

## Список использованных источников

1. B. Abdelhamid, A. Ourari, M.S. Ouali, Am. J. Appl. Chem. **2012**, 1(1), 1-10. DOI: 10.11648/j.ajpc.20120101.11.
2. F.K. Onwu, Ch.U. Sonde, Am. J. Phys. Chem. **2014**, 3(6), 89-95.
3. E. Chinyeli, U. Ngazi, O. Kate, O. Sixtus, Am. J. Phys. Chem. **2015**, 4(3), 21-29, DOI:10.1648/j.ajpc.2015.04.03.11.
4. G.Sh. Sultanbayeva, R. Holze, R.M. Chernyakova, U. Zh. Jussipbekov, Microporous Mesoporous Mat. **2013**, 170, 173-180.
5. F.V. Yusubov J. Water Chem and Tech. **2019**, V.41, №1, pp.57-62

УДК 635.21.077

**А.Д. Воробьев, Д.В. Чередниченко, П.Д. Воробьев, С.В. Буча**  
Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси,  
Минск, Республика Беларусь

### **ПОЛИМЕРНЫЕ ИНГИБИТОРЫ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ВОДОПОДГОТОВКИ**

*Аннотация.* Исследовано влияние двухосновных карбоновых кислот и поликарбоновой кислоты с различной молекулярной массой на скорость образования карбоната кальция. Показана высокая эффективность ингибирующего действия поликислоты, определены оптимальные диапазоны молекулярной массы и концентрации полимера. Полученные результаты могут быть использованы в современных технологиях водоподготовки.

**A.D. Vorobiev, D.V. Cherednichenko, P.D. Vorobiev, S.V. Bucha**  
Institute of General and Inorganic Chemistry, NAS of Belarus,  
Minsk, Republic of Belarus

### **POLYMER SEDIMENTATION INHIBITORS IN MODERN WATER TREATMENT TECHNOLOGIES**

*Abstract.* The effect of dibasic carboxylic acids and polycarboxylic acids with different molecular weights on the rate of calcium carbonate formation has been studied. The high efficiency of the inhibiting action of the polymeric acid was shown, the optimal ranges of the molecular weight and concentration of the polymer were determined. The results obtained can be used in modern water treatment technologies.

В последние годы в связи с развитием мембранных технологий очистки воды при решении вопросов модернизации отделений водоподготовки широкое распространение получили технологические схемы, включающие блоки грубой очистки (осаждение нерастворимых примесей, обезжелезивание осадков, механическая фильтрация частиц); обезжелезивания, ионного обмена, объемной фильтрации; ультрафильтрации (удаление примесей размером до 0,01 мкм); обратного осмоса и нанофильтрации (удаление растворенных солей). В современных схемах водоподготовки обычно отсутствует стадия натрий-катионирования, в связи с чем на блоки обратного осмоса поступает неумягченная вода. В приповерхностном слое при высокой селективности мембран очень быстро достигается концентрационный предел растворимости карбонатов и сульфатов кальция и магния, в результате чего на поверхности мембран образуется плотный слой из большого количества мелких кристаллов.

Аналогичные проблемы образования минеральных осадков возникают в оборотных охлаждающих системах предприятий. При циркуляции в оборотной системе вода нагревается, затем охлаждается в градирнях и в таких условиях в воде достаточно быстро возрастает концентрация солей жесткости и образуется осадок (накипь). Накипь оседает на стенках оборудования, теплообменников, что приводит к снижению производительности и, в конечном счете, к остановке и ремонту оборудования. Для уменьшения образования накипи можно использовать постоянный забор природной воды и после выполнения функции охлаждения сбрасывать нагретую воду в водоемы. Однако, это невозможно осуществить в реальных условиях, учитывая огромный масштаб используемой воды в оборотных циклах предприятий.

Для обеспечения эффективной работы водооборотных циклов предприятий и установок обратного осмоса в современных технологиях водоподготовки используют химические соединения, ингибирующие осадкообразование, наиболее широко – фосфонаты и полифосфаты.

В данной работе в качестве ингибиторов осадкообразования предложен ряд карбоксилсодержащих соединений: янтарная, адипиновая, себациновая и полиакриловая кислоты и приведены результаты сравнительного исследования эффективности их ингибирующего действия.

Для исследований использовано лабораторное оборудование, моделирующее процесс осадкообразования в динамических условиях. Водная система заданного состава подается в капиллярный блок установки. Интервал времени, в течение которого в капилляре

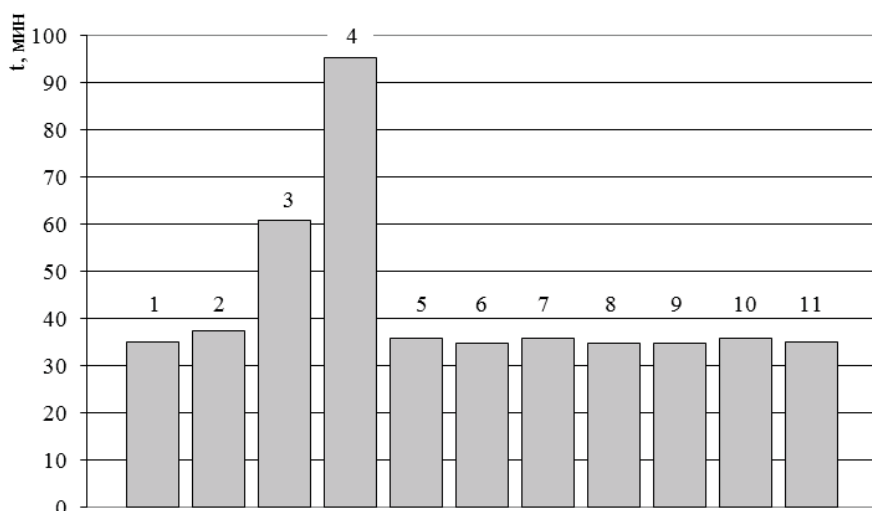
образуется осадок и скачкообразно возрастает дифференциальное давление, использован в качестве относительного показателя, характеризующего эффективность ингибирования осадкообразования: чем меньше растёт давление в капилляре на протяжении определённого промежутка времени, тем более эффективен реагент и оптимальна используемая доза.

Управление лабораторной модельной установкой и анализ экспериментальных данных осуществляется с помощью специально разработанного программного обеспечения. Возможность варьирования условий эксперимента (жесткость воды, pH, температура, скорость подачи воды и т.д.) позволяет адаптировать их к реальным производственным условиям.

Результаты исследования карбоновых кислот в качестве ингибиторов накипеобразования, показали, что интервал времени, в течение которого осадок в капилляре лабораторной установки не образуется (время ингибирования –  $t$ , мин), при введении в систему двухосновных карбоновых кислот (янтарная, адипиновая, себациновая кислоты) практически не увеличивается по сравнению с контролем. Данные эксперимента представлены в виде диаграммы на рисунке 1.

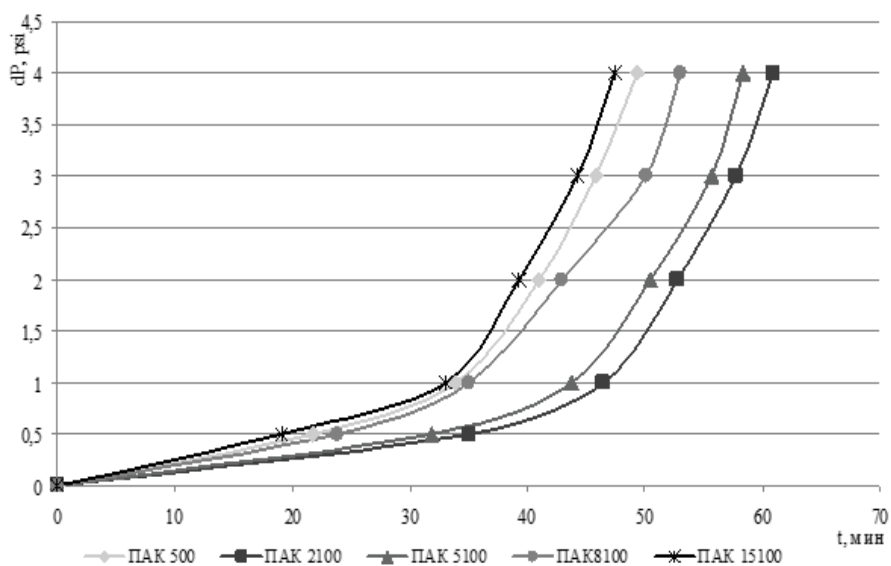
Введение в систему полимерной карбоновой кислоты (полиакриловой, ПАК) приводит к увеличению времени ингибирования. Из рисунка 2 видно, что при концентрации ПАК в системе 0,1 мг/л время ингибирования увеличивается на 7,2 %. При дальнейшем повышении концентрации полиэлектролита до 0,25 мг/л и 0,5 мг/л интервал работы системы возрастает в 1,7 и 2,7 раза, соответственно.

Увеличение концентрации двухосновных карбоновых кислот до 10–20 мг/л не влияет на индукционный период до образования осадка. В связи с тем, что из исследованного ряда карбоновых кислот ингибирующую активность проявила только ПАК, влияние данного полиэлектролита на стабильность системы было изучено более детально.



1 – без добавок; 2 – ПАК (0,1мг/л, ММ<sub>2100</sub>); 3 – ПАК (0,25мг/л, ММ<sub>2100</sub>); 4 – ПАК (0,5 мг/л, ММ<sub>2100</sub>); 5 – янтарная кислота (0,5 мг/л); 6 – янтарная кислота (10 мг/л); 7 – адипиновая кислота (0,5 мг/л); 8 – адипиновая кислота (10 мг/л); 9 – себациновая кислота (0,5 мг/л); 10 – себациновая кислота (10 мг/л); 11 – адипиновая кислота (20 мг/л);

**Рисунок 1 – Интервал времени образования накипи (t) в модельной системе без добавок и в присутствии карбоксилсодержащих соединений**



**Рисунок 2 – Зависимость дифференциального давления от времени ингибирования**

В результате исследования образцов ПАК с различными молекулярными массами (ММ): 500, 2100, 5100, 8100 и 15100 установлено, что эффективность ингибирующего действия с увеличением ММ сначала увеличивается, затем уменьшается.

Введение в систему образцов ПАК с ММ 8100 и 15100 уменьшает время ингибирования. ПАК с ММ более 8000 проявляет флокулирующее действие. В этом случае происходит не только взаимодействие полярных групп полиэлектролита с поверхностью кристаллов карбонатов кальция и магния, но и образование связей между адсорбированными макромолекулами, что приводит к укрупнению и агрегации частиц. В варианте полиакриловой кислоты с ММ 500 время ингибирования уменьшается по сравнению с ММ 2100 и 5100 в связи с тем, что молекулы полимера не могут сформировать плотный адсорбционный слой на поверхности образующихся кристаллов осадка.

Способность ПАК к модификации кристаллической структуры карбонатных осадков обусловлена структурно-геометрическим подобием карбоксилат- и карбонат-ионов. При взаимодействии кислородных атомов карбонатной группы с карбоксилат-ионами эквивалентность связей нарушается, что является причиной ростовой диссимметризации карбонатных структур и изменения структуры кристалла.

Результаты рентгенофазового анализа показали, что в системе с полиакриловой кислотой образуется осадок, приблизительно на 80% состоящий из нестабильной фазы. Это означает, что рост кристаллов в системе осуществляется хаотично, непропорционально, сформированный осадок имеет рыхлую и менее прочную структуру, плохо оседает на поверхности и легко уносится с водой из системы.

На основании полученных результатов разработан реагентный режим для водооборотных циклов, который адаптирован к условиям конкретного химического предприятия РБ. Опытные испытания разработанного реагентного режима в производственных условиях показали его эффективность в технологическом плане (отсутствие накипи, улучшение теплообменного режима, снижение энергозатрат и т.д.). Не менее важным является экологическая значимость стабилизационной обработки воды, обеспечивающая существенную экономию водных ресурсов. Применение полимеров в качестве ингибиторов накипеобразования экологически более целесообразно, чем, например, фосфоросодержащих органических ингибиторов, которые, попадая в реки и озера, могут вызывать их зарастание.

Полиакрилаты лишены указанного недостатка и при этом не менее эффективны как ингибиторы осадкообразования.

УДК 631.438.2

**П.Д. Воробьев, Д.В. Чередниченко, А.Д. Воробьев, Ю.В. Липай**  
Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси,  
Минск, Республика Беларусь

### **ФЛОКУЛЯЦИЯ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ СОЛЕВЫХ ДИСПЕРСИЙ ГЛИНЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ КАЛИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Аннотация.* Предложена комплексная технология переработки глинисто-солевых отходов калийного производства, которая включает флокуляцию дисперсии, отделение жидкой фазы и структурообразование глинисто-солевой фракции. Использование технологии позволит снизить техногенную нагрузку на окружающую среду, уменьшить количество отходов и площади земель, выводимых из сельскохозяйственного оборота под их размещение.

**A.D. Vorobiev, D.V. Cherednichenko, P.D. Vorobiev, S.V. Bucha**  
Institute of General and Inorganic Chemistry, NAS of Belarus,  
Minsk, Republic of Belarus

### **FLOCCULATION AND STRUCTURAL FORMATION OF CLAY SALT DISPERSIONS IN PROCESSING TECHNOLOGIES POTASSIUM PRODUCTION WASTE**

*Abstract.* A complex technology for processing clay-salt wastes of potash production has been proposed, which includes flocculation of the dispersion, separation of the liquid phase and structure formation of the clay-salt fraction. The use of technology will reduce the ecological load on the environment, reduce the amount of waste and the area of land taken out of agricultural use for their disposal.

Масштабная добыча и переработка калийных руд на ОАО «Беларуськалий» привела к техногенному воздействию на экосистему района, что проявляется, прежде всего, в оседании земной поверхности над отработанными подземными выработками и отчуждении больших площадей плодородных земель для хранения отходов обогатительных фабрик. При существующих способах обогащения руд Старобинского