

## Расчет дозы минерального коагулянта при очистке воды по способу концентрированного коагулирования

*М.А. Сафронов, О.А. Тимофеева*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

**Аннотация:** Приведена методика расчета дозы коагулянта при использовании технологии концентрированного коагулирования с добавлением воздуха. Рассмотрены особенности использования в качестве коагулянта сернокислого алюминия и полиоксихлорида алюминия в различные периоды года с учетом сезонных изменений качества воды. Уточненная методика расчета дозы коагулянта позволяет определять весовую дозу реагента, в том числе и смешанного коагулянта с учетом требуемого воздухом насыщения воды, а также оптимальной величины объема так называемого вспомогательного потока воды, отправляемого на концентрированное коагулирование.

**Ключевые слова:** доза коагулянта, сернокислый алюминий, полиоксихлорид алюминия, воздухом насыщение, концентрированное коагулирование, вспомогательный поток, смешанный коагулянт.

Коагуляционная обработка является неотъемлемой частью процесса водоочистки природной воды при использовании двухступенчатых технологических схем [1]. При этом расчет оптимальной дозы того или иного коагулянта является одной из важнейших составляющих эффективности процесса реагентной обработки с учетом экономической целесообразности. В качестве коагулянтов на водопроводных очистных сооружениях могут использоваться минеральные и органические коагулянты. Среди минеральных коагулянтов наиболее распространённым является сернокислый алюминий (СА), дающий приемлемый эффект очистки при относительно невысокой стоимости [2]. Коагулянт полиоксихлорид алюминия (ПОХА) способен обеспечить сопоставимый эффект очистки при дозах в 5-10 раз меньше чем СА, однако стоимость его гораздо выше. Снизить затраты на коагулянты возможно при добавлении их в воду с использованием энерго- и ресурсосберегающих технологий, позволяющих достигать требуемого эффекта очистки при минимальных затратах [3, 4]. К таким технологиям можно отнести концентрированный способ добавления коагулянта, а также добавление в воду воздуха в процессе реагентной

---

обработки [5,6]. Расчеты по определению дозы коагулянта при использовании указанных способов, а также при чередовании различных коагулянтов в зависимости от исходных показателей воды требуют значительной корректировки в сравнении с аналогичными расчетами в условиях использования стандартных методик коагуляционной обработки. В частности нужно учитывать период года, тип коагулянта, количество воздуха добавляемого в воду и количество воды, отводимое на концентрированное коагулирование. Период года, в который происходит реагентная обработка, определяет качественный состав воды по её основным показателям, таким как мутность и цветность, при этом колебание этих показателей в период паводка или цветения воды в водоемах требует серьезного анализа и разработки рекомендаций по определению дозы коагулянта с учетом данных особенностей. Объем воздуха, требуемый для эффективной аэрационной обработки воды, также является важным параметром и требует существенного анализа с целью определения оптимального значения, позволяющего эффективно расходовать средства без ущерба для качества очистки воды [7]. Что касается объема воды, отводимого на концентрированное коагулирование, так называемый вспомогательный поток, то в литературе приведен достаточно широкий диапазон этого значения – вплоть до 50% от общего объема обрабатываемой воды, что осложняет его определение для конкретных исходных данных воды.

В работе [8] проводились экспериментальные исследования по выбору оптимального соотношения СА/ПОХА и величины  $P_y$  на воде Сурского водохранилища г. Пензы (мутность до 92 мг/л; цветность до 40 град; перманганатная окисляемость до 8 мгО<sub>2</sub>/л). Эффективность предложенной технологии оценивалась путем сравнения мутности фильтрата в опытных пробах не с мутностью, требуемой по СанПиН 2.1.4.1074-01, а с мутностью контрольной пробы, предварительно обработанной коагулянтом СА по

---

традиционной технологии, которая, как правило, была в пределах 0,6 мг/л. Предлагаемый усовершенствованный способ концентрированного коагулирования с применением высокоградиентного перемешивания водовоздушной смеси позволяет достичь экономии сернокислого алюминия в среднем на 40-45 % и снизить эксплуатационные затраты по сравнению с технологией стандартного гидравлического перемешивания всего объема воды с коагулянтom при одинаковом эффекте очистки, особенно для условий низких температур воды. Остаточное содержание алюминия в очищенной водопроводной воде для условий паводка сокращается в 2 раза, что имеет важное значение для охраны здоровья населения. В данной работе были получены формулы для определения требуемых доз коагулянтов СА и ПОХА. Данные реагенты могут быть использованы как по отдельности, так и в составе смешанного минерального коагулянта – эффективность действия, а также экономическая целесообразность применения, которого была экспериментально подтверждена в работе [9]. Полученные формулы могут быть использованы при коагуляционной обработке воды с использованием аэрации, а также концентрированного способа ввода коагулянтов в обрабатываемую воду.

Согласно полученным формулам, рекомендованная доза СА может быть определена

$$D_k = A \cdot T_1 + (1 - A)T_2 \quad (1)$$

Для определения безразмерного параметра  $A$ , может быть использована формула

$$A = 0,2 \cdot D_{mk} - 2 \quad (2)$$

Для определения безразмерных параметров  $T_1$ , и  $T_2$  могут быть использованы формулы

$$T_1 = 43,7 - 296,3 \cdot (0,1 - \varphi)^2 - \frac{115,5}{\Pi_y} \cdot \varphi \quad (3)$$

$$T_2 = 29,8 - 204,3 \cdot (0,1 - \varphi)^2 - \frac{77}{\Pi_y} \cdot \varphi \quad (4)$$

где  $\varphi$  - относительное объемное воздухо насыщение вспомогательного потока воды, обрабатываемого коагулянтном;

$\Pi_y$  - относительный объем воды, обработанной коагулянтном при концентрированном коагулировании;

$D_{mk}$  - доза СА, применяемая для очистки воды по традиционной технологии, мг/л.

В период паводка суммарная доза коагулянтов СА ( $D_{CA}$ ) и ПОХА ( $D_{ПОХА}$ ) находится по уравнению

$$D_{\kappa 1-2} = D_{CA} + D_{ПОХА} = B \cdot T_1 + (1 - B)T_2 \quad (5)$$

Для определения безразмерного параметра  $B$ , может быть использована формула

$$B = 0,1 \cdot D_{mk} - 5 \quad (6)$$

Для определения безразмерных параметров  $T_1$ , и  $T_2$  могут быть использованы формулы

$$T_1 = 170,3 - 1142,6 \cdot (0,1 - \varphi)^2 - \frac{1121,9}{\Pi_y} \cdot \varphi \quad (7)$$

$$T_2 = 170,9 - 1237,8 \cdot (0,1 - \varphi)^2 - \frac{1092,5}{\Pi_y} \cdot \varphi \quad (8)$$

Соотношение  $D_{ПОХА} / D_{CA} = 0,14 - 0,17$ .

В работе [10] исследовалось влияние аэрации на процесс смешения воды с коагулянтами. Для адаптации приведенных формул под конкретные условия для осуществления практических расчетов доз коагулянтов с использованием технологии концентрированного коагулирования приведем рекомендуемые значения различных величин, используемых в расчетах. Обработку воды коагулянтном в течение года разобьем на три периода –

летний, осенне-зимний и период паводка, в который согласно экспериментальным данным целесообразно применение смешанного коагулянта. Указанные замечания справедливы для исходной воды, с характеристиками, приведенными в работе [8].

Летний период – коагулянт СА. В данный период мутность воды относительно невысокая.

Доза коагулянта, $D_{тк}$ , мг/л	Воздухонасыщение воды $\varphi$	Объем воды, $P_y$ , %
10	0,08	3
10	0,09	3
10	0,1	3
10	0,11	3
10	0,12	3

Осенне-зимний период – коагулянт СА. Данный период характеризовался снижением температуры воды и небольшим увеличением мутности.

Доза коагулянта, $D_{тк}$ , мг/л	Воздухонасыщение воды $\varphi$	Объем воды, $P_y$ , %
15	0,08	3
15	0,09	3
15	0,1	3
15	0,11	3
15	0,12	3

Период паводка – коагулянт СА. Период характеризуется максимальным значением мутности, в сравнении с другими периодами и, следовательно, максимальным значением дозы коагулянта.

---

Доза коагулянта, $D_{тк}$ , мг/л	Воздухонасыщение воды $\varphi$	Объем воды, $P_y$ , %
60	0,08	7
60	0,09	7
60	0,1	7
60	0,11	7
60	0,12	7

Период паводка – смешанный минеральный коагулянт СА+ПОХА.

Доза коагулянта, $D_{тк}$ , мг/л	Воздухонасыщение воды $\varphi$	Объем воды, $P_y$ , %
60	0,08	5
60	0,09	5
60	0,1	5
60	0,11	5
60	0,12	5

Значения параметров воздухонасыщения, объема воды, направляемого на концентрированное коагулирование, а также дозы коагулянта СА могут быть использованы для нахождения оптимальных доз реагентов СА и ПОХА с учетом периода года, а также особенностей их совместного применения.

### Литература

1. Бреус С.А., Скрябин А.Ю., Олейник Р.А. Очистка природной воды для питьевых целей в период чрезвычайных ситуаций: электрохимическое коагулирование и контактное фильтрование // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3881](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3881).

2. Flórez J.M.C. Water clarification using polymerized coagulants: aluminum hydroxychloride case // Dyna-Colombia. Sede Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2015. №9. С. 18-27.

3. Гетманцев С.В., Сычев А.В., Гетманцев В.С. Перспективы коагуляционной обработки вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 11. С. 37-41.

4. Ксенофонтов Б.С., Литова О.П., Пак Н.А. Интенсификация очистки природных вод с использованием реагентов // Сантехника. 2018. Т. 6. № 6. С. 50-53.

5. Byun S., Oh J., Lee B.Y., Lee S. Improvement of coagulation efficiency using instantaneous flash mixer (IFM) for water treatment // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2005. №1-3. С. 104-110.

6. Драгинский В.А., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных и сточных вод. Москва, 2005. 576 с.

7. Бутко А. В., Михайлов В. А., Баринов М. Ю. Применение воздушного перемешивания в процессах смешения и хлопьеобразования // Водоснабжение и санитарная техника. 1995. № 7. С. 20-22.

8. Сафронов М.А. Повышение эффективности реагентной обработки поверхностных природных вод алюмосодержащими коагулянтами: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04. Пенза, 2010. 156 с.

9. Сафронов М.А. Исследование технологии реагентной обработки поверхностных природных вод смешанным минеральным коагулянтом // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5522.

10. Mikhailovich G.B., Victorovna B.M., Nikolaevich K.A., Georgievna V.N., Lvovich C.K. Water purification of a surface source with the use of concentrated coagulation and aeration // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. v. 11. № 14. С. 8149-8152.

---

## References

1. Breus S.A., Skryabin A.Yu., Oleynik R.A. Inzenernyj vestnik Dona, 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3881](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3881).
2. Flórez J.M.C. Dyna-Colombia. Sede Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 2015. №9. pp. 18-27.
3. Getmantsev S.V., Sychev A.V., Getmantsev V.S. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2018. № 11. pp. 37-41.
4. Ksenofontov B.S., Litova O.P., Pak N.A. Santekhnika. 2018. v. 6. № 6. pp. 50-53.
5. Byun S., Oh J., Lee B.Y., Lee S. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2005. №1-3. pp. 104-110.
6. Draginskiy V.A., Alekseeva L.P., Getmantsev S.V. Koagulyatsiya v tekhnologii ochistki prirodnykh i stochnykh vod [Coagulation in natural and waste water treatment technology]. Moskva, 2005. 576 p.
7. Butko A. V., Mikhaylov V. A., Barinov M. Yu. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 1995. № 7. pp. 20-22.
8. Safronov M.A. Povyshenie ehffektivnosti reagentnoy obrabotki poverkhnostnykh prirodnykh vod alyumosoderzhashchimi koagulyantami [Improving the efficiency of reagent treatment of surface natural waters with aluminum-containing coagulants]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.04. Penza, 2010. 156 p.
9. Safronov M.A. Inzenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5522](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5522).
10. Mikhailovich G.B., Victorovna B.M., Nikolaevich K.A., Georgievna V.N., Lvovich C.K. International Journal of Applied Engineering Research. 2016. v. 11. № 14. pp. 8149-8152.