

7. Fedotov G. A. Razvitie dual'noj formy professional'nogo obrazovaniya v usloviyah social'nogo partnerstva. [Development of a dual form of professional education in the conditions of social partnership]. Moscow: Akademija poslediplomnogo obrazovaniya. [Academy of Postdegree Education]. 1998. 225 p. (In Russian)

8. Šauro E. V. Dual'noe obuchenie: iz opyta uchastija v pilotnom proekte. [Dual learning: from the experience of participation in the pilot project]. *Professional'noe obrazovanie. Stolica*. [Professional Education. The Capital]. 2015. № 5. P. 43–45. (In Russian)

9. Hensen R. F., Hippach-Schneider U. VET in Europe – Country Report Germany. 10th edition. Bonn, Germany: BIBB. 2012. 96 p. (Translated from English)

10. How the dual system – practical vocational and academic – works in Germany. Bonn, Germany: BIBB, 2012. 31 p. (Translated from English)

11. Ordinance on Vocational Education and Training in the Occupation of Mechatronics Fitter (English Version). Bonn, Germany: BIBB, 2013. 41 p. (Translated from English)

12. Rothe G. Die Systeme beruflicher Qualifizierung Deutschlands, Oesterreich und der Schweiz imVergleich. Wien, 2001. P. 1–5. (Translated from German)

13. Schelten A. Begriffe und Konzepte der berufspädagogischen Fachsprache. – Stuttgart: Franz Steiner Verlag, 2005. 164 p. (Translated from German)

14. Schelten A. Einführung in die Berufspedagogik, Stuttgart: Stainer, 1991. 289 p. (Translated from German)

15. Schulz K. The dual system of vocational training in Germany – presentation and criticism. Munchen [inter alia]: Grin Verlag, 2004. 28 p. (Translated from English)

УДК 54.060.55

Катышев Сергей Филиппович

доктор технических наук, профессор кафедры технологии неорганических веществ Уральского федерального университета им. Б. Н. Ельцина (РФ).

E-mail: sfkatyshev@mail.ru

Молодых Александр Станиславович

аспирант кафедры общей химии Уральского федерального университета им. Б. Н. Ельцина (РФ).

E-mail: mac86@mail.ru

Никоненко Евгения Алексеевна

кандидат химических наук доцент кафедры общей химии Уральского федерального университета им. Б. Н. Ельцина (РФ).

E-mail: eanik1311@mail.ru

Байкова Людмила Александровна

кандидат химических наук доцент кафедры общей химии Уральского федерального университета им. Б. Н. Ельцина (РФ).

E-mail: eanik1311@mail.ru

ИНТЕГРАЦИЯ НАУЧНОЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА: НА МАТЕРИАЛЕ ОПЫТА СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ В АТМОСФЕРЕ ВОЗДУХА И ПЕРЕГРЕТЫХ ВОДЯНЫХ ПАРАХ

Аннотация. Цель работы. Федеральный университет призван сегодня не только выполнять сугубо образовательные функции, но и быть научно-исследовательским и консультативным центром в различных областях знаний. Это направление деятельности вузов, в которой участвуют не только научные сотрудники и преподаватели, но и аспиранты и студенты, укрепляет связь высшей школы и производства и позволяет университетам готовить действительно высококвалифицированных специалистов, востребованных на рынке труда. В статье излагаются итоги одного из исследований прикладного характера, проведенного в Уральском федеральном университете им. первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Методы, использованные в работе: физико-химический анализ (ИК спектроскопия, рентгеннофазовый анализ), термолиз и термогидролиз нитрата магния.

Результаты. Продемонстрирован выбор способа термического разложения кристаллогидрата нитрата магния для улавливания соединений азота, вредных для окружающей среды; и для возвращения азотной кислоты на начальную стадию процесса. Определены величины тепловых эффектов, предложены механизмы термического разложения нитрата магния на воздухе и в перегретых водяных парах. Термогидролиз позволил получить чистый оксид магния и регенерировать азотную кислоту.

Научная новизна исследования состоит в том, что был получен чистый оксид магния способом, требующим меньших энергетических затрат.

Практическая значимость. Результаты исследования о регенерации азотной кислоты и ее многократном использовании при комплексной переработке сырья, содержащего магний, открывают новые перспективы для производства и могут применяться в качестве материалов для практических занятий по органической химии в аспирантуре по химическим специальностям.

Ключевые слова: термический гидролиз, термолиз, оксид магния, нитрат магния.

DOI: 10.17853/1994-5639-2016-3-56-69

Katyshev Sergey F.

*Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of Technology of Inorganic Substances Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (RF).
E-mail: sfkatyshev@mail.ru*

Molodykh Aleksandr S.

*Postgraduate, Department of General Chemistry, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg (RF).
E-mail: mac86@mail.ru*

Nikonenko Yevgeny A.

*Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of General Chemistry, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg (RF).
E-mail: eanik1311@mail.ru*

Baikova Ludmila A.

*Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of General Chemistry, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg (RF).
E-mail: eanik1311@mail.ru*

**INTEGRATION OF SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL
UNIVERSITY WORK: EXPERIENCE OF COMPARATIVE
ANALYSIS OF THE THERMAL DECOMPOSITION OF
 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ IN AIR AND SUPERHEATED WATER VAPOR**

Abstract. *The aim of the investigation is to select how the thermal decomposition of crystalhydrate magnesium nitrates to capture the nitrogen compounds that are harmful to the environment; for the return of nitric acid to the initial stage of the process.*

Methods. *The methods involve physical and chemical analysis (IR spectroscopy, rentgennofazovy analysis), thermolysis and thermal hydrolysis of magnesium nitrate.*

Results. *Magnitudes of thermal effects are determined; mechanisms of thermal decomposition of magnesium nitrate in air and overheated water vapor are posed. Thermohydrolysis renders possible to produce undiluted magnesium oxide and regenerate nitric acid.*

Scientific novelty. *Undiluted magnesium oxide was produced by the method that requires less energy consumption.*

Practical significance. *The research results on regeneration of nitric acid and its reuse in the raw material processing containing magnesium open new*

prospects for production and can be applied as course materials for a practical training in organic chemistry in postgraduate study on chemical specialties.

Keywords: thermal hydrolysis, thermolysis, magnesium oxide, nitrate magnesium.

DOI: 10.17853/1994-5639-2016-3-56-69

В настоящее время федеральные университеты призваны выполнять функции научно-исследовательских, образовательных и консультативных центров в различных областях знаний. Вуз, взаимодействуя с производством, должен не только удовлетворять потребности экономики в высококвалифицированных специалистах, но и заниматься научными разработками, способствующими появлению и распространению современных нанотехнологий. Эти направления деятельности университета взаимосвязаны, так как позволяют обеспечить качественную теоретическую подготовку студентов и аспирантов, отвечающую реальным нуждам экономики, и погрузить обучающихся в практическую исследовательскую работу, соответствующую получаемой ими специальности и будущей профессии. Подобные разработки прикладного характера ведутся в Уральском федеральном университете им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. Наша статья является примером таких исследований.

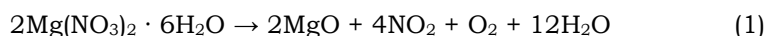
При комплексной переработке окисленной никелевой руды Серовского месторождения [4–7, 9] получен шестиводный нитрат магния, из которого при нагревании образуются оксид магния и нитрозные газы. Для выбора способа регенерации азотной кислоты был проведен сравнительный анализ термического разложения нитрата магния в атмосфере воздуха (термолиз) и в перегретых водяных парах (термогидролиз).

Термолиз исследуемого вещества проводили на дифференциально сканирующем калориметре STA 449 F3 Jupiter (Netzsch-Geratebau GmbH) по методике DIN 51004:1994. Скорость нагрева образца составляла 2,5 К/мин. Полученные данные представлены на рис. 1.

Тепловые эффекты, определенные с помощью программного обеспечения NETZSCH имеют, соответственно, значения (Дж/г): –980,3; –6,21; –760,6, т. е. процесс разложения сопровождается поглощением тепла.

Согласно расчету по кривой убыли массы (рис. 1, кривая 1) [11], выявлены предполагаемые стадии процесса разложения (таблица).

В общем виде термическое разложение гексагидрата нитрата магния до оксида магния в атмосфере воздуха может быть выражено суммарным уравнением:



Анализ продуктов разложения нитрата магния показал, что до 200 °С происходит потеря молекул воды по реакциям 1 и 2 (таблица). При температуре 410 °С кристаллизационная вода удаляется полностью – реакция 3 (таблица). Дальнейшая потеря массы соответствует реакции 4, окончание процесса наблюдается при температуре 460–480 °С. Данные подтверждаются кривой убыли массы (ТГ) (см. рис. 1).

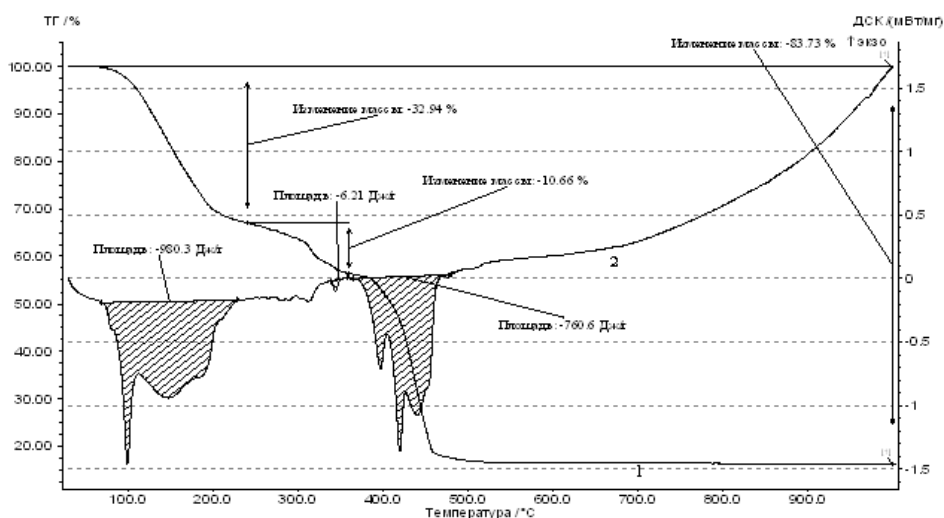


Рис. 1. Дериватограмма $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$
1 – кривая потери массы (ТГ), 2 – кривая тепловых эффектов (ДТА)

Возможные реакции, протекающие при термическом разложении нитрата магния

Номер	Реакция	Потеря массы, %
1	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O \xrightarrow{t} Mg(NO_3)_2 \cdot 4H_2O + 2H_2O$	14,05
2	$Mg(NO_3)_2 \cdot 4H_2O \xrightarrow{t} Mg(NO_3)_2 \cdot 2H_2O + 2H_2O$	28,1
3	$Mg(NO_3)_2 \cdot 2H_2O \xrightarrow{t} Mg(NO_3)_2 + 2H_2O$	42,14
4	$2Mg(NO_3)_2 \rightarrow 2MgO + 2NO_2 + O_2$	84,27

Согласно данным рентгенофазового анализа (рис. 2), конечным продуктом термического разложения шестиводного нитрата магния является оксид магния [11, 12, 14], но на ИК спектре вещества, полученного при нагревании до 500 °С, наблюдаются полосы поглощения 1453, 1379,

684 см^{-1} [8], относящиеся к колебаниям нитрато-группы, при нагревании на воздухе происходит неполное разложение нитрата магния.

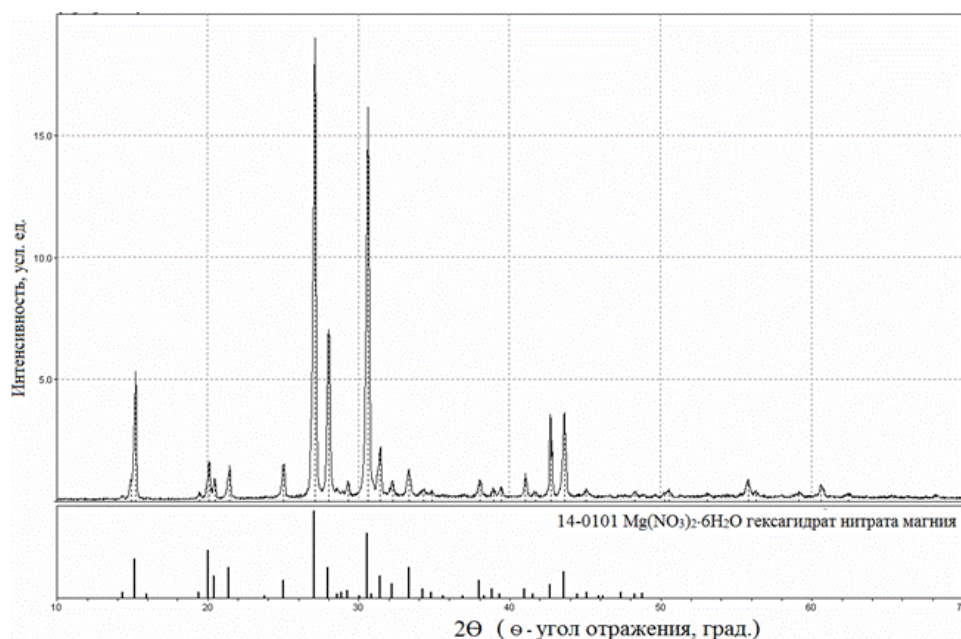


Рис. 2. Рентгенограмма (1) и штрих-рентгенограмма (2) продукта термического разложения $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, полученного нагреванием при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$

Для получения более чистого продукта и, возможно, уменьшения количества стадий разложения, был исследован процесс термогидролиза нитрата магния.

Термогидролиз $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ осуществлялся на дифференциально сканирующем калориметре STA 449 F3 Jupiter (Netzsch-Geratebau GmbH) с подачей перегретого водяного пара. Измерения проводились при скорости нагрева $2,5\text{ K/мин}$, масса образца составляла $34,7\text{ мг}$. Полученные данные представлены на рис. 3.

Первоначально – до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ – процесс проходил в атмосфере воздуха. При этом на ДТА (рис. 3, кривая 1) наблюдались 2 эндозффекта – при 90 и $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Первый эндозффект обусловлен плавлением образца в своей кристаллизационной воде. Второй эндозффект – при $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ – сопровождается убылью массы образца. Расчет по ТГ показал, что убыль массы составляет приблизительно 26% , что соответствует удалению 4 молекул воды и образованию дигидрата нитрата магния.

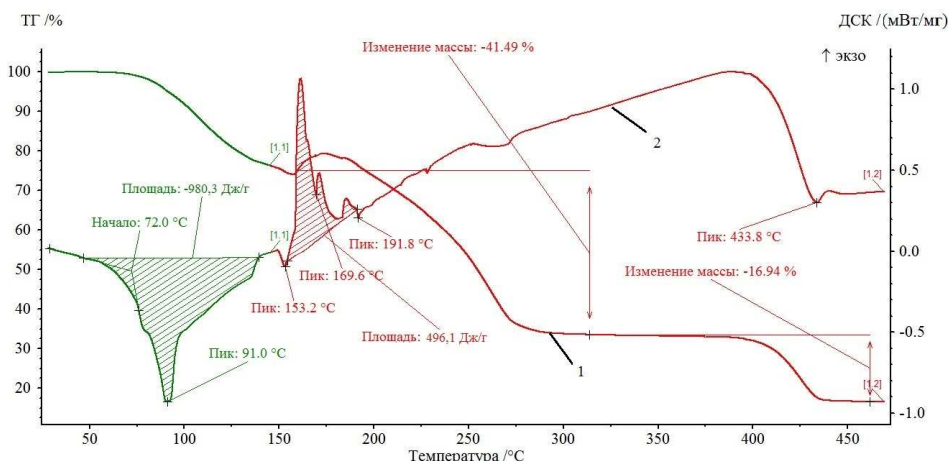
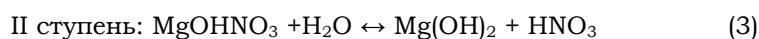
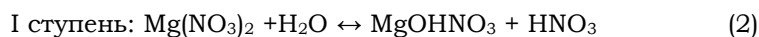


Рис. 3. Определение величин тепловых эффектов и изменения массы при термическом гидролизе $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$:
1 – кривая потери массы (ТГ); 2 – кривая тепловых эффектов (ДТА)

Далее в реакционную камеру подавались водяные пары с температурой 150 °С. На ДТА появились несколько экзоэффектов (при 165, 175, 190 °С). На ТГ наблюдалась прибыль массы. Экзоэффекты, скорее всего, объясняются процессом гидратации, который сопровождается увеличением массы образца (рис. 3, кривая 2).

При температуре выше 175 °С происходит процесс термогидролиза, который можно выразить следующими уравнениями реакций:



Поскольку процесс диссоциации воды является эндотермическим, а температура водяных паров составляет 150 °С, то диссоциация воды усиливается и возможно протекание гидролиза по второй ступени (7).

Рентгенограмма продукта термогидролиза ($t = 175$ °С) приведена на рис. 4. Установлено присутствие фазы $\text{Mg}_3(\text{OH})_4(\text{NO}_3)_2$, которую можно представить как сумму двух веществ $2\text{MgOHNO}_3 + \text{Mg}(\text{OH})_2$. В ИК спектре (рис. 5) наличие ОН-групп подтверждает полоса поглощения $\nu(\text{OH}) - 3606 \text{ см}^{-1}$.

В интервале температур 300–390 °С обнаружена устойчивая фаза: на кривой ТГ наблюдается горизонтальная площадка. Возможно также одновременное присутствие гидроксонитрата и гидроксида магния, но в другом их соотношении.

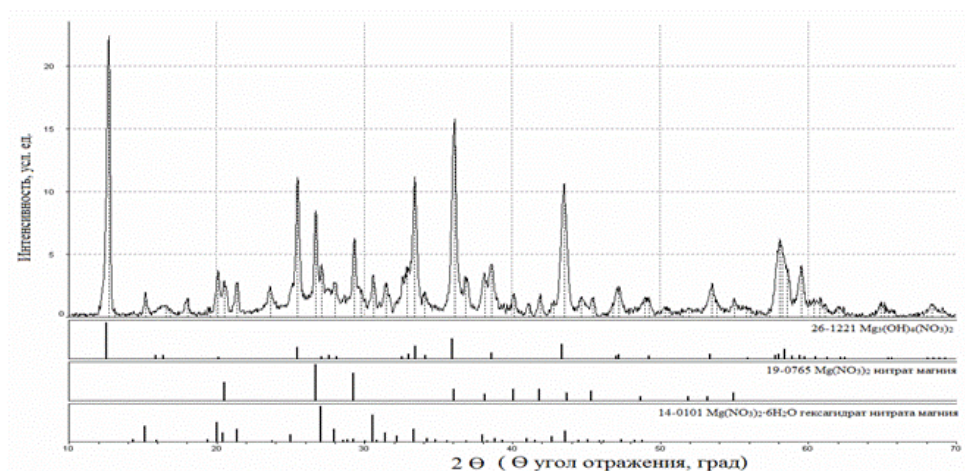


Рис. 4. Рентгенограмма (1) и штрих рентгенограммы (2) предполагаемых продуктов термогидролиза $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ при 175 °С

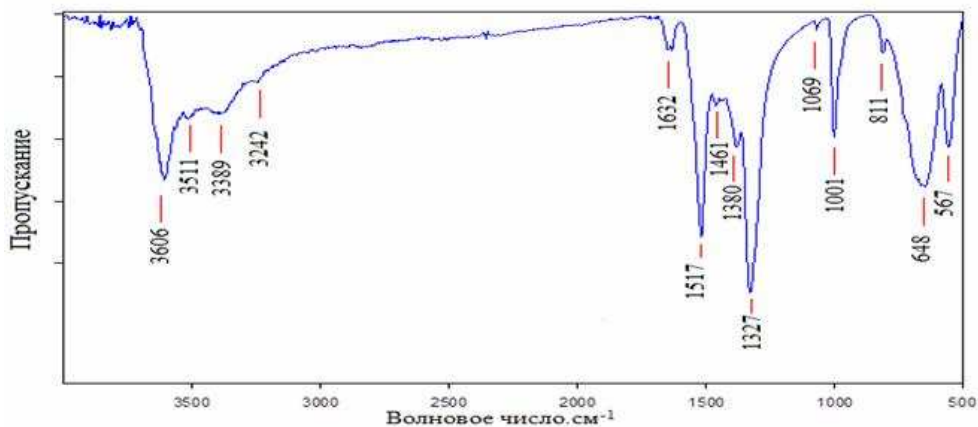


Рис. 5. ИК-спектры продуктов термогидролиза $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ при 175 °С

Рентгенограмма вещества, полученного при 500 °С, соответствует чистому оксиду магния. Фазовая чистота полученного MgO устанавливалась путем сравнения рентгенограммы образца с данными картотеки порошковых PDF2 (Powder diffraction file, ICDD, США)

Тепловые эффекты, определенные с помощью программного обеспечения NETZSCH, имеют, соответственно, значения (Дж/г): – 980,3 и 496,1, т. е. процесс разложения сопровождается поглощением и выделе-

нием тепла [10]. Следовательно, при термогидролизе на получение оксида магния из нитрата магния требуется меньше энергии.

Для исследования возможности регенерации азотной кислоты была использована лабораторная установка. Разложение нитрата магния в присутствии паров воды проводилось в трубчатой печи (рис. 6) [1, 2, 13]. В печь помещали кварцевую трубку, в которую в дальнейшем вводили фарфоровую лодочку с нитратом магния. Температуру измеряли непосредственно в трубке над лодочкой с помощью хромель-алюмелевой термопары. Температуру поддерживали с помощью лабораторного трансформатора, колебания ее не превышали $\pm 5^\circ\text{C}$. Перегретый пар получали в колбе-парообразователе с последующим нагреванием его в змеевике из меди. Навеска образца составляла 7 г.

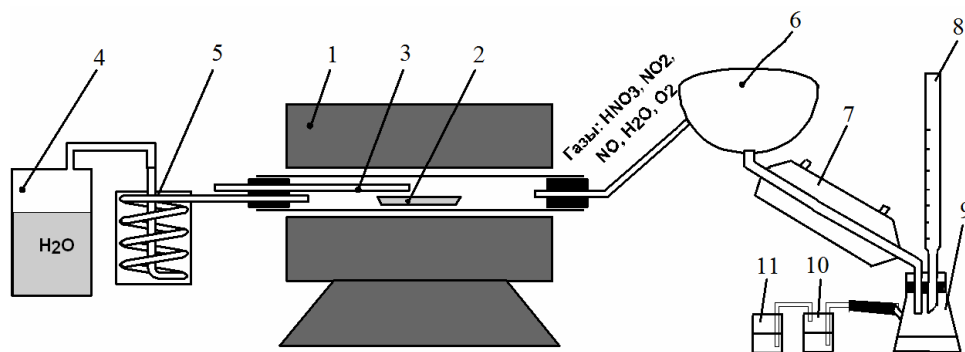


Рис. 6. Схема установки для изучения термического гидролиза $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$:

1 – печь; 2 – фарфоровая лодочка; 3 – термопара; 4 – парообразователь;
5 – пароперегреватель; 6 – колба-ловушка; 7 – холодильник; 8 – бюретка;
9 – приемник; 10 и 11 – ловушки

Пар из парообразователя (4) направляли в пароперегреватель (5) и затем вводили в реакционную трубку муфельной печи (1). По мере продвижения пара по трубке к зоне реакции происходило его дополнительное нагревание до температуры опыта. Система нагревалась до необходимой температуры при установившемся потоке. Затем в трубку быстро вводили фарфоровую лодочку (2) с шести водным нитратом магния. Одновременно увеличивали напряжение в печи. Благодаря тому, что стенки кварцевой трубки были предварительно нагреты, температура в реакционной зоне быстро выравнивалась, создавался равномерный нагрев образца при сохранении постоянной температуры в печи.

Выделяющиеся в процессе термического гидролиза азотная кислота, оксиды азота и кислород и пары воды направляли в колбу-ловушку (6), а затем в холодильник (7). При этом происходила конденсация азотной кислоты и паров воды. Наряду с этим имел место парогазовый синтез азотной кислоты. Сконденсированная азотная кислота собиралась в приемнике (9), где периодически титровалась раствором щелочи из бюретки (8). Остаточные количества оксидов азота улавливались (10, 11) растворами гидроксида натрия и перманганата калия. Скорость образования конденсата регулировалась количеством подаваемого пара и составила 1–2 мл/мин.

Скорость разложения нитрата магния контролировали по суммарному количеству выделяющихся азотной и азотистой кислот.

Изучение влияния температуры на степень разложения $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ показало, что с повышением температуры увеличивается степень разложения соли, составляя 88, 92, 94, 91% при 320, 400, 460, 510 °С, соответственно (рис. 7, а).

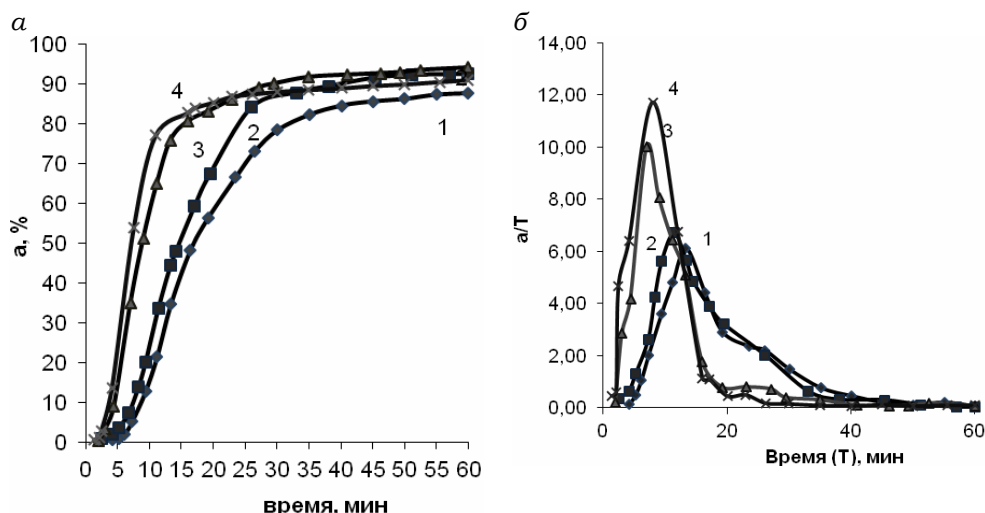


Рис. 7. Зависимость степени разложения (а) и скорости реакции (б) от температуры проведения процесса разложения $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$: 1 – 320 °С; 2 – 400 °С; 3 – 460 °С; 4 – 510 °С

Установлено, что в процессе термического гидролиза нитрата магния в потоке перегретого пара выделяются азотная кислота – 92–94%, азотистая кислота – до 2% и 2–6% оксидов азота от общего количества газообразных продуктов распада.

Анализ влияния температуры на скорость реакции позволил сделать вывод о том, что с повышением температуры заметно возрастает скорость реакции (рис. 7, б). При этом значительно уменьшается время дос-

тижения максимальных значений, так при 510 °С максимум скорости реакции достигается уже через 8 минут от начала процесса. Нарастание и спад скорости процесса разложения происходит очень резко. При температуре 350 °С скорость реакции увеличивается плавно, достигая максимума через 13–14 минут, затем наблюдается медленный ее спад. Процесс разложения $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ сопровождается уменьшением массы исходной соли, что соответственно приводит к уменьшению реакционной поверхности и снижению скорости реакции [3].

Выводы

Таким образом, сравнение полученных данных по термическому разложению шестиводного нитрата магния в атмосфере воздуха и в паровоздушной среде (термогидролиз) показало разный механизм разложения. Термогидролиз протекает через образование основной соли или гидроксида магния, а при разложении на воздухе данные соединения в продуктах разложения не были обнаружены методами рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии. Разложение шестиводного нитрата магния в перегретом водяном паре сопровождается меньшими затратами энергии. Получен оксид магния высокой чистоты 99,8%.

Кроме того, в процессе термогидролиза удалось произвести улавливание нитрозных газов и возвращение выщелачивающего агента (азотной кислоты) в исходный процесс разложения сырья. Таким образом, нами разработана новая технология комплексной, безотходной переработки окисленной никелевой руды Серовского месторождения. Этот способ позволяет решить экологическую проблему, так как все опасные для жизнедеятельности азотсодержащие соединения не контактируют с окружающей средой.

Наше исследование является лишь одним из примеров деятельности высших учебных заведений, которые, взаимодействуя с производством, не только удовлетворяют потребности экономики в новых специалистах, но и занимаются научными прикладными разработками. Результаты исследования о регенерации азотной кислоты и ее многократном использовании при комплексной переработке сырья, содержащего магний, открывают новые перспективы для производства и могут применяться в качестве материалов для практических занятий по органической химии в аспирантуре по химическим специальностям.

*Статья рекомендована к публикации
д-ром хим. наук, проф. Ин-та химии УрО РАН Г. В. Базуевым*

Литература

1. Вайтнер В. В. Исследование азотнокислотной переработки алюмосиликатов для получения оксида алюминия: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2004. 103 с.
2. Габдуллин А. Н. Разработка способа азотнокислотной переработки серпентинита Баженовского месторождения: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2015. 135 с.
3. Есин О. А., Гельд П. В. Физическая химия термохимических процессов. Ч. 1. Свердловск: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1962. 672 с.
4. Калиниченко И. И., Вайтнер В. В., Молодых А. С., Шубин В. Н. Способ переработки окисленных никелевых руд. Патент РФ 2532871. Заявка № 2013118820/02 от 23.04.2013 (опубл. 10.11.2014).
5. Калиниченко И. И., Габдуллин А. Н., Молодых А. С., Вайтнер В. В. Азотнокислотные способы переработки глинозем- и магнийсодержащего сырья // Наука и технологии. Труды XXIX Российской школы. Москва: РАН, 2009. С. 308–313.
6. Калиниченко И. И., Габдуллин А. Н., Молодых А. С., Вайтнер В. В. Комплексные способы азотнокислотной технологии переработки некондиционного магний-, никель- и глиноземсодержащего сырья: тезисы доклада // Наука и технологии. Труды XXIX Российской школы. Миасс: МСНТ, 2009. С. 116.
7. Молодых А. С., Габдуллин А. Н., Калиниченко И. И. Безотходная азотнокислотная переработка окисленных никелевых руд и серпентинита – отхода производства асбеста // Актуальные вопросы современной техники и технологий: сборник докладов Международной заочной конференции. Липецк: Дефакто, 2010. Т. 2. С. 86–89.
8. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. Москва: Мир, 1966. 412 с.
9. Низов В. А., Бакиров А. Р., Мащенко В. Н. Способ обогащения окисленных никелевых руд. Патент РФ № 2458742 МПК В03В7/00, В03С1/00, С22В23/00 / заявитель и патентообладатель – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина». Заявка № 2011107516/03 от 25.02.2011 (опубл. 20.08.2012).
10. Панченков Г. М., Лебедев В. П. Химическая кинетика и катализ. Москва: Химия, 1985. 590с.
11. Belousov M. V., Rakipov D. F., Nikonenko E. A., Kolesnikova M. P., Bisevov A. G. Research of activity of burned dolomite in production of magnesium // Technology and Higher Education: materials of the international research and practice conference Science. Westwood (Canada), 2012. P. 142–148.
12. Belousov M. V., Rakipov D. V., Nikonenko E. A., Kolesnikova M. P. Alternative way of Development of magnesium production in Russia // Global Sci-

ence and Innovation Materials of The 11 International Scientific conference. 2014. Vol. II, May 21–22. P. 222–225. Chicago (USA).

13. Katyshev S. F., Molodykh A. S., Nikonenko E. A., Zemlyanoy K. G. Examination of Processes Thermolysis and Thermohydrolysis $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ // Eastern European Scientific Journal (Gesellschaftswissenschaften). 2014. № 6. P. 142–147. Düsseldorf (Germany): Auris Verlag.

14. Katyshev S. F., Gabdullin A. N., Nikonenko E. A., Rakipov D. F. Condition investigation of nitric acid leaching of serpentinite // Eastern European Scientific Journal (Gesellschaftswissenschaften). 2014. № 6. P. 136–141. Düsseldorf (Germany): Auris Verlag.

15. Selivanov E. N., Belousov M. V., Rakipov D. F. Developing silicothermal technology of magnesium production in Sverdlovsk region // The collection of works 69th Annual World Magnesium Conference IMA. San Francisco, 2012. P. 99–101.

References

1. Vaytner V. V. Issledovanie azotno kislotoj pererabotki alyumosilikatov dlya polucheniya oksida alyuminiya. [Investigation of nitrogen acid recycling aluminum silicates for alumina]. Cand. Diss. Yekaterinburg, 2004. P. 103. (In Russian)

2. Gabdullin A. N. [Razrabotka sposoba azotnokislotoj pererabotki serpentinita Bazhenovskogo mestorozhdeniya. [Development of a method of processing of nitric acid Bazhenovsky serpentinite deposits]. Cand. diss. Yekaterinburg, 2015. 135 p. (In Russian)

3. Esin O. A., Geld P. V. Fizicheskaya himiya termohimicheskikh processov. [Physical chemistry of thermochemical processes]. Part 1. Sverdlovsk: Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo literatury po chernoj i cvetnoj metallurgii. [State Scientific-Technical Publishing House Of Literature On Ferrous And Nonferrous Metallurgy]. 1962. P. 672. (In Russian)

4. Kalinichenko I. I., Vaytner V. V., Molodykh A. S. Sposob pererabotki okislennykh nikel'nykh rud. [Method for processing oxidized nickel ores]. Patent RF 2532871. [Patent RF № 2532871]. Zayavka № 2013118820/02 ot 23.04.2013 (opubl. 10.11.2014). [Application № 2013118820/02 (published 04.23.2013. 10/11/2014)]. (In Russian)

5. Kalinichenko I. I., Gabdullin A. N., Molodykh A. S., Vaytner V. V. Nitric acid processing methods Alumina and magnesium-containing raw materials. *Nauka i tehnologii. [Science and Technology]. Trudy XXIX Rossijskoj shkoly. [Proceedings of the XXIX Russian School]. Moscow: Rossijskaya Akademiya nauk. [Russian Academy of Sciences]. 2009. P. 308–313. (In Russian)*

6. Kalinichenko I. I., Gabdullin A. N., Molodykh A. S., Vaytner V. V. Complex methods of nitric acid substandard magnesium-processing technology, and alumina-nickel raw materials. *Nauka i tehnologii. [Science and Technology]. Trudy XXIX Rossijskoj shkoly. [Proceedings of the XXIX Russian School]. Miass: Mezhhregional'nyj sovet po nauke i tehnologiyam. [Inter-regional Council on Science and Technologies]. 2009. P. 116. (In Russian)*

7. Molodykh A. S., Gabdullin A. N., Kalinichenko I. I. Waste-free processing of nitric acid oxidized nickel ores and serpentinite – waste production of asbestos. *Aktual'nye voprosy sovremennoj tekhniki i tehnologij: sbornik dokladov Mezhdunarodnoj zaochnoj konferencii. [Actual Problems of Modern Techniques and Technologies: Proceedings of the International Conference]*. Lipetsk: Publishing House De-fakto. [De Facto]. 2010. Vol. 2. P. 86–89. (In Russian)
8. Nakamoto K. *Infrakrasnye spektry neorganicheskikh i koordinacionnykh soedinenij. [Infrared spectra of inorganic and coordination compounds]*. Moscow: Publishing House Mir. [World]. 1966. 412 p. (In Russian)
9. Nizov V. A., Bakirov A. R., Mashchenko V. N. Sposob obogascheniya oksislennykh nikelovykh rud. [The method of oxidized nickel ores]. Patent RF № 2458742 MPK B03B7/00, B03C1/00, C22B23/00 / заявитель i патентообладатель - Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Ural'skij federal'nyj universitet imeni pervogo Prezidenta Rossii B. N. El'cina». [Patent RF № 2458742 IPC B03B7/00, B03C1/00, C22B23/00 / заявитель патенте and the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «The Ural Federal University named after the first Russian President B. N. Yeltsin»]. Zayavka № 2011107516/03 ot 25.02.2011 (opubl. 20.08.2012). Application № 2011107516/03 on 25.02.2011. (published 20.08.2012)]. (In Russian)
10. Panchenkov G. M., Lebedev V. P. *Himicheskaya kinetika i kataliz. [Chemical kinetics and catalysis]*. Moscow: Publishing House Himiya. [Chemistry]. 1985, 590 p. (In Russian)
11. Belousov M. V., Rakipov D. F., Nikonenko E. A., Kolesnikova M. P., Biserov A. G. Research of activity of burned dolomite in production of magnesium. *Technology and Higher Education: materials of the international research and practice conference Science*. Westwood (Canada), 2012. P. 142–148. (Translated from English)
12. Belousov M. V., Rakipov D. V., Nikonenko E. A., Kolesnikova M. P. Alternative way of Development of magnesium production in Russia. *Global Science and Innovation Materials of the 11 International Scientific conference*. 2014. Vol. II, May 21–22. P. 222–225. Chicago, USA. (Translated from English)
13. Katyshev S. F., Gabdullin A. N., Nikonenko E. A., Rakipov D. F. Condition investigation of nitric acid leaching of serpentinite. *Eastern European Scientific Journal (Gesellschaftswissenschaften)*. 2014, № 6. P. 136–141. Düsseldorf (Germany): Auris Verlag. (Translated from English)
14. Katyshev S. F., Molodykh A. S., Nikonenko E. A., Zemlyanoy K. G. Examination of Processes Thermolysis and Thermohydrolysis $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. *Eastern European Scientific Journal (Gesellschaftswissenschaften)*. 2014, № 6. P. 142–147. Düsseldorf (Germany): Auris Verlag. (Translated from English)
15. Selivanov E. N., Belousov M. V., Rakipov D. F. Developing silicothermal technology of magnesium production in Sverdlovsk region. *The collection of works 69th Annual World Magnesium Conference IMA*. San Francisco, 2012. P. 99–101. (Translated from English)