

## ОБЕСЦВЕЧИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НАПОРНОЙ РЕАГЕНТНОЙ ФЛОТАЦИЕЙ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ

**Введение.** На сегодняшний день одной из перспективных технологий водоподготовки является напорная флотация [1], при которой выделение взвеси происходит с помощью пузырьков газа, получаемых из перенасыщенного водовоздушного раствора. Этот метод лучше всего подходит для отделения флюкул невысокой плотности, которые образуются при подготовке воды, содержащих незначительное количество взвешенных веществ и богатых гуминовыми кислотами. Флотация сопровождается двумя условиями:

- помимо флюкул гидрофобных взвешенных веществ, с помощью флотации можно отделить такие флюкулы, которые были образованы до входа воды во флотатор;
- флюкулы должны обладать способностью к соединению с таким количеством пузырьков, которого будет достаточно, чтобы образовавшийся комплекс из воздуха и флюкул приобрел надлежащую скорость всплытия. Для проверки выполнения этого условия проводится предварительное лабораторное тестирование (Flotatest) [2, 3].

**Основная часть.** При осветлении поверхностных вод расход насыщенной воздухом воды составляет от 5 до 50 % расхода обрабатываемой воды, давление 4–6 бар.

Для отделения флюкул целесообразно использовать микропузырьки, поскольку пузырек диаметром 1,2 мм заключает в себе в 8000 раз больше воздуха, чем микропузырек размером 60 мкм. Из этого следует:

- если для получения равномерного распределения пузырьков по всему сечению аппарата будут использованы пузырьки диаметром несколько миллиметров, то это потребует большего расхода воздуха, чем в случае с микропузырьками, при этом большее количество воздуха приведет к возникновению турбулентных течений, обладающих весьма значительным возмущающим действием;

- увеличение концентрации пузырьков повышает вероятность встречи частиц с пузырьками. Кроме того, небольшая восходящая скорость микропузырьков в массе жидкости обеспечивает более надежное их прилипание к флюкулам;

- сцепление пузырьков значительно облегчается, если их диаметр меньше диаметра взвешенной флюкулы.

Восходящая скорость микропузырька газа в воде в ламинарном режиме описывается уравнением Стокса:

$$V = g / 18 \cdot \mu (\rho_L - \rho_g) \cdot d^2,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $d$  – диаметр пузырька, м;  $\rho_L$  – плотность жидкости,  $kg/m^3$ ;  $\rho_g$  – плотность газа,  $kg/m^3$ ;  $\mu$  – динамическая вязкость жидкости.

При увеличении диаметра пузырька его восходящая скорость возрастает и увеличивается турбулентность течения вокруг него, вследствие чего его движение перестает подчиняться закону Стокса. Поэтому для расчета восходящей скорости пузырьков последовательно применяют законы Стокса, Аллена и Ньютона (рисунок 1).

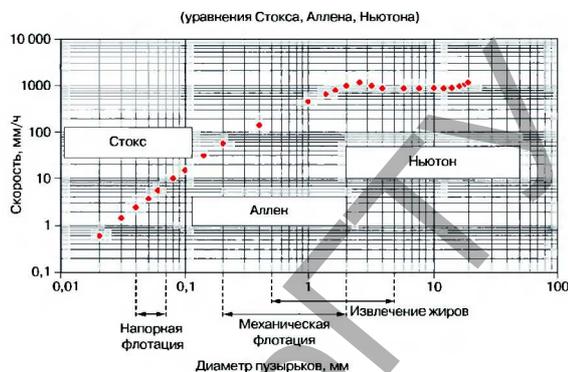


Рисунок 1. Восходящая скорость пузырьков воздуха в воде

Предварительное насыщение воды воздухом под давлением является наиболее распространенным способом формирования микропузырьков, контакт воды с воздухом происходит в закрытом сосуде под давлением, при этом воздух растворяется в воде в соответствии с законом Генри (рисунок 2) [2]:

$$C = k \cdot p,$$

где  $p$  – парциальное давление над раствором, Па;  $C$  – молярная концентрация газа в растворе, моль/л.

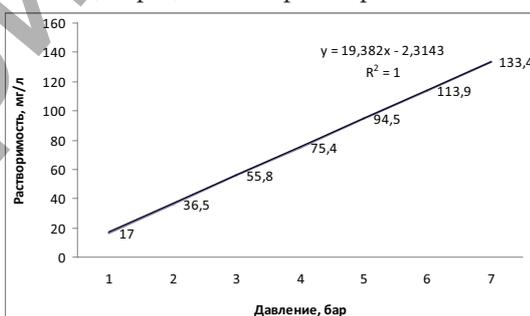


Рисунок 2. Растворимость воздуха в воде при 20 °С. [2]

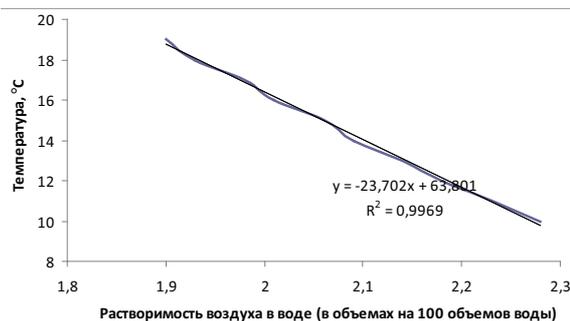


Рисунок 3. Растворимость воздуха в воде в зависимости от температуры

Анализ литературных данных показал, что отсутствуют научно обоснованные данные по обесцвечиванию гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод Белорусского Полесья методом реагентной напорной флотацией, что не позволяет обоснованно запроектировать флотационную установку. Для разработки научно-обоснованных и

*Таратенкова Майа Александровна, магистрант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

экспериментально подтвержденных рекомендаций были проведены исследования по влиянию трех факторов, оказывающих наиболее сильное влияние на процесс обезцвечивания воды напорной реагентной флотацией:

- соотношение расхода водовоздушного раствора к расходу обрабатываемой воды (СР);
  - концентрации растворенного воздуха в перенасыщенном водовоздушном растворе;
  - продолжительности пребывания воды во флотаторе.
- Общий вид экспериментальной установки представлен на рисунке 4.



Рисунок 4. Лабораторная установка по очистке цветных маломутных вод Республики Беларусь методом напорной реагентной флотации для предприятий энергетики.

В качестве сатуратора использовался стальной газовый баллон с насадкой. Контроль за давлением осуществлялся с помощью манометра. Установка работала следующим образом. С помощью нагнетателя воздуха в сатураторе, предварительно наполненного водой, создавалось фиксированное давление в результате растворения воздуха получали перенасыщенный раствор, который перепускался затем во флотационную камеру с коническим днищем. Соотношение расхода водовоздушного раствора к расходу обрабатываемой воды регулировалось объемным методом. Концентрацию растворенного воздуха в перенасыщенном водовоздушном растворе изменяли путем регулирования давления в сатураторе. Продолжительность пребывания воды во флотаторе принимали за период времени от окончания ввода водовоздушного раствора до отбора пробы. В качестве реагентов были использованы коагулянт ПАХ-18 и флокулянт ПАА. Дозы реагентов приняты в соответствии с работой [4]. В результате флотации на поверхности воды образовывался флотоконденсат в виде пены, имеющей желтую окраску (рисунок 5). В качестве функции отклика принят эффект обезцвечивания.



Рисунок 5. Пенный конденсат

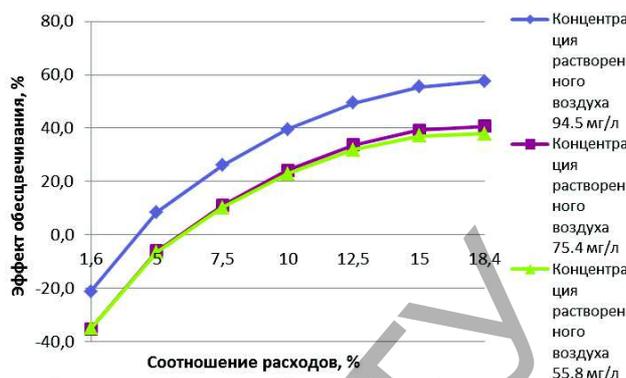


Рисунок 6. Влияние СР на эффект обезцвечивания напорной флотацией при различной концентрации растворенного воздуха в водовоздушном растворе при продолжительности флотации 2,64 мин.

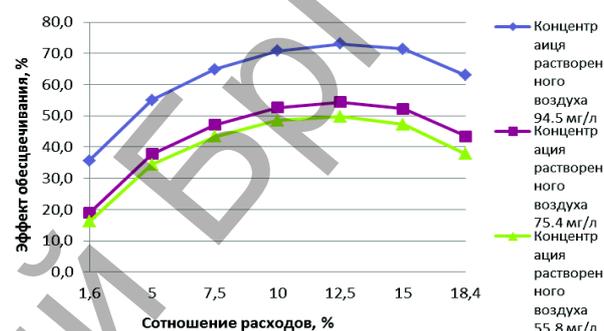


Рисунок 7. Влияние СР на эффект обезцвечивания напорной флотацией при различной концентрации растворенного воздуха в водовоздушном растворе при продолжительности флотации 6,64 мин.

На рисунке 6 и 7 представлены графики влияния соотношения расходов водовоздушного раствора к расходу обрабатываемой воды (СР) на эффект обезцвечивания воды при различных концентрациях растворенного воздуха в водовоздушном растворе. Как следует из рисунка 6, при максимальной концентрации растворенного воздуха 94,5 мг/л наибольшая эффективность обезцвечивания составила 60% при СР 18,4%. При концентрации растворенного воздуха 55,8 и 75,4 мг/л эффективность при том же СР была на 20% меньше и составила 40%, при этом продолжительность пребывания составляла 2,64 минуты. На рисунке 7 приведены результаты экспериментов при увеличенной продолжительности пребывания воды во флотаторе до 6,64 минут. Из рисунка видно, что максимальный эффект достигается при концентрации растворенного воздуха 94,5 мг/л и СР 12,5%. Дальнейшее увеличение СР снижает эффект обезцвечивания. Что можно объяснить частичным разрушением флокул в результате турбулентности.

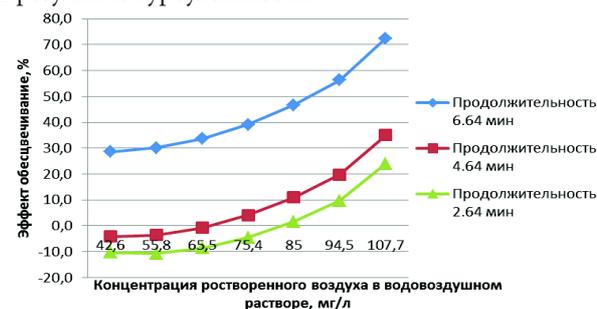
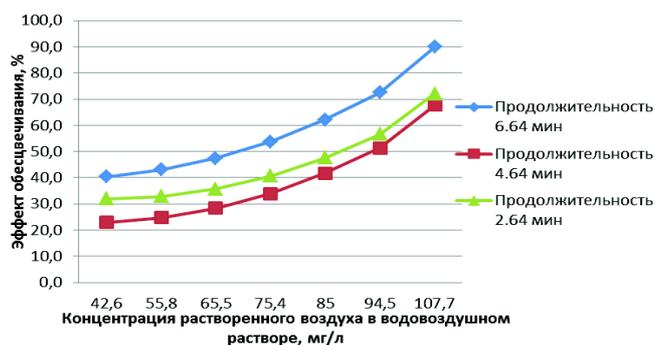
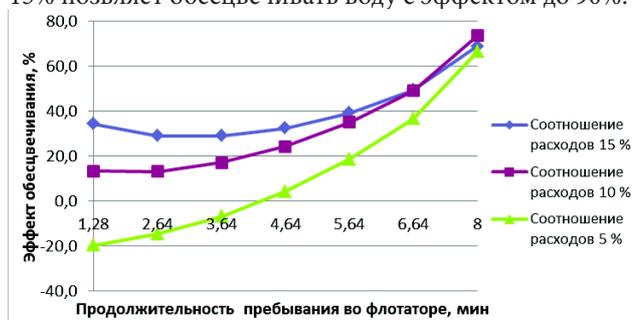


Рисунок 8. Влияние концентрации растворенного воздуха в водовоздушном растворе на эффект обезцвечивания при СР 5%

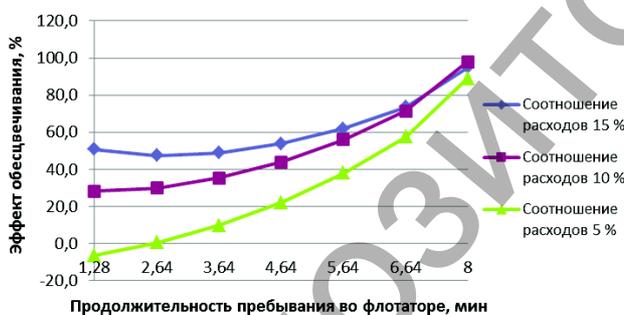


**Рисунок 9.** Влияние концентрации растворенного воздуха в водовоздушном растворе на эффект обесцвечивания при СР 15 %

Концентрация растворенного воздуха оказывает сильное влияние на процесс обесцвечивания воды. Так, увеличение концентрации растворенного воздуха с 42,6 до 107,7 мг/л сопровождается увеличением эффекта от 30 до 75% при продолжительности пребывания воды во флотаторе 6,64 минуты, при СР 5%. Увеличение СР до 15% позволяет обесцвечивать воду с эффектом до 90%.



**Рисунок 10.** Влияние продолжительности пребывания во флотаторе на эффект обесцвечивания при концентрации растворенного воздуха в водовоздушном растворе 55,8 мг/л



**Рисунок 11.** Влияние продолжительности пребывания во флотаторе на эффект обесцвечивания при концентрации растворенного воздуха в водовоздушном растворе 94,5 мг/л

На рисунке 10 и 11 представлены результаты по исследованию влияния продолжительности пребывания воды на эффект обесцвечивания при соотношении СР 15, 10 и 5%. При концентрации растворенного воздуха 55,8 мг/л достигается обесцвечивание воды до 70%, а при концентрации 94,5 мг/л эффект увеличивается до 99%.

Таким образом, эффективность обесцвечивания воды повышается при увеличении соотношении расходов от 1,6

до 12,5%, дальнейшее увеличение замедляет процесс. Концентрация растворенного воздуха так же оказывает положительное влияние на обесцвечивание. Увеличение концентрации от 42,6 до 107,7 мг/л, что соответствует давлению в сатураторе от 0,23 МПа до 0,57 МПа соответственно, позволяет увеличить эффект обесцвечивания с 40 до 90%.

Увеличение СР наряду с положительным эффектом вызывает необходимость использования больших объемов сатуратора, что сопровождается удорожанием установки. Эффективность обесцвечивания так же возрастает с увеличением концентраций растворенного воздуха, которая зависит, главным образом, от давления. Повышение концентрации свыше 107,7 мг/л сопровождается с увеличением давления в сатураторе свыше 0,57 МПа, что технически затрудняет процесс.

После введения насыщенного водовоздушного раствора микропузырькам необходимо некоторое время для того, чтобы присоединиться с флокулами, после чего эти комплексы всплывают на поверхность воды, образуя пену. Как видно из графиков (рисунки 10, 11) недостаточное время нахождения во флотаторе может привести к тому, что комплексы "флокулы-микропузырьки" не успевают соединиться и всплыть на поверхность, что приводит к появлению взвешенных веществ в воде и, как следствие, увеличению цветности.

**Заключение:**

1. Выполнены экспериментальные исследования по обесцвечиванию гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод методом напорной реагентной флотацией.

2. Установлено, что наибольшее влияние на процесс оказывают факторы:

- соотношение расхода водовоздушного раствора к расходу обрабатываемой воды (СР);
- концентрация растворенного воздуха в перенасыщенном водовоздушном растворе;
- продолжительность пребывания воды во флотаторе.

3. Выявлены оптимальные параметры процесса обесцвечивания гумусово-гидрокарбонатно-кальциевых вод методом напорной реагентной флотации:

- соотношение расхода водовоздушного раствора к расходу обрабатываемой воды (СР) — 12,5%;
- концентрация растворенного воздуха в перенасыщенном водовоздушном растворе — 94,5 мг/л;
- продолжительность пребывания воды во флотаторе — 8 минут.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Кофман, В.Я. Напорная флотация в водоподготовке (обзор зарубежных изданий) / В.Я. Кофанов // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. – №5. – С. 44-48.
2. Технический справочник по обработке воды: в 2 т. – СПб.: Новый журнал, 2007. – Т. 2: пер. с фр.
3. Технический справочник по обработке воды: в 2 т. – СПб.: Новый журнал, 2007. – Т. 1: пер. с фр.
4. Житенев, Б.Н. Обесцвечивание поверхностных вод коагулированием с предварительным озонированием для производственного водоснабжения / Б.Н. Житенев, М.А. Таратенкова // Брест: Вестник БрГТУ. – 2016. – №2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 67-69.

Материал поступил в редакцию 16.05.17

**ZHITENEV B.N., TARATENKOVA M.A. Discoloration of surface waters discharge of chemical flotation for energy enterprises**

Investigations were carried out on the effect of the ratio of the air-saturated water flow to the treated water, the concentration of dissolved air in the water-air solution, the length of water stay in the flotator for the process of colour removal from humus-hydrocarbonate-calcium waters by the method of pressure reagent flotation. Studies were carried out on the effect of the ratio of air-water.