

УДК 661.123.183

### К ВЫБОРУ ТИПА И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ МЕШАЛКИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ФЛОКУЛЯНТОВ В ВОДЕ

*А. Н. ГРИГОРЬЕВА*

*ГК «Элма-Астерион», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация  
an@td-elma.ru*

**Актуальность.** Различные аспекты очистки воды с применением неорганических коагулянтов и флокулянтов многие годы изучались в НИИ ВОД-ГЕО, НИИКВ и ОВ, ИОТТ, институтах АН РФ и вузах под руководством Борца М. А., Клячко Ю. А., Драгинского В. Л., Бабенкова Е. Д. и др. Вместе с тем в литературе и практике водоочистки отсутствует четкая методология выбора перемешивающего устройства для аппаратурного оформления процесса приготовления флокулянта. Несовершенство методов приготовления растворов приводит к тому, что значительное количество полимера попадает в суспензию в виде геля и ассоциатов, что приводит к перерасходу дорогостоящих флокулянтов и понижению эффективности их действия при агрегации дисперсий.

**Цель работы** – построение на основе экспериментальных исследований методики расчета максимально допустимой частоты вращения перемешивающего устройства с учетом геометрии рабочего колеса. При этом необходимо принять во внимание, что сдвиговые напряжения на наружном диаметре лопастей мешалки не должны превышать параметры, определяемые реологическими свойствами флокулянта. На основе теоретического анализа максимальной частоты вращения необходимо сравнить несколько типов перемешивающих устройств, способствующих наиболее быстрому растворению флокулянта.

**Основные результаты.** Приготовление концентрированного раствора происходило в цилиндрической емкости диаметром 180 мм, высотой 200 мм (уровень раствора 160 мм). Мешалка была оснащена электрическим приводом мощностью 100 Вт. В качестве растворителя выступала водопроводная вода, температура которой составляла 20 °С [1].

В качестве полимера использовался высокомолекулярный флокулянт *Magnaflok M 155* катионного типа с молекулярной массой 8–10 млн. Подробные реологические характеристики описаны в [2].

В качестве рабочих колес перемешивающего устройства использованы стандартные виды мешалок – турбинная мешалка, трехлопастная мешалка,

а также разработанная нами коническая мешалка. Все мешалки имели диаметр 50 мм (рисунок 1).

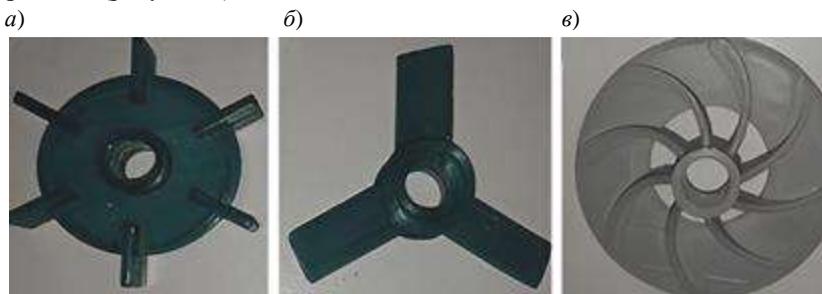


Рисунок 1 – Мешалки, используемые в экспериментах:  
а – турбинная; б – трехлопастная; в – коническая

Однородность готового раствора проверялась путем оценки показателя преломления лазерного луча [3]. Методика расчета пороговой частоты вращения мешалки основывается на определении напряжений турбулентного трения Рейнольдса, создаваемых мешалкой во время ее работы и зависящих от геометрии мешалки. Данные напряжения не должны превышать напряжения сдвига, достаточные для разрушения макромолекул флокулянта.

В статье [2] изучены реологические свойства растворов высокомолекулярных флокулянтов, где показано, какие напряжения сдвига будут критическими для разрыва полимерных связей при различной концентрации порошка.

С другой стороны несложно построить график зависимости напряжения турбулентного трения мешалки при различной частоте вращения для определенной геометрической формы мешалки. Совместив два графика, на пересечении находим определяющую частоту вращения мешалки, т. е. максимально возможную частоту мешалки определенной геометрической формы, при которой молекулярные связи полимера будут сохраняться.

Пример зависимости создаваемых мешалкой турбулентных напряжений и напряжений сдвига раствора флокулянта от частоты вращения мешалки, а также пороговая частота вращения перемешивающего устройства представлены на рисунке 2.

Результаты расчета определяющей частоты вращения, времени растворения и мощности на перемешивание представлены в таблице 1. Отношение  $Q / N$  характеризует количество циклов растворения в час, приходящееся на каждый ватт затраченной мощности на перемешивание. Чем выше этот показатель, тем эффективней используется вводимая в аппарат энергия.

Таким образом, с использованием конической мешалки можно перемешивать флокулянт на наибольшей частоте вращения среди исследованных

мешалок, так как она создает меньше сдвиговых напряжений во время работы за счет обтекаемой формы лопастей. Применение турбинной мешалки на высоких частотах вращения ограничено, поскольку она создает опасные сдвиговые напряжения за счет острых кромок лопаток, расположенных под углом  $90^\circ$  к плоскости вращения. Причем аппарат с конической мешалкой не только самый производительный, но и самый выгодный с точки зрения отношения полезного эффекта к затратам.

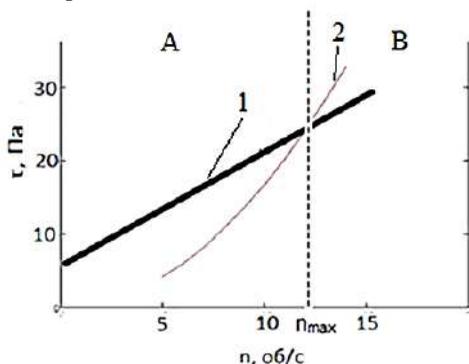


Рисунок 2 – Совмещенный график зависимости вводимых конической мешалкой турбулентных напряжений (линия 2) и напряжений сдвига флокулянта Магнафлок M155 (линия 1) от частоты вращения  $n$ :  
 А – зона допустимой частоты вращения мешалки, В – зона разрушения цепочек флокулянта турбулентными пульсациями,  $n_{max}$  – пороговая частота вращения мешалки

Таблица 1 – Результаты расчетов определяющей частоты перемешивания 0,3%-го раствора флокулянта для каждого типа мешалки

Тип мешалки	Пороговая частота вращения, об/с	$N$ , Вт	$T$	$Q$	$Q/N$
Коническая	12	0,162	40	1,5	7,31
Трехлопастная	7,5	0,061	60	1	6,32
Турбинная	6	0,281	50	1,2	2,1

В результате работы было установлено, что применение новой конической мешалки позволяет ускорить процесс приготовления флокулянтов в 1,5 раза по сравнению с наиболее распространённой лопастной мешалкой и в 1,25 раза по сравнению с турбинной. Следовательно, для правильного подбора мешалки определенной геометрической формы для приготовления растворов флокулянта необходимо:

– выбрать диаметр мешалки и длину вала в зависимости от размеров аппарата исходя из рекомендаций для данного типа мешалок для эффективного суспендирования в системе жидкость – твердое;

- определить значения градиента скорости в осевом направлении. Параметры распределения скоростей для стандартных мешалок можно получить из справочных данных, например [4];
  - рассчитать путь перемешивания;
  - построить график зависимости напряжений сдвига от частоты вращения мешалки для данного диаметра;
  - найти скорость вращения мешалки путем совмещения графиков. Для нахождения определяющей скорости необходимо иметь данные о реологических свойствах растворов флокулянтов;
  - рассчитать мощность, необходимую для перемешивания.
- Следует отметить, что предложенная методика применима только для низкоконцентрированных растворов, обладающих свойствами ньютоновской жидкости.

**Выводы.** В ходе настоящей работы была разработана методика расчета мешалки для приготовления концентрированного флокулянта необходимой концентрации. Теоретический расчет был основан на стандартной полуэмпирической модели турбулентности Прандтля, дополненной Карманом. По результатам расчетов, с помощью конической мешалки можно перемешивать флокулянт на наибольшей частоте вращения среди использованных в работе рабочих колес, так как она создает меньшее количество напряжений во время работы за счет обтекаемой формы лопастей. Применение турбинной мешалки на высоких частотах вращения ограничено, поскольку она создает опасные сдвиговые напряжения за счет острых кромок лопаток, расположенных под углом  $90^\circ$  к плоскости вращения. Аппарат с конической мешалкой по отношению полезного эффекта к затратам на потребляемую электроэнергию также является наиболее привлекательным.

### Список литературы

- 1 Брагинский, Л. Н. Перемешивание в жидких средах / Л. Н. Брагинский, В. И. Бегачев, В. М. Барабаш – Л. : Химия, 1984. – 336 с.
- 2 Изучение реологических свойств флокулянтов / Е. В. Ульрих [и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2011. – № 5. – С. 25–28.
- 3 Очистка сточных вод: биологические и химические процессы / М. Хенце [и др.]. – М. : Мир, 2006. – 480 с.
- 4 РД 26-01-90-85. Механические перемешивающие устройства. Метод расчета. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200043740>. – Дата доступа : 20.02.2020.

## SELECTING THE TYPE AND ROTATION SPEED OF A MIXER FOR EFFICIENT MIXING OF FLOCCULANTS IN WATER

A. N. GRIGOREVA

GC "Elma-Asterion", St. Petersburg, Russian Federation