

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО КОАГУЛЯНТА

ДЕНИСОВ Д.Г., асп.

Представлены основные кинетические зависимости по растворению гранулированного сульфата алюминия. Показано влияние размера частиц коагулянта, температуры раствора, скорости вращения лопастей мешалки и массовой доли реагента на время растворения гранул.

Ключевые слова: коагулянт, сульфат алюминия, кондуктометрический метод, удельная электропроводность.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION INTO DISSOLUTION PROCESS OF GRANULATED COAGULANT

D.G. DENISOV, Post-Gradute Student

The author presents main kinetic dependences of granulated aluminium sulphate dissolution. The article demonstrates the influence of coagulant particles size, solution temperature, speed of mixer blades rotation and reagents mass fraction on granules dissolution time.

Key words: coagulant, aluminium sulphate, conductance-measuring method, electrical conductivity.

На тепловых электростанциях в качестве реагентов, используемых для очистки воды от коллоидных примесей, широкое распространение получили алюмосодержащие коагулянты. В последнее время находят применение химически очищенные гранулированные реагенты. На большинстве отечественных ТЭС раствор коагулянта готовится периодическим способом, при этом складирование реагента организовано в ячейках мокрого хранения. В условиях применения современных гранулированных коагулянтов периодический способ растворения теряет свою актуальность, поскольку не позволяет существенным образом повысить компактность реагентного узла на ВПУ ТЭС. Хранение гранулированных реагентов в мокром виде также нецелесообразно, поскольку приводит к завышенной площади склада, а также к необходимости периодических ремонтов и капитальных затрат на обработку поверхностей ячеек мокрого хранения коррозионно-

упорными материалами. Исключение указанных недостатков возможно путем перехода на использование химически очищенного гранулированного продукта, позволяющего организовать «сухое» складирование реагента, исключить из схемы ячейки мокрого хранения и наладить непрерывное производство рабочего раствора коагулянта. Для определения основных конструктивных и режимных характеристик растворо-расходных баков необходимо иметь кинетические характеристики растворимости коагулянта при технологически обоснованных диапазонах варьирования основных воздействующих факторов. Поскольку экспериментальные данные по влиянию температуры, массовой доли реагента в растворе, размера частиц коагулянта и частоты вращения лопастей мешалки на кинетику растворения $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ в технической литературе отсутствуют, то задача по их определению является актуальной. Для этого на кафедре ХХТЭ ИГЭУ собрана лабораторная установка, представленная на рис. 1.

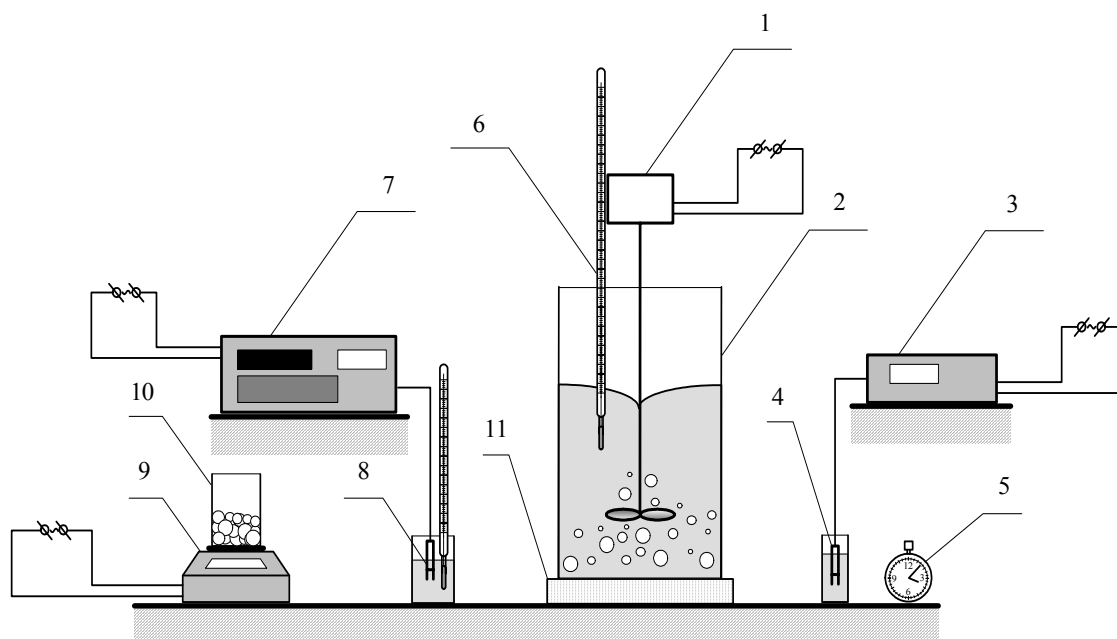


Рис. 1. Общий вид лабораторной установки: 1 – пропеллерная мешалка; 2 – термостойкий стакан для приготовления раствора; 3 – кондуктометр; 4 – датчик кондуктометра; 5 – секундомер; 6 – термометр ртутный; 7 – иономер; 8 – датчик иономера, термометр; 9 – электронные весы; 10 – измерительный стакан; 11 – термоизолирующая пластина

В лабораторных условиях исследовано влияние температуры раствора, размера частиц коагулянта, массовой доли коагулянта в растворе и частоты вращения лопастей мешалки на процесс растворения 18-водного гранулированного сульфата алюминия. Воздействие каждого фактора изучено на технологически обоснованных, относительно ВПУ ТЭС, уровнях.

Влияние температуры воды, при которой происходит растворение коагулянта, зависит лишь от особенностей технологической схемы подготовки химической очищенной воды на водоочистительных станциях. Для приготовления раствора коагулянта на ТЭС чаще всего используют воду, отбираемую после подогревателей сырой воды, с напора насоса осветленной воды или после механических фильтров. Температура воды после подогревателя определяется оптимальными условиями коагуляции и изменяется в диапазоне от 20 до 32 °С. Интервал изменения температуры раствора при организации лабораторных исследований был несколько расширен и составил от 18 до 36 °С.

Размер частиц реагента у отечественного производителя гранулированных алюмосодержащих коагулянтов ЗАО «Синтез» составляет от 4 до 20 мм. Результаты экспериментальных исследований по влиянию размера частиц и температуры раствора на время полного растворения представлены на рис. 2,а.

В результате обработки экспериментальных данных с последующим поиском параметров верификации линейной регрессии методом наименьших квадратов [1] и линейной аппроксимации входящих в регрессионные уравнения коэффициентов получено двухпараметрическое уравнение (рис. 2,а). Относительное расхождение экспериментальных и расчетных данных с вероятностью 95 % составляет от минуса 3,96 до 0,76 %.

На водоподготовительных установках используются расходные баки, в которых раствор коагулянта готовится до концентрации от 5 до 12 %. Эти баки зачастую оснащены мешалками пропеллерного типа, частота вращения которых составляет от 40 до 60 об/мин. Низкое значение частоты вращения обусловлено необходимостью перемешивания жидких реагентов. В случае «сухого» хранения расходные баки могут использоваться в качестве совмещенных растворно-расходных баков, при этом частота вращения лопастей мешалки должна быть увеличена. При определении гидродинамического воздействия на время растворения частота вращения лопастей мешалки изменялась в диапазоне от 60 до 1250 об/мин. Для применения результатов эксперимента в промышленных условиях лабораторная мешалка собрана в максимальном геометрическом подобии с существующими на ТЭС пропеллерными мешалками (рис. 3). Результаты экспериментов представлены на рис. 4.

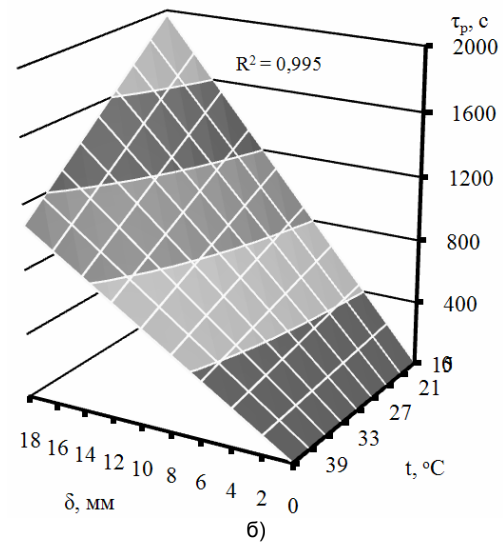
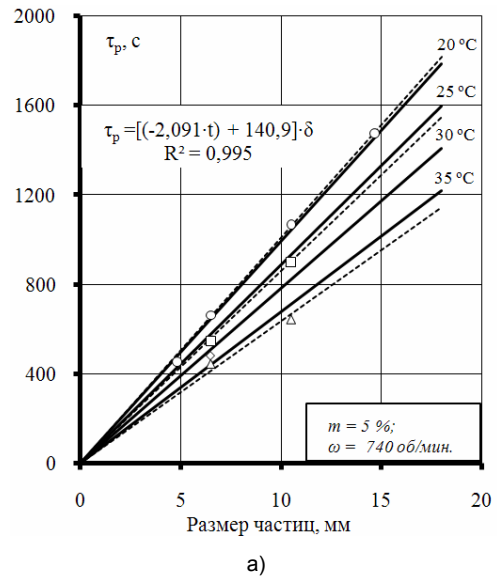


Рис. 2. Влияние размера частиц и температуры раствора на время растворения: а – сопоставление экспериментальных и расчетных данных; б – трехмерный график расчетных данных

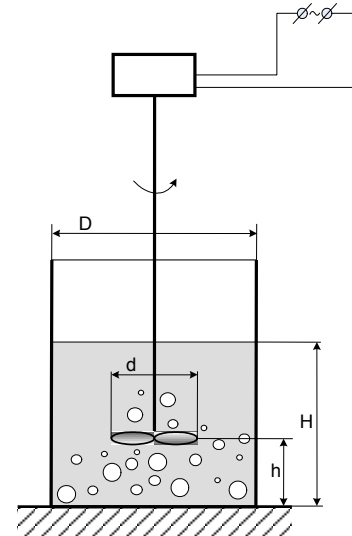


Рис. 3. Принципиальная схема лабораторной мешалки

Основные соотношения геометрических размеров лабораторной мешалки: $D/d = 105/40 = 2,625$; $H/D = 100(130)/105 = 0,952 (1,24)$.

Экспериментальные данные по времени полного растворения при изменении частоты вращения удовлетворительно аппроксимированы полиномом 3-й степени. Коэффициенты подобраны исходя из условий максимизации коэффициента детерминации R^2 (минимизации суммы квадратов относительных расхождений опытных и расчетных данных). Средняя величина относительного расхождения экспериментальных и расчетных данных с вероятностью 95 % составляет от минус 3,27 до 6,45 %.

Анализ полученной зависимости (рис. 4) показывает, что скорость растворения коагулянта практически одинакова в интервале изменения частоты вращения лопастей от 600 до 1250 об/мин.

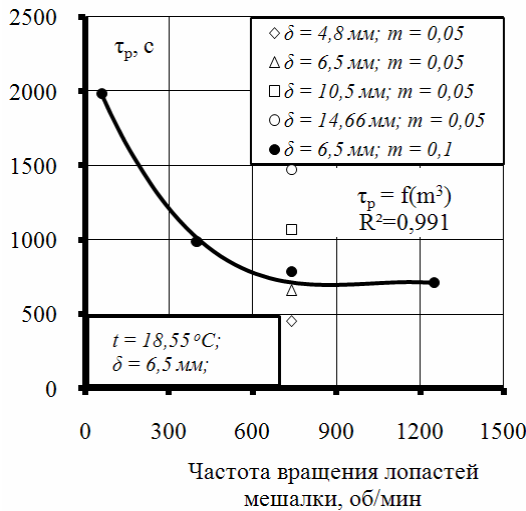


Рис. 4. Зависимость времени растворения коагулянта от частоты вращения мешалки

Таким образом, увеличение частоты вращения ω с 60 до 600 об/мин приводит к сокращению времени растворения в 2,7 раза (с 33 до 12 мин). При увеличении ω более 600 об/мин скорость растворения практически не изменяется.

На время растворения также оказывает влияние массовая доля реагента в растворе. Максимальная концентрация коагулянта в рабочем растворе, в пересчете на безводный реагент, составляет 12 %. В лабораторных исследованиях массовая доля 18-водного сульфата алюминия изменялась от 1 до 30 %, что соответствует массовой доле безводного реагента в растворе от 0,5 до 15 %. Результаты экспериментов представлены на рис. 5.

Анализ полученных результатов (рис. 6) показывает, что доминирующим фактором, оказывающим максимальное воздействие на удельную электропроводность, является массовое содержание коагулянта в растворе. Различие ионного состава дистиллированной и осветленной вод не приводит к практически значимым отклонениям в результатах опытов. Относительное расхождение между кривыми растворения с вероятностью 95 % составляет от 1,76 до 5,21 %. Объясняется это расхождение пониженной точностью формулы (1) в области слабонасыщенных растворов. Несмотря на имеющееся незначительное расхождение, можно считать, что результаты лабораторных исследований, в части ис-

пользования кондуктометрического метода для измерения УЭП в промышленных условиях, подтверждены.

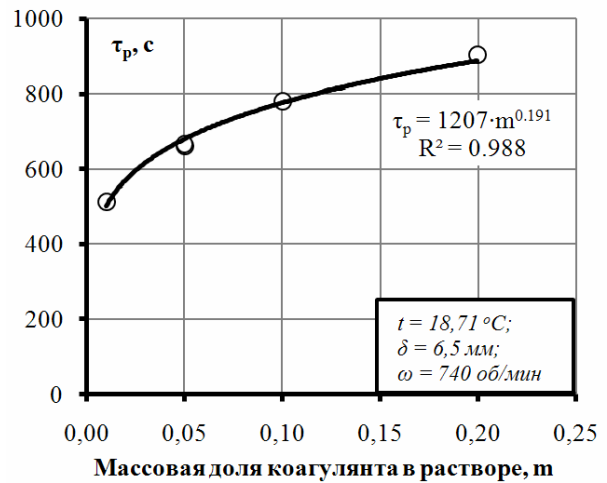


Рис. 5. Зависимость времени растворения коагулянта от массовой доли реагента в растворе

В целях практического использования экспериментальных данных по растворению сульфата алюминия произведены дублирующие опыты. В качестве растворителя в этих опытах использован дистиллят и водопроводная вода г. Иваново (по показателям качества близкая к химически очищенной воде ТЭЦ). Проведение серии опытов заключалось в приготовлении раствора различной крепости путем растворения частиц сульфата алюминия в водопроводной воде и дистилляте при изменении массовой доли реагента от 3 до 15 % (3; 5; 10; 15 %). Для исключения температурного фактора использовано классическое регрессионное выражение [2], которое для пересчета удельной электропроводности (УЭП) на 25 °C преобразуется к следующему виду:

$$\chi_{25} = \frac{\chi_t}{[1 + \alpha(t - 25)]}, \quad (1)$$

где α – коэффициент, характеризующий температурную подвижность ионов в растворе. Значение этого коэффициента для раствора 18-водного сульфата алюминия составляет 0,020 (1/°C) [3].

На рис. 6 представлены результаты параллельных измерений УЭП при растворении коагулянта в дистилляте и водопроводной воде. Размер гранул коагулянта, концентрация раствора и частота вращения лопастей мешалки оставались постоянными в обоих опытах.

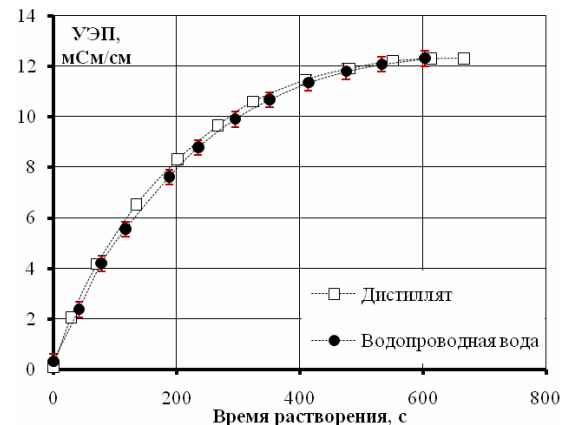


Рис. 6. Кривые растворения коагулянта, приведенные к 25 °C

Заключение

В результате статистической обработки результатов экспериментальных исследований подобраны и идентифицированы аналитические выражения по совместному воздействию нескольких факторов и каждого фактора в отдельности на процесс растворения коагулянта, а также показана возможность применения кондуктометрического метода для определения массового содержания сульфата алюминия в растворе.

Денисов Дмитрий Геннадьевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
студент,
телефон (4932) 41-60-56,
admin@tes.ispu.ru

Список литературы

1. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных; Пер. с англ. – М.: Мир, 1989.
2. Левин А.И. Теоретические основы электрохимии. – М.: Металлургиздат, 1963.
3. Денисов Д.Г. Косвенное определение массовой доли сульфата алюминия по удельной электропроводности раствора: Мат-лы XIX Всерос. науч.-техн. конф. «Методы и средства измерений физических величин» (Computer-Based Conferences). Апрель 2008 г. – Н. Новгород: ННИМЦ «Диалог», 2008. – С. 18.