P. Kochetkov

Abstract. The physical and sorption characteristics of a hydrogen sulfide absorber based on zinc oxide have been studied. It is indicated that magnesium oxide of varying degrees of hydration was used as a promotional additive in the work. The results of a study using X-ray phase analysis of the MgO hydration process in water are presented. It was found that with an increase in the hydration time of the magnesium oxide additive from 10 to 40 min, the temperature of the maximum sulfur capacity of the sample increases by 100 °C.

Keywords: zinc absorber, magnesium oxide, sulfur capacity.

REFERENCES

1. Krylov O.V. Geterogennyy kataliz: uchebnoye posobiye dlya vuzov [Heterogeneous catalysis: Textbook for universities]. M.: Akademkniga. 2004. 679 p.
2. Vasiliev Yu.V., Platonov O.I. Comparative evaluation of the activity of catalysts in the Claus process. *Actual problems of the theory and practice of heterogeneous catalysts and adsorbents: Proceedings of the III All-Russian scientific conference with international participation: in 2 vol.* Ivanovo: ISHTU, 2018. Vol. 2, pp. 67–68. (In Russian).
3. Afanasiev S.V., Sadovnikov A.A., Gartman V.L., Obysov A.V., Dulnev A.V. Promyshlennyy kataliz v gazokhimii: monografiya [Industrial catalysis in gas chemistry: monograph] / ed. S.V. Afanasiev. Samara: SNC. 2018. 160 p.
4. Kienskaya K.I., Mazitova G.T., Sardushkin M.V. [et al.]. Synthesis and properties of zinc oxide nanodispersions stabilized by cationic phosphorus-containing surfactants. *Khimicheskaya promyshlennost'*. 2019. Vol. 96. No. 2, pp. 79–83. (In Russian).
5. Kagramanov Yu.A., Ryzhkov A.F., Osipov P.V., Tuponogov V.G. Study of the stability of a sorbent based on zinc oxide. *Proceedings of the seventh Russian national conference on heat transfer: in 3 vol.* Moscow: MPEI. 2018. Vol. 1, pp. 394–397.
6. Katsman E.A., Prokofiev V.Yu., Gordina N.E., Afanas'eva E.E. [et al.]. Teoriya i praktika geterogennykh katalizatorov i adsorbentov: kollektivnaya monografiya [Theory and practice of heterogeneous catalysts and adsorbents: a collective monograph] / ed. O.I. Koifman. Moscow: LENAND. 2020. 584 p.
7. Prokofiev V.Yu., Razgovorov P.B., Ilyin A.P. Osnovy fiziko-khimicheskoy mekhaniki ekstruzionnykh katalizatorov i sorbentov: monografiya [Fundamentals of physical and chemical mechanics of extrusion catalysts and sorbents: monograph]. Moscow: KRASAND. 2013. 320 p.

8. Prokofiev V.Yu., Ilyin A.P., Basova T.V. Investigation of the early stages of preparation of a chemisorbent based on zinc oxide. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 2006. Vol. 49. No. 4, pp. 90–95. (In Russian).
9. Patent RF 2580731. *Sposob polucheniya ul'tradispersnogo oksida tsinka* [Method for producing ultrafine zinc oxide]. Larkov A.P., Khatkov V.Yu., Sadovnikov A.A., Zemlyakov Yu.D., Dobrydnev S.V., Molodtsova M.Yu. Declared 06.11.2014. Published 04.10.2016. Bulletin No. 10. (In Russian).
10. Kagramanov Yu.A., Tuponogov V.G., Ryzhkov A.F. Development of a system for deep desulfurization of synthesis gases. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Energetika»*. 2016. Vol. 16. No. 4, pp. 5–11. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

VERES Ksenia Andreevna – Undergraduate of the Department of Technology of Inorganic Substances, FSBEI HE «Ivanovo State University of Chemistry and Technology», 7, Sheremetevsky ave., Ivanovo region, Ivanovo, 153000, Russia. E-mail: vereskami@gmail.com

USOV Vladislav Vadimovich – Student of the Department of Technology of Inorganic Substances, FSBEI HE «Ivanovo State University of Chemistry and Technology», 7, Sheremetevsky ave., Ivanovo region, Ivanovo, 153000, Russia. E-mail: vladus1202@gmail.com

ILYIN Alexander Alexandrovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technology of Inorganic Substances, FSBEI HE «Ivanovo State University of Chemistry and Technology», 7, Sheremetevsky ave., Ivanovo region, Ivanovo, 153000, Russia. E-mail: ilyin@isuct.ru

KOCHETKOV Sergey Pavlovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction Production, FSBEI HE «Moscow State Machine-Building University», 408, October Revolution st., Kolomna, Moscow region, 140402, Russia. E-mail: ilyin@isuct.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Veres K.A., Usov V.V., Ilyin A.A., Kochetkov S.P. Influence of MgO hydration degree on properties of Zn-Mg hydrogen sulfide absorb // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2022. No. 3 (15), pp. 73–83.

УДК 674.093

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЧЕРЕДНОГО УДЛИНЕНИЯ РЯДА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КИСЛОТНОСТЬЮ ОСАДКОВ, ВЫПАДАЮЩИХ В ТВЕРИ

Ф.В. Качановский

Тверской государственной технической университет (г. Тверь)

© Качановский Ф.В., 2022

Аннотация. Проведен статистический анализ динамики кислотности атмосферных осадков, выпавших в Твери в 1990–2021 годах. Установлено, что в последние пять-шесть лет наблюдавшееся ранее снижение значений водородного показателя