

*The new technological process and equipment for dissolution of the high-molecular flocculants, increasing efficiency of the wastewaters clearing, is developed.*

Ю. П. ЛЕДЯН, БНТУ

УДК 621.74

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ

В современных литейных цехах машиностроительных предприятий потребляемая техническая вода подается к технологическому оборудованию либо из заводской, либо из цеховой системы оборотного водоснабжения.

После использования в системах грануляции шлаков, мокрой пылеочистки и охлаждения плавильных агрегатов, гидравлической выбивки и другого оборудования сточные воды содержат большое количество взвешенных мелкодисперсных частиц самого различного химического и минералогического состава, осаждение которых представляет собой достаточно сложную техническую проблему.

Для очистки стоков промышленных предприятий от взвешенных мелкодисперсных частиц в настоящее время широко применяются флокулянты, которые резко интенсифицируют процесс флокуляции твердых частиц и осветления воды. Введение даже небольших количеств флокулянтов в сточные воды повышает скорость осаждения мелкодисперсных частиц в десятки и сотни раз [1].

Наиболее эффективными являются синтетические высокомолекулярные вещества. Один из самых распространенных среди них — полиакриламид (ПАА). Современная химическая промышленность выпускает широкий ассортимент марок ПАА, отличающихся друг от друга не только молекулярной массой, степенью гидролиза, но и зарядом ионов (катионные, анионные и неионогенные).

Все три группы продуктов выпускаются как в виде гранулянтов (твердые продукты), так и в форме эмульсий "вода в масле", не содержащих масло дисперсий и водных растворов. Гранулянты представляют собой белые, зернистые, сыпучие непьющие продукты со средним размером гранул от 0,5 до 0,8 мм. Наибольшим спросом пользуется выпускаемый в виде гранул ПАА, используемый для приготовления растворов различных концентраций.

Приготовление водного раствора ПАА требует наличия специального оборудования и соблюде-

ния технологии растворения. Процесс растворения высокомолекулярных веществ в отличие от низкомолекулярных сопровождается набуханием, вернее, набухание таких веществ является начальной стадией их растворения. При набухании высокомолекулярное вещество поглощает воду, значительно увеличивается в массе и становится более пластичным.

На начальной стадии растворения происходит не только диффузия макромолекул ПАА в воду, как это имеет место при растворении низкомолекулярных веществ, но и диффундирование молекул воды в макромолекулу полимера, которая упакована сравнительно неплотно и в результате теплового движения гибких цепей между ними образуются пустоты, в которые могут проникать молекулы воды. Молекулы воды раздвигают вначале отдельные участки цепи макромолекул, а затем — сами макромолекулы.

Так как подвижность небольших молекул воды во много раз выше подвижности макромолекул ПАА, то сначала главным образом происходит диффузия молекул воды в высокополимер, существенно увеличивая его объем, и только потом макромолекулы ПАА, связь между которыми сильно ослабляется, отрываются от основной массы вещества и начинают диффундировать в жидкую среду, образуя однородный раствор. На этой стадии растворения поверхность каждой частицы ПАА покрывается оболочкой, состоящей из набухших макромолекул вещества, обладающих высокой когезией, что может привести к слипанию отдельных частиц флокулянта между собой и образованию плохо растворимых в дальнейшем комков.

Растворение высокомолекулярных соединений в нестационарных вращающихся потоках происходит более эффективно вследствие специфических особенностей полимеров. Диспергированные частицы ПАА, обладающие более высокой, чем вода плотностью, при ускорении потока отстают от молекул воды вследствие большей инерцион-

ности. Поток жидкости обтекает макромолекулы полимера и молекулы воды при этом ударяются о макромолекулы, проникая внутрь частицы в межмолекулярные промежутки каждой макромолекулы [2].

При замедлении потока взвешенные макромолекулы ПАА обгоняют молекулы воды, сталкиваясь с ними, что также способствует интенсификации проникновения молекул воды в набухший слой. Одновременно с этим происходит отрыв макромолекул с поверхности слоя и уход их в раствор. Поскольку в нестационарном вращающемся потоке периодически возникают повышенные сдвиговые напряжения, то отрыв макромолекул полимера от поверхности частицы происходит более интенсивно, чем в случае равномерно вращающегося потока. Ускорение процесса отрыва макромолекул от поверхности частиц приводит в свою очередь к интенсификации процесса проникновения молекул воды внутрь макромолекул полимера, что приводит, в конечном итоге, к сокращению длительности растворения флокулянта в воде. Сокращение длительности растворения способствует повышению флокулирующей способности флокулянта, так как при этом сокращается общая длительность воздействия повышенных сдвиговых напряжений на каждую находящуюся в растворе макромолекулу, а следовательно, снижается степень деструкции.

Кроме того, использование нестационарного вращающегося потока, существенно интенсифицирующего скорость растворения, позволяет уменьшить окружную скорость импеллера, что приводит к снижению сдвиговых напряжений и в результате этого к снижению деструкции макромолекул.

Процесс растворения твердых частиц в жидкости описывается кинетическим уравнением Щукарева [3, 4]:

$$-\frac{dM}{d\tau} = \beta F(c_{\text{нас}} - c_0), \quad (1)$$

где  $M$  – масса растворяющегося твердого вещества в момент времени  $\tau$ ;  $F$  – поверхность растворения вещества в момент времени  $\tau$ ;  $\beta$  – коэффициент массоотдачи в жидкой фазе;  $c_{\text{нас}}$  – концентрация насыщенного раствора;  $c_0$  – концентрация раствора, окружающего растворяющуюся частицу.

Кроме указанных параметров, определяющих скорость процесса растворения твердой частицы в воде, существенное влияние на динамику процесса оказывает скорость обтекания растворяемой частицы потоком жидкости, увеличение которой повышает эффективность процесса растворения [5].

Исходя из этого соображения, повышение степени турбулизации суспензии, состоящей из твердых частиц ПАА и воды, приводит к интенсификации процесса растворения полимера. Однако

ко в этом случае под действием высоких касательных напряжений происходит деструкция макромолекул полимера, которая приводит к уменьшению эффективности действия флокулянта.

При воздействии на раствор полимера постоянного сдвигового напряжения процесс деструкции развивается до момента полного разрыва всех связей, в результате чего появляются макромолекулярные фрагменты критической длины, флокулирующая способность которых существенно ниже, чем у макромолекул, не подвергавшихся механической деструкции.

В подавляющем большинстве случаев растворение ПАА осуществляется в аппаратах непрерывного или периодического действия с мешалками (импеллерами). На начальной стадии растворения в емкости мешалки необходимо создать суспензию, состоящую из твердых частиц полимера и воды.

Основным вопросом при выборе аппарата для перемешивания суспензии ПАА является определение условий, обеспечивающих отсутствие осадка на днище аппарата. Зависимости, описывающие процесс подъема частиц из осадка, как правило, отражают соотношение между осредненными или пульсационными скоростями потока и скоростью осаждения частиц [6].

Обычно рассматривается баланс сил, действующих на одиночную частицу, а концентрация твердой фазы в суспензии вообще не учитывается, так же, как не учитывается высокая адгезия поверхности набухающей частицы, которая приводит к образованию больших комьев частиц, возникающих в результате прилипания их к днищу и стенкам аппарата, а также к слипанию их между собой [7].

Технологический процесс приготовления раствора флокулянта начинается с момента контакта твердых частиц с водой при подаче их в емкость аппарата растворения (импеллерной мешалки). Импеллер мешалки должен при этом непременно вращаться во избежание осаждения частиц ПАА на днище емкости мешалки.

Подачу частиц в воду необходимо осуществлять таким образом, чтобы частицы в момент загрузки не соприкасались друг с другом и не слипались между собой. При нахождении в емкости частицы не должны опускаться на дно под действием сил гравитации, что может быть достигнуто либо за счет интенсивного перемешивания, либо за счет повышения вязкости жидкой фазы, в которую вводится порошкообразный флокулянт на начальной стадии растворения.

На частицу флокулянта, находящуюся в объеме мешалки, действует сила тяжести  $G$ :

$$G = \rho_t g W_t, \quad (2)$$

где  $\rho_t$  – плотность материала частицы;  $W_t$  – объем частицы;  $g$  – ускорение свободного падения.

Кроме силы тяжести, на каждую частицу действуют еще две силы: архимедова сила и сила сопротивления трения. Архимедова сила  $P_A$  определяется по выражению:

$$P_A = \rho_{ж} g W_B, \quad (3)$$

где  $\rho_{ж}$  — плотность жидкости;  $W_B$  — объемное водоизмещение.

Сила сопротивления трения  $P_c$  для сферической частицы при отсутствии скольжения жидкости по поверхности в соответствии с формулой Стокса равна:

$$P_c = 3\pi\mu d v, \quad (4)$$

где  $\mu$  — динамический коэффициент вязкости жидкости;  $d$  — диаметр частицы;  $v$  — скорость падения частицы.

Скорость стесненного падения частицы в жидкости описывается формулой Стокса-Эйнштейна:

$$v_{ст} = \frac{d^2(\rho_{т} - \rho_{ж})g}{18\mu(1 + 2,5C)}. \quad (5)$$

Анализ выражений (2)–(5) показывает, что при определенном сочетании  $\rho_{т}$ ,  $\rho_{ж}$  и  $\mu$  возможно не только существенно снизить скорость падения частиц ПАА на дно мешалки, но и вообще предотвратить перемещение их вниз даже на начальной стадии приготовления раствора флокулянта.

В связи с тем что на всех этапах приготовления раствора  $\rho_{т} > \rho_{ж}$  и  $\rho_{ж}$  нарастает на начальной стадии растворения достаточно медленно, для предотвращения оседания необходимо осуществлять подачу частиц флокулянта не в воду, а в заранее приготовленный раствор флокулянта, вязкость которого достаточна для обеспечения нахождения частиц во “взвешенном” состоянии на начальной стадии процесса.

По мере растворения полимера вязкость раствора увеличивается и в емкость мешалки необходимо дополнительно подавать воду, распределяя ее по всему объему находящейся в мешалке пульпы. Процесс подачи дополнительной воды можно осуществлять либо в непрерывном режиме, либо дискретно.

На первой стадии растворения готовится концентрированный раствор с концентрацией 1,5–2,0 % с использованием разработанного в БНТУ способа “статического” растворения, по-

зволяющего прекращать перемешивание находящегося в емкости мешалки объема сразу же после завершения загрузки флокулянта, осуществляемой с помощью специального устройства приготовления суспензии (рис. 1).

Подача порошкообразного флокулянта в мешалку осуществляется в виде водной суспензии, приготавливаемой с помощью дозирующего устройства для приготовления суспензии (патент Республики Беларусь № 2408). Порошкообразный ПАА засыпается в бункер 1, который в момент загрузки полимера опущен вниз таким образом, что конус 2 перекрывает отверстие в коническом днище бункера. После завершения загрузки полимера в кольцевой коллектор 5 подают воду, которая, сливаясь через отверстия 6, равномерно расположенные по периметру воронки 4, создает на ее внутренней поверхности пленку, стекающую вниз. Цилиндрическая обечайка 7 предназначена для предотвращения попадания воды на наружную поверхность конуса 2, что может привести к прилипанию частиц флокулянта.

Для создания водной суспензии ПАА и подачи ее в установку приготовления раствора бункер 1 вместе с находящимся в нем порошкообразным

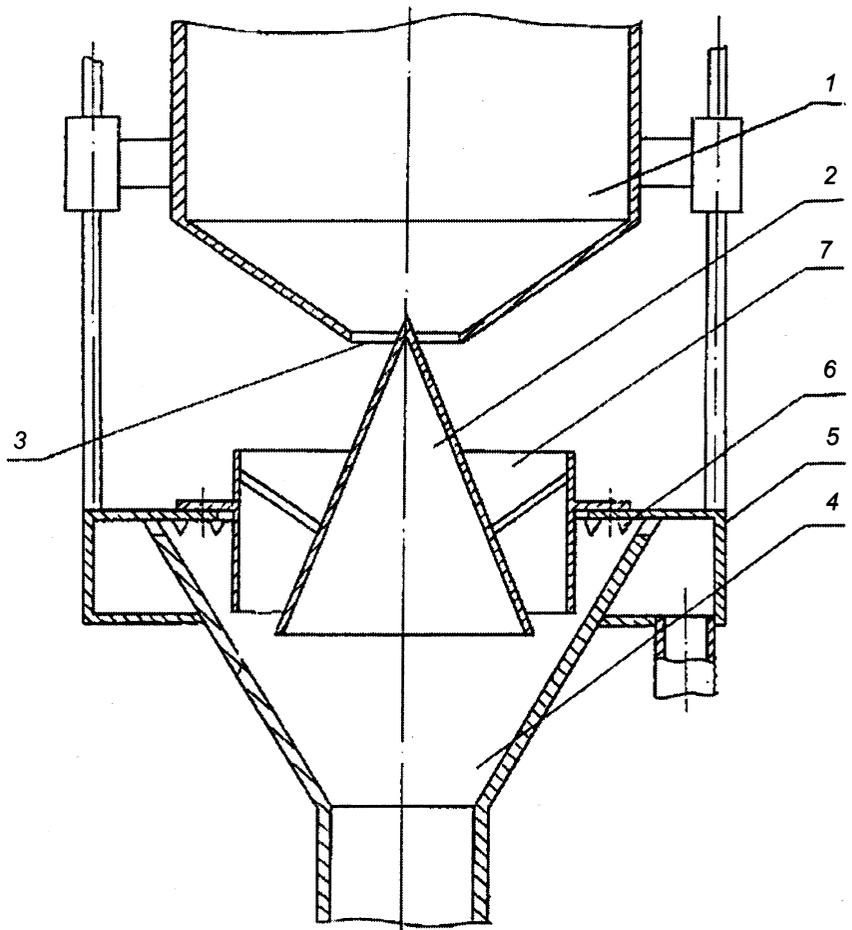


Рис. 1. Дозирующее устройство для приготовления суспензии: 1 — бункер порошкообразного материала; 2 — конус-рассекатель; 3 — узел подачи; 4 — коническая приемная воронка; 5 — кольцевой коллектор; 6 — отверстия в стенке коллектора; 7 — цилиндрическая обечайка

ПАА перемещают вверх с помощью механизма перемещения (на рис. 1 не показан). При этом между отверстием в днище бункера 1 и вершиной конуса 2 образуется кольцевой зазор, через который порошкообразный ПАА попадает на поверхность конуса 2 и ссыпается вниз на смоченную водой внутреннюю поверхность конуса 4.

Благодаря достаточно большой длине периметра основания конуса 2 частички ПАА ссыпаются вниз на поверхность воронки 4 и смываются водой не слипаясь между собой, в результате чего в емкость мешалки поступает однородная суспензия, не содержащая комков слипшихся частиц.

Из устройства приготовления суспензии 1 (рис. 2) водная суспензия центробежным насосом 5 закачивается в емкость мешалки 2, которая частично заполняется предварительно приготовленным раствором флокулянта расчетной концентрации. В момент загрузки мешалки двигатель вращает импеллер и водная суспензия флокулянта

равномерно распределяется по всему объему раствора, заполняющего емкость. Использование центробежного насоса позволяет разрушить мелкие комья слипшихся частиц ПАА, если они образовались при загрузке.

После завершения загрузки необходимой дозы флокулянта двигатель импеллера отключается и распределенные по объему раствора частицы, оставаясь во взвешенном состоянии, растворяются. Процесс растворения частиц сопровождается увеличением вязкости раствора вследствие повышения его концентрации.

По мере возрастания концентрации раствора в емкость мешалки необходимо подавать воду. Заполнение мешалки необходимым количеством воды осуществляется дискретно, вода подается несколькими порциями. В момент подачи очередной порции воды включается механизм перемешивания. Подача воды осуществляется через устройство циркуляционного разбавления 10, пред-

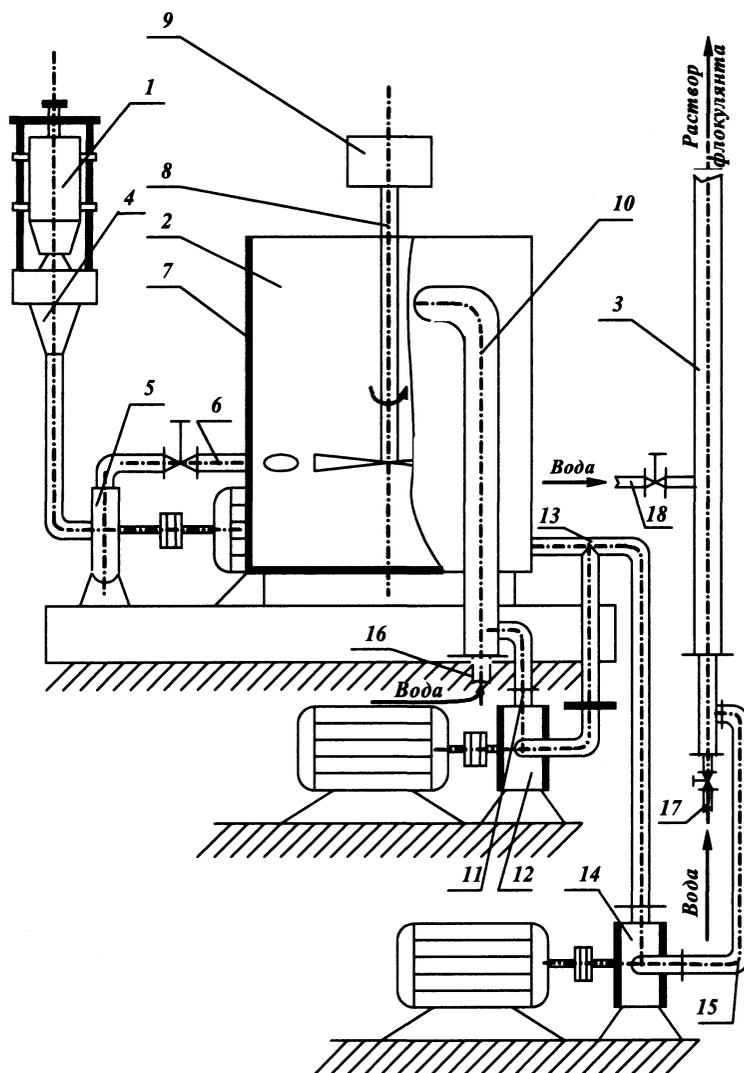


Рис. 2. Схема установки приготовления раствора флокулянта: 1 – устройство приготовления суспензии; 2 – мешалка; 3 – устройство разбавления раствора; 4 – устройство ввода флокулянта; 5 – насос системы приготовления суспензии; 6 – трубопровод подачи суспензии; 7 – корпус мешалки; 8 – вал импеллера; 9 – привод импеллера; 10 – устройство циркуляционного разбавления; 11 – трубопровод; 12 – насос системы циркуляции; 13 – всасывающий трубопровод; 14 – насос системы разбавления; 15 – напорный трубопровод; 16 – трубопровод подачи воды в систему циркуляции; 17 – трубопровод подачи воды в первую ступень системы разбавления; 18 – трубопровод подачи воды во вторую ступень системы разбавления

ставляющего собой статический смеситель оригинальной конструкции. По трубопроводу 11 объемным насосом 12 в устройство разбавления 10 подается засасываемый через трубопровод 13 из емкости 2 раствор флокулянта, а через трубопровод 16 поступает вода, которая разбавляет концентрированный раствор.

Разбавленный водой в устройстве разбавления 10 раствор вместе с частично растворившимися частичками ПАА возвращается в емкость мешалки 2, где распределяется по всему объему за счет кинетической энергии струи и вращения импеллера. После завершения подачи необходимой дозы воды вращение импеллера прекращается и процесс растворения частиц продолжается без перемешивания.

Длительность всего цикла приготовления концентрированного раствора составляет 2,0–2,5 ч. При этом продолжительность работы механизма перемешивания не превышает 0,2–0,3 ч. Существенное сокращение длительности перемешивания не только значительно снижает энергоемкость процесса растворения, но и повышает качество приготовленного концентрированного раствора за счет уменьшения степени деструкции.

После полного завершения процесса растворения ПАА в мешалке 2 готовый концентрированный раствор через трубопровод 13 объемным насосом 14 подается по трубопроводу 15 в первую ступень устройства разбавления 3, в которое по трубопроводу 17 поступает вода. Устройство разбавления представляет собой статический смеситель, аналогичный устройству циркуляционного разбавления 10 и обеспечивает качественное разбавление раствора концентрации 1,5–2,0% до рабочей концентрации 0,1%, т.е. в 15–20 раз.

В первой ступени концентрация раствора понижается до 0,5–0,7%, а во второй ступени за счет подачи через трубопровод 18 дополнительного количества воды – до 0,1%. Раствор рабочей концентрации (0,1%) поступает в накопительную емкость, откуда по мере необходимости подается в бак-отстойник системы оборотного водоснабжения, где происходит флокуляция мелкодисперсных частиц и осветление сточных вод. Устройство

разбавления обеспечивает качественное разбавление раствора концентрации 1,5–2,0% до рабочей концентрации 0,1%, т.е. в 15–20 раз.

Созданные в БНТУ оборудование и технологический процесс растворения высокомолекулярного флокулянта внедрены и успешно эксплуатируются на силивинитовых обогатительных фабриках ПО “Беларускалий”.

Установки приготовления раствора флокулянта имеют по две мешалки объемом 30 м<sup>3</sup> каждая, что позволяет готовить в течение 3–4 ч до 60 м<sup>3</sup> концентрированного раствора, который при разбавлении обеспечивает подачу на сгущение глинистых шламов до 1200 м<sup>3</sup> раствора рабочей концентрации высокого качества при минимальных энергозатратах. Весь цикл приготовления и подачи в технологический процесс раствора флокулянта осуществляется в автоматическом режиме. Управление установкой осуществляет компьютер.

Разработанные технические решения позволили создать гамму установок, которые могут обеспечить раствором флокулянта системы оборотного водоснабжения литейных цехов любой производительности.

### Литература

1. Аксельруд Г.А. Кинетика растворения полидисперсной смеси // Журн. физ. химии. 1955. Т. 29, №7. С. 1181–1186.
2. Систер В.Г., Мартынов Ю.В. О растворении высокомолекулярных соединений в аппарате с мешалкой // Теоретические основы химической технологии. 2000. Т.34, №2. С. 183–187.
3. Аксельруд Г.А., Молчанов А.Д. Растворение твердых веществ. М.: Химия, 1977.
4. Брагинский Н.Л., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета. Л.: Химия, 1984.
5. Николаев А.Ф., Охрименко Г.И. Водорастворимые полимеры. Л.: Химия, 1979.
6. Орел С.М., Ратыч Л.Ф. О некоторых моделях процесса растворения твердых частиц в аппаратах с мешалкой // Журн. прикл. химии. 1990. Т.63, №9. С. 1980–1984.
7. Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1984.
8. Барабаш В.М., Зеленский В.Е. Перемешивание суспензий // Теоретические основы химической технологии. 1997. Т. 31, №5. С. 465–471.