



УДК 543.39: 665.081

Поступила 15.09.2017

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ НА ЕЕ СОЛЕСОДЕРЖАНИЕ И СТЕПЕНЬ ОСВЕТЛЕНИЯ

THE EFFECT OF CHEMICAL TREATMENT OF RECYCLED WATER IN THE PRODUCTION OF MINERAL WOOL ON ITS SALINITY AND LIGHTNESS

А. С. ПАНАСЮГИН, С. В. ГРИГОРЬЕВ, А. И. ТЕРАН, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: niilogaz@tut.by,

А. Р. ЦЫГАНОВ, Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13А. E-mail: tziganov@belstu.by, Н. П. МАШЕРОВА, Военная академия Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 220. E-mail: masherov.petr@mail.ru,

Н. Д. ПАВЛОВСКИЙ, Гродненский государственный медицинский университет, г. Гродно, Беларусь, ул. Горького, 80

A. S. PANASYUGIN, S. V. GRIGOR'EV, A. I. TERAN, Belarusian National Technical University,

Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: niilogaz@tut.by, A. R. TSYGANOV, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13A, Sverdlova str. E-mail: tziganov@belstu.by,

N. P. MASHEROVA, Military Academy of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus, 220, Nezavisimosti ave. E-mail: masherov.petr@mail.ru, N. D. PAWLOWSKI, Grodno State Medical University, Grodno, Belarus, 80, Gorky str.

В ходе выполнения работ по оценке влияния химической обработки оборотной воды производства минеральной ваты на ее солесодержание и степень осветления установлено, что наиболее пригодным реагентом для решения поставленных задач является 25%-ный водный раствор аммиака. Показано, что оптимальным количеством аммиака для проведения процесса осаждения является диапазон 4–6 мл/дм³, меньшее количество не дает заметного осветления оборотной воды и снижения сухого остатка, большее приводит к повторному растворению уже образовавшегося осадка и соответственно к снижению доли осветленной воды и увеличению содержания растворенных солей. Установлен трехстадийный характер процесса взаимодействия аммиака и оборотной воды.

Выявлено, что процесс осаждения в системе оборотная вода – аммиак на начальном этапе лимитирует химическая стадия зародышеобразования (формирование кристаллического осадка), далее – реакции на границе раздела фаз (образование на поверхности исходного зародышей сплошного продукта реакции), а на заключительной стадии – рост сплошного слоя продукта реакции и еще непрореагировавшего аммиака.

In progress to assess the impact of chemical treatment of recycled water in the production of mineral wool, its salinity and the degree of clarification found that the most suitable reagent to achieve the objectives is a 25% aqueous ammonia solution. It is shown that the optimum quantity of ammonia to initiate the process of deposition is in the range of 4–6 ml/dm³, lower number gives a noticeable lightening of recycled water and reduction of solids, a larger leads to a re-dissolution of already formed sludge and therefore to reduce the share of bleached water and increase the content of dissolved salts.

Installed three stage character of the process of interaction of ammonia and recycled water. It is revealed that the deposition process in the recycling system water – ammonia at the initial stage limits the chemical stage of nucleation (the formation of a crystalline precipitate), followed by reaction at the interface (the formation on the surface of the original germs of continuous product.

Ключевые слова. Минеральная вата, аммиак, кинетика, степень осветления.

Keywords. Mineral wool, ammonia, kinetics, degree of clarification.

Интенсивное развитие промышленности приводит к значительному росту различных типов отходов, в частности, сталеплавильных шлаков, что характеризуется высокой антропогенной нагрузкой на окру-

жающую среду из-за несовершенства технологических процессов и накопления огромного количества данного класса отходов, что, в свою очередь, делает более сложным обеспечение экологической безопасности прилегающих территорий. Это выражается в том, что для их безопасного хранения необходимо создание специализированных промплощадок и полигонов, при отсутствии которых в ходе контакта с атмосферной влагой очаги загрязнений становятся делокализованными, и на несколько порядков могут превышать площади их первоначального складирования [1, 2].

Сталеплавильные шлаки с экономической точки зрения могут рассматриваться как потенциальное вторичное сырье и составляющих компонентов для производства строительных материалов: портландцементного клинкера, керамзита, кирпича, асфальтобетона при соответствующем технологическом и нормативном обеспечении [3, 4].

Внедрение малоотходных технологий стимулирует реализацию мероприятий по охране окружающей среды: выявление ресурсной ценности и полезных свойств металлургических шлаков, обоснование целесообразности их утилизации в качестве технических материалов и компонентов при производстве различных изделий, в частности минеральных ват (шлаковат).

В настоящее время минеральная вата используется в различных областях промышленности в качестве термоизоляционного и звукопоглощающего материалов, интерес к которым обусловлен, прежде всего, следующими ее свойствами:

1. Высокой огнестойкостью. При производстве некоторых сортов ваты используются лишь негорючие расплавы силикатных пород. Это обеспечивает материалу высокую степень огнестойкости. Такая вата не горит под действием высоких температур, а также не деформируется. По этой причине минеральной ватой обшивают помещения, где хранятся различные огнеопасные вещества.

2. Устойчивостью к химическим веществам. Вата плохо вступает в химические реакции с различными химическими веществами, что позволяет использовать ее для обшивки лабораторий, различных цехов.

3. Устойчивостью к биологическим раздражителям. Минеральную вату не любят ни грибки, ни различные вредные насекомые и грызуны.

4. Незначительной усадкой. Многие материалы со временем усаживаются, теряя свой первоначальный объем. Это особенно критично для различных стыковых конструкций, когда уменьшение размера одного из блоков может привести к нарушению герметичности в помещении. Минеральная вата лишена этого недостатка.

5. Крайне низкой гигроскопичностью некоторых сортов минеральной ваты. Жесткая минеральная вата поглощает до 0,5% жидкости. По этой причине материал не накапливает воду.

6. Высокой паропроницаемостью. Вата хорошо пропускает различные водяные испарения. Это позволяет быстро удалять из комнаты неприятные запахи. Конденсат не оседает на такую вату.

7. Высокими звукоизолирующими свойствами. Такой ватой можно обшивать помещения не только с целью утепления, но и защиты комнаты от посторонних шумов.

8. Экологичностью. Материал безопасен для человека и не вызывает никаких аллергических реакций.

9. Простотой монтажа. Изготавливают минеральную вату специально с целью облегчения утепления помещений.

10. Долговечностью. Эксплуатационный срок составляет около 70 лет.

Процесс производства минеральной ваты состоит в следующем. Шихту подают в вагранку, где она разогревается до температуры 1290-1350 °С, затем сплав подвергают диспергированию и перерабатывают в маты. В ходе производственного процесса образуется значительное количество газовых выделений, содержащих преимущественно оксид углерода, оксиды азота, серы и механические примеси мелкодисперсных компонентов шихты (табл. 1). Для улавливания данных выбросов и охлаждения отходящих газов, температура, которых достигает 120-400 °С, в очистных сооружениях используют мокрую очистку.

В связи с тем что газовые выбросы обладают кислотными свойствами, рН оборотной воды составляет 4,5-5,2, это является одной из основных причин выщелачивания из механических примесей ионов алюминия, железа, кремния, кальция, магния и т.д. Это приводит к тому, что солесодержание в оборотной воде может достигать 11-13 г/л.

Существующие на большинстве предприятий системы очистных сооружений не в состоянии обеспечить снижения солесодержания, так как они рассчитаны и используются для удаления грубодисперсных механических примесей. Результатом этого является снижение эффективности пылегазоулавливания, рост накладных расходов на содержание и эксплуатацию очистных сооружений из-за отложения солей на внутренних поверхностях трубопроводов.

Т а б л и ц а 1. Химический состав компонентов шихты

Показатель	Значение, мас. %
<i>Щебень из сталеплавильного шлака</i>	
SiO ₂	36,7–38,6
Al ₂ O ₃	8,7–10,76
MgO	2,0–3,5
CaO	38,4–45,0
S(SO ₃)	не более 5
п,п,п,	0,0–0,97
<i>Кокс доменный</i>	
Зольность	не более 11
Общая сера	не более 2,0
Общая влажность	не более 5,0
<i>Кокс литейный каменноугольный</i>	
Сера	0,6–1,4
Зольность	не более 11,5–12
Влажность	не более 5
SiO ₂	48,0–51,0
Al ₂ O ₃	12,0–17,00
MgO	4,5–6,0
CaO	8,5–10,0
K ₂ O + Na ₂ O	0,2–3,5
Fe ₂ O ₃	3,0–8,0
FeO	5,0–11,0

Для снижения солесодержания и повышения степени осветления оборотной воды необходимо проводить ее химическую обработку. В качестве нейтрализующего реагента выбран водный раствор аммиака. Это обусловлено тем, что аммиак в отличие от других осадителей (известкового молока, щелочей и др.) не дает увеличения содержания солей жесткости при очистке воды, кроме того, он используется в ряде технологических операций на заводах по производству минеральной ваты.

Цель настоящей работы – определение оптимальных условий химической обработки, механизма и кинетических параметров данного процесса.

Методы проведения исследований.

Определение полноты и скорости осветления оборотной воды

Скорость и полноту осветления оборотной воды определяли путем помещения в мерные цилиндры (второго класса точности) 500 мл оборотной воды с последующей ее обработкой различными объемами 25%-ного аммиака (1–14 мл/дм³). После внесения аммиака через заданные промежутки времени по шкале мерных цилиндров определяли движение границы раздела фаз. На основании полученных экспериментальных данных строили кривые зависимости полноты и скорости осветления оборотной воды для различных количеств аммиака.

рН определяли на прецизионном цифровом рН-метре «HANNA-HI 8314m, калибровку которого проводили по буферным стандартным растворам в интервале 1,68–12,30 ед. рН по методике [5].

Определение сухого остатка осветленной воды проводили на электронных весах OHAUS Explorer Pro по методике [6].

Обсуждение результатов

На рис. 1 приведены кинетические кривые осаждения в системе оборотная вода – аммиак.

Исходя из данных рисунка, скорости реакции и зависимости степени превращения α от времени t – кривые, которые имеют вид сигмоидный (или S-образный), что является характерной особенностью топохимических реакций. Результаты анализа приведены в табл. 2.

Из рисунка видно, что кривые равновесия в системе оборотная вода – аммиак характеризуются максимальной относительной скоростью в начальный момент времени, затем скорость процесса монотонно снижается. Также скорость осветления растет от 1,78 мл/мин для 1 мл/дм³ до 4,34–4,47 мл/мин для

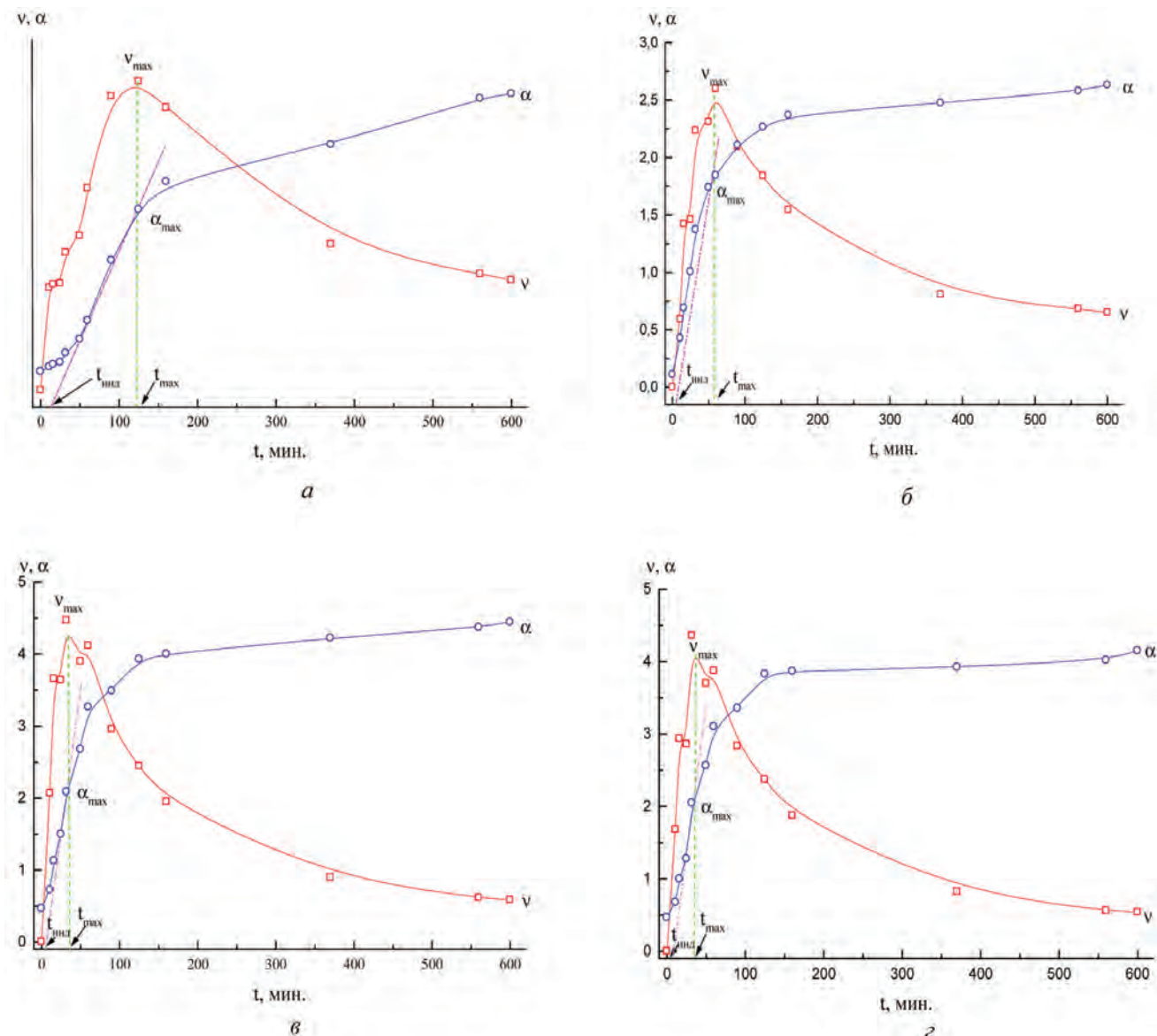


Рис. 1. Кинетические кривые: α – степень превращения; v – скорость реакции; t – время от начала реакции; t_{инд} – время индукции; v_{max}, α_{max}, t_{max} – максимальная скорость, соответствующие ей степень превращения и время от начала реакции; а, б, в, з – соответственно для 1,0; 2,0; 4,0 и 6,0 мл NH₃ на 1 дм³ осветляемого раствора

Т а б л и ц а 2. Показатели скорости реакции и зависимости степени превращения

Количество аммиака, мл/л	t _{инд} , МИН	v _{max} , МЛ/МИН	t _{max} , МИН	α _{max} , МАС.%
1	15,3	1,78	110,0	44,6
2	7,8	2,6	60,0	56,4
4	7,2	4,47	34,5	57,0
6	6,4	4,34	36,25	55,2

4–6 мл/дм³. При этом время самой активной фазы сокращается с 110 до 34,5–36,25 мин, фактически в 3 раза.

На рис. 2 приведены результаты измерений кажущегося объема осадка, объема осветленной воды, сухого остатка осветленной воды в зависимости от количества аммиака, использованного при обработке оборотной воды.

Приведенные данные показывают, что оптимальным количеством аммиака для проведения процесса осаждения является диапазон 4–6 мл/дм³, меньшее количество не дает заметного осветления оборотной воды и снижения сухого остатка, большее приводит к повторному растворению уже образовавшегося осадка и соответственно к снижению доли осветленной воды и увеличению содержания растворенных

солей. Исходя из изложенного выше, при определении механизма и кинетических параметров данного процесса рассматривался диапазон 4–6 мл/дм³.

С учетом того, что в ходе производственного процесса в оборотной воде присутствует значительное количество механических примесей мелкодисперсных компонентов шихты, на наш взгляд, было рационально принять во внимание модель формирования осадка (рис. 3), где показана схема развития реакционной зоны на границе раздела фаз.

В данном случае, когда реакция протекает в кинетической области, топохимическую реакцию можно представить как последовательность следующих стадий [2]:

- 1) образование отдельных молекул или элементарных ячеек продукта реакции на поверхности раздела фаз;
- 2) возникновение отдельных зародышей (ядер) фазы продукта реакции (рис. 3, t_2);
- 3) рост ядер вплоть до их смыкания (рис. 3, t_3), образование на поверхности исходного вещества сплошного продукта реакции;
- 4) рост сплошного слоя продукта реакции и поверхности еще непрореагировавшего вещества (рис. 3, t_4).

При описании процесса осаждения, учитывая его сложный характер, необходимо знание механизма и кинетических характеристик его отдельных стадий. Описание кинетики осаждения на основе формально-кинетического анализа [7, 8] позволяет учесть вклад диффузии и химических реакций, а также определить кинетические параметры.

Для оценки механизма и кинетических параметров процесса осаждения применяли формально-кинетический подход, основанный на связи относительной скорости осаждения (α) и времени (τ) [7–9]. Выбор функции (α), описывающей механизм процесса осаждения, осуществляли по способу, предложенному в работе [7].

Вид кинетических кривых, представленный в координатах $-\lg \alpha - \tau$, позволил предположить многостадийный характер протекания процесса (рис. 4). При обработке кинетических кривых использовали упрощенные модели, учитывающие, что скорость процесса может контролироваться диффузией либо протеканием химических реакций. Применение формально-кинетического подхода при выборе модели, описывающей экспериментальные кинетические данные осаждения на основе закономерности $g(\alpha) = f(\tau)$, позволило определить механизм осаждения на отдельных стадиях процесса и кинетические характеристики [7].

Вид функции $g(\alpha)$ зависит от механизма процесса и, как правило, заранее неизвестен. Для каждой установленной стадии, соответствующей определенному интервалу α , выбирали такую функцию $g(\alpha)$, соответствующую определенной кинетической модели, которая представляет идеализированное протекание процесса.

В табл. 3 представлены механизмы с соответствующими видами функции $g(\alpha)$ [8, 10].

Из совокупности уравнений были выбраны те, которые в заданной области степени завершения процесса давали минимальное значение дисперсии, т. е. описывали процесс в системе на данном этапе с максимальной вероятностью. С учетом области применимости были выбраны три модели, которые наиболее соответствуют реальным процессам в системе оборотная вода–аммиак.

Кинетические параметры оценивали, используя зависимость $g(\alpha)$ от τ .

Установлено, что процесс осаждения в системе оборотная вода–аммиак на начальном этапе лимитирует химическая стадия

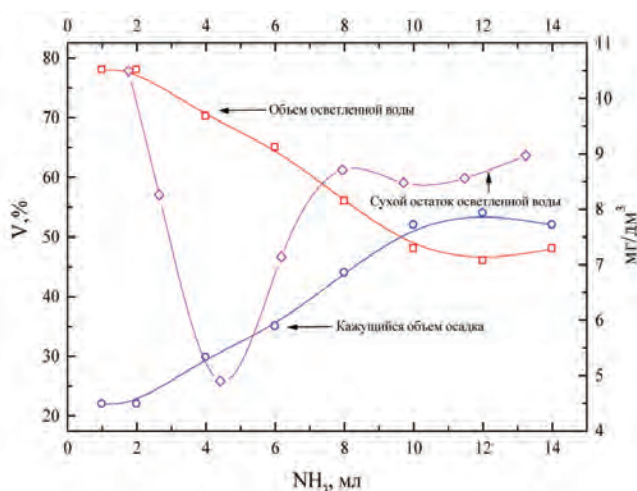


Рис. 2. Изменение кажущегося объема осадка, объема осветленной воды, сухого остатка осветленной воды в зависимости от количества аммиака, использованного при обработке оборотной воды

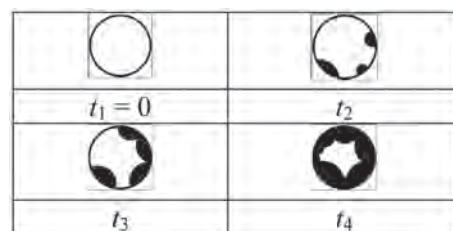


Рис. 3. Схема развития реакционной зоны на разделе фаз

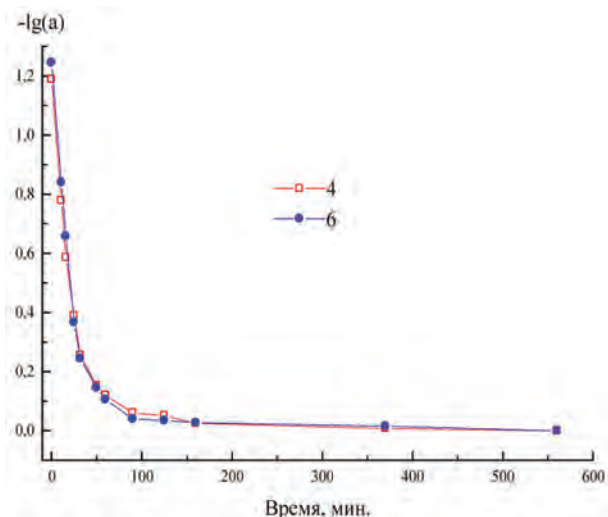


Рис. 4. Зависимость изменения значений функции $-\lg \alpha$ от времени t

чилось выше, образованию на поверхности зародышей сплошного слоя продуктов реакции.

В интервале α от 0,70 до 0,99 процесс обусловлен реакциями на границе раздела фаз по уравнению $[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$, ростом сплошного слоя продуктов реакции и непрореагировавшего аммиака.

Значения кинетических характеристик при различных значениях α и дисперсия в области линейности функции $g(\alpha)$ представлены в табл. 4.

зародышеобразования (формирование кристаллического осадка), далее – реакции на границе раздела фаз (образование на поверхности зародышей сплошного слоя продуктов реакции), а на заключительной стадии – рост сплошного слоя продуктов реакции и еще непрореагировавшего аммиака.

В интервале α от 0,10 до 0,70 процесс описывается уравнением Авраами-Ерофеева: $g(\alpha) = -\lg(1 - \alpha)^{1/n}$. Значение n , равное 3, свидетельствует о замедленности кинетической стадии химического процесса [7]. Также обращает на себя внимание тот факт, что при введении в реакционную смесь 1 мл/дм³ аммиака интервал α , описываемый уравнением Авраами-Ерофеева, составляет 0,1–0,15, что обусловлено недостаточным количеством аммиака.

В интервале α от 0,68 до 0,93 (кроме случая введения в реакционную смесь 1 мл/дм³ аммиака) процесс характеризуется реакциями на границе раздела фаз и соответствует уравнению $1 - (1 - \alpha)^{1/3}$, и, как отмечалось выше, образованию на поверхности зародышей сплошного слоя продуктов реакции.

Таблица 3. Возможные механизмы процесса осаждения в системе оборотная вода – аммиак

Механизм	Вид функции $g(\alpha)$
Трехмерная диффузия	$[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$
Диффузия по Гинстлингу-Броунштейну	$[1 - 2/3 \alpha - (1 - \alpha)^{2/3}]$
Диффузия по Журавлеву-Темпельману	$[1 / (1 - \alpha)^{1/3}]^2$
Реакция на границе раздела фаз	$1 - (1 - \alpha)^{1/3}$
Зародышеобразование по Авраами-Ерофееву	$-\lg(1 - \alpha)^{1/n}$
Зародышеобразование по Прауту-Томпкинсу	$\lg 1 / (1 - \alpha)$

Таблица 4. Кинетические параметры процесса осаждения в системе оборотная вода – аммиак

Количество NH ₃ , мл/л	Интервал α	Вид функции $g(\alpha)$	Дисперсия $D \cdot 10^3$
1	0,10–0,15	$-\lg(1 - \alpha)^{1/n}$	0,61
	0,15–0,70	$1 - (1 - \alpha)^{1/3}$	2,23
	0,70–0,99	$[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$	1,64
2	0,10–0,68	$-\lg(1 - \alpha)^{1/n}$	0,89
	0,68–0,83	$1 - (1 - \alpha)^{1/3}$	2,04
	0,83–0,99	$[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$	1,54
4	0,10–0,76	$-\lg(1 - \alpha)^{1/n}$	1,09
	0,76–0,93	$1 - (1 - \alpha)^{1/3}$	1,77
	0,93–0,99	$[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$	1,06
6	0,10–0,72	$-\lg(1 - \alpha)^{1/n}$	1,43
	0,72–0,87	$1 - (1 - \alpha)^{1/3}$	2,11
	0,87–0,99	$[1 - (1 - \alpha)^{1/3}]^2$	1,53

Таким образом, в ходе выполнения работ по оценке влияния химической обработки оборотной воды производства минеральной ваты на ее солесодержание и степень осветления установлено, что наиболее пригодным реагентом для решения поставленных задач является 25 %-ный водный раствор аммиака.

Показано, что оптимальным количеством аммиака для проведения процесса осаждения является диапазон 4–6 мл/дм³, меньшее количество не дает заметного осветления оборотной воды и снижения сухо-

го остатка, большее приводит к повторному растворению уже образовавшегося осадка и соответственно к снижению доли осветленной воды и увеличению содержания растворенных солей.

Установлен трехстадийный характер процесса взаимодействия аммиака и оборотной воды.

Выявлено, что процесс осаждения в системе оборотная вода – аммиак на начальном этапе лимитирует химическая стадия зародышеобразования (формирование кристаллического осадка), далее – реакции на границе раздела фаз (образование на поверхности исходного зародышей сплошного продукта реакции), а на заключительной стадии – рост сплошного слоя продукта реакции и еще непрореагировавшего аммиака.

Литература

1. **Ляшко И. И.** Логистические принципы разработки стратегии управления вторичными ресурсами // Сб. науч. статей XIII междунар. науч.-практ. конф. «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов». УркГНТЦ «Энергосталь». Харьков: Райдер, 2005. С. 188–193.
2. **Амитан В. Н., Потапова Н. Н.** Региональные аспекты управления ресурсосбережением // Менеджер. Вестн. ДонГАУ. 2002. С. 115–120.
3. **Тимофеева С., Барасов А.** и др. Комплексная оценка технологий утилизации осадков сточных вод гальванических производств // Химия и технология воды. 1991. Т. 13. № 1. С. 68–71.
4. **Лисицкая И. Н.** Утилизация отходов гальванического производства // Водоснабжение и санитарная техника. 1991. № 10. С. 6–7.
5. **МВИ** Определение pH потенциометрическим методом // Сб. методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь. Минск, 1997. Ч. 2. С. 201–204.
6. **МВИ** концентрации растворенных веществ (сухой остаток) гравиметрическим методом // Сб. методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь. Минск, 1997. Ч. 1. С. 235.
7. **Розовский А. Я.** Кинетика топохимических реакций. М.: Химия, 1974. 220 с.
8. **Котова Д. Л., Крысанова Т. А., Селеменев В. Ф.** // Журн. физ. химии. 1999. Т. 3. № 7. С. 1316–1318.
9. **Третьяков Ю. Д.** Твердофазные реакции. М.: Химия, 1978. 360 с.
10. **Черенкова Ю. А., Котова Д. Л., Крысанова Т. А.** и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2007. Т. 7. Вып. 5. С. 867–872.

References

1. **Ljashko I. I.** *Logisticheskie principy razrabotki strategii upravlenija vtorichnymi resursami. Sbornik nauchnyh statej XIII mezhduнародной nauchno-prakticheskoj konferencii «Jekologija i zdorov'e cheloveka. Ohrana vozdušnogo i vodnogo bassejnov. Utilizacija othodov»* [Principles of logistics strategy development for the management of secondary resources. Collection of scientific papers of the XIII international scientific-practical conference «Ecology and human health. Protection of air and water basins. Waste management»]. UrkGNTC «Jenergostal». Har'kov, Rajder Publ., 2005, pp.188–193.
2. **Amitan V. N., Potapova N. N.** Regional'nye aspekty upravlenija resursoberezeniem [Regional aspects of resource management]. *Menedzher. Vestnik DonGAU = Management. Belletin DonGAU*, 2002, pp. 115–120.
3. **Timofeeva S., Barasov I.** and others. Kompleksnaja ocenka tehnologij utilizacii osadkov stochnyh vod gal'vanicheskikh proizvodstv [Comprehensive assessment of technologies for utilization of sewage sludge electroplating plants]. *Himija i tehnologija vody = Chemistry and technology of water*, 1991, no 1, pp. 68–71.
4. **Lisickaja I. N.** Utilizacija othodov gal'vanicheskogo proizvodstva [Disposal of galvanic waste]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika = Water supply and sanitary technique*, 1991, no. 10, pp. 6–7.
5. **MVI** *Opređenje pH potencionmetricheskim metodom. Sbornik metodik vypolnenija izmerenij, dopushhennyh k primeneniju v dejatel'nosti laboratorij jekologičeskogo kontrolja predprijatij i organizacij Respubliki Belarus* [MVI Determination of pH potentiometric method for the Collection of measurement techniques allowed for use in operation of laboratories of environmental monitoring of enterprises and organizations of the Republic of Belarus], part 2, Minsk 1997, 235 p.
6. **MVI** *koncentracii rastvorenyh veshhestv (suhoy ostatok) gravimetricheskim metodom. Sbornik metodik vypolnenija izmerenij, dopushhennyh k primeneniju v dejatel'nosti laboratorij jekologičeskogo kontrolja predprijatij i organizacij Respubliki Belarus'* [Measuring the concentration of dissolved substances (solids) gravimetric method for the Collection of measurement techniques allowed for use in operation of laboratories of environmental monitoring of enterprises and organizations of the Republic of Belarus], part1, Minsk, 1997, 235 p.
7. **Rozovskii A. Ya.** *Kinetika topohimicheskikh reakcij* [Kinetics of topochemically reactions]. Moscow, Chemistry Publ., 1974. 220 p.
8. **Kotova D. L., Krysanova T. A., Selemenев V. F.** *Zhurnal fizicheskoy himii = Journal of physical chemistry*, 1999, vol. 3, no. 7, pp. 1316–1318.
9. **Tretjakov Yu. D.** *Tvjordofaznye reakcii* [Solid-phase reaction]. Moscow, Chemistry Publ., 1978. 360 p.
10. **Cherenkova Yu. A., Kotova D. L., Krysanova T. A.** and others. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy* [Sorptions and chromatographic processes], 2007, vol. 7, is. 5, pp. 867–872.