

9. Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Формирование низко-токсичных клееных древесных материалов: моногр. СПб.: Химиздат, 2014. 148 с.
10. Komarov G.V. Compounds of parts made of polymer materials. M.: Professiya, 2006. 592 p.
11. Chubinskii A.N., Sergeevichev V.V. Modelling of processes of bonding wood materials. SPb.: Izd. dom «Gerda», 2007. 176 p.
12. Teregerya N.V., Mednikov F.A., Chernyaev A.N. Investigation of the composition and properties of the products of the sulfuric acid treatment of tall oil // Trudy lesotekhn. akad. L., 1976. P. 100-106.
13. Repyakh S.M., Levin E.D. Production of aromatic hydrocarbons by hydrocracking tallow // Trudy Sib. tekhnol. in-ta. Krasnoyarsk, 1973. P. 14-16.
14. Vladimirova T.M., Tret'yakov S.I., Zhabin V.I., Koptelov A.E. Production and processing of tall oil products: monogr. Arkhangel'sk: Izd-vo Arkhang. gos. tekhn. un-ta, 2008. 155 p.
15. Chubinskii A.N., Varankina G.S., Rusakov D.S., Denisov S.V. Accelerating gluing veneer phenol-formaldehyde adhesives // Izvestia SPbLTA. 2011. Vyp. 194. P. 121-128.
16. Rusakov D.S., Varankina S.G. Influence of technological factors of production of plywood on the quality of the finished product // Izvestia SPbLTA. 2011. Vyp. 197. P. 154-159.
17. Varankina G.S., Rusakov D.S. Modification phenol-formaldehyde resin byproducts kraft pulp production // Izvestia SPbLTA. 2012. Vyp. 204. P. 112-118.
18. Varankina G.S., Chubinskii A.N. Formation of low toxicity wood materials: monogr. SPb.: SPbGLTU, 2014. 148 p.
19. Varankina G.S., Chubinsky A.N. Modification of urea - formaldehyde resins shungite sorbents / Development and modernization of production // International conference on production engineering. Bihac: Bihac University. 2013. P. 1-4.
20. Varankina G.S., Vysotskii A.V. Effective low - toxic aluminosilicate fillers for phenol - formaldehyde adhesives for plywood and particleboard // Adhesives in woodworking Industry. Zvolen, 1997. P. 114-120.
21. Chauzov K., Varankina G. Investigation on gluing Larch Wood by modified. glue. Development and modernization of production // International conference on production engineering. Bihac: Bihac University. 2014. P. 10-16.
22. Chauzov K., Varankina G. Investigation on gluing Larch Wood by modified glue // Development and modernization of production: International conference on production engineering. Budva, Crna Gora: Bihac University, 2013. P. 737-743.
23. Chubinsky A.N., Okuma M., Sugiama J. Observation on the deformation of wood cells in the gluing process of veneer // Bull of the Tokyo Univ. Forests. 1990. Vol. 82, № 2. P. 131-135.
24. Hofrichter M. Review: lignin conversion by manganese peroxidase (MnP) // Enzyme and Microbial Technology. 2002. Vol. 30. P. 454-466.
25. Felby C., Hassingboe J., Lund M. Pilo-scale production of fiberboards made by laccase oxidized wood fibers: board properties and evidence for cross-linking of lignin // Enzyme and Microbial Techn. 2002. Vol. 31. P. 736-741.
26. Remonini S., Pizzi A. Foro Compensati Improved waterproofing of UF Plywood adhesives by melamine salts as glue mix hardeners: System performance optimization // Holzforsch und Holzververt. 1997. Vol. 1. P. 11-15.
27. Sintonen K. Data processing in a plywood factory // Raute news. 2002. Vol. 3, № 2. P. 168. Finland.
28. Chubov A., Tsarev G, Matyushenkova E. Excusive wood protection // Russian Forestry Review. 2008. № 3. P. 79.
29. Matyushenkova E. The wood protection technique in Russia // Russian Forestry Review. 2008. № 3. P. 76-78.
30. Modified HZSM-5 zeolite // Cuihua Xuebao. 1993. Vol. 14, № 5. P. 402.

УДК 628.16; 534-8.004.14

DOI: 10.18324/2077-5415-2016-2-127-132

## Интенсификация процесса осаждения взвешенных веществ ультразвуком

В.Б. Викулина<sup>а</sup>, П.Д. Викулин<sup>б</sup>

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Ярославское ш. 26, Москва, Россия

<sup>а</sup>vikulinp@yandex.ru

Статья поступила 17.04.2016, принята 5.05.2016

*Физико-химические эффекты в водной среде, возникающие в ультразвуковом поле, способствуют изменению скорости осаждения скоагулированной взвеси. Поскольку неизменным условием развития процесса является ультразвуковое поле в режиме кавитации, представляются актуальными экспериментальные исследования влияния ультразвуковых колебаний на процессы коагуляции взвешенных веществ при очистке воды физическими методами, расширяющие область их использования. Авторы статьи ставили целью проведение экспериментов влияния ультразвука на осаждение взвешенных веществ и определение эффективности процесса, отнесенного к дозе коагулянта, с нахождением численных значений констант теоретического уравнения. Условием эксперимента было воздействие ультразвука на воду с глинистыми веществами перед введением коагулянта. Для получения ультразвуковых колебаний применялся метод магнитострикции с помощью ультразвукового генератора серийного производства. При отборе проб и выполнении анализов использовались стандартные методики. Оценка концентрации частиц глины в воде производилась при помощи фотоэлектроколориметра. В результате проведенных исследований получены данные, позволяющие определить увеличение эффективности осаждения взвешенных частиц, отнесенной к дозе коагулянта, в зависимости от времени ультразвуковой обработки. Эксперименты подтвердили связь между эффектом осаждения в процессе коагуляции, дозой коагулянта и временем озвучивания. Как показали исследования, увеличение продолжительности ультразвуковой обработки позволяет снижать вводимые дозы коагулянта.*

**Ключевые слова:** ультразвуковая кавитация; потенциал; доза коагулянта; осаждение.

# Intensification of ultrasonic precipitation for suspended matter

V.B. Vikulina<sup>a</sup>, P.D. Vikulin<sup>b</sup>

National Research University «Moscow State University of Civil Engineering», 26, Yaroslavskoye shosse, Moscow, Russia  
<sup>a</sup>vikulinp@yandex.ru

Received 17.04.2016, accepted 5.05.2016

*Physical and chemical water effects, occurring in the ultrasonic field, lead to the changes of precipitation speed of coagulated suspended matter. As ultrasonic field in the cavity mode is an obligatory condition, experimental research appears to be topical for the influence of ultrasonic oscillations on coagulation processes of suspended matter when purifying water physically. It allows to broaden the application sphere for suspended matter. The target of the research is to estimate the influence of ultrasonic on precipitation process for suspended matter, to define its efficiency according to coagulant concentration, and to determine numerical values of constants for theoretical equation. The condition for the experiment has been that the water, containing clay particles, has been exposed to the ultrasonic influence before introducing the coagulant. Magnetostriction method has been used to obtain ultrasonic oscillations by means of ordinary ultrasonic generator. Afterwards water samples have been taken and examined according to standard methods of analyses with the use of photoelectrocolorimeter. The data obtained have shown the efficiency increase for suspended matter precipitation from the view point of coagulant concentration, in dependence on duration of ultrasonic exposure. The research has confirmed the connection between precipitation effect in coagulation process, dose of coagulant and duration of ultrasonic exposure. The research has shown that the longer the duration is, the fewer dose of coagulant is needed.*

**Key words:** ultrasonic cavitation; potential; dose of coagulant; precipitation.

## Введение

Различные физико-химические эффекты, возникающие в ультразвуковом поле, связаны с превращением энергии упругих колебаний. В этом случае можно сказать, что они являются одним из видов механохимических реакций [1]. Эти эффекты сопровождаются явлением кавитации.

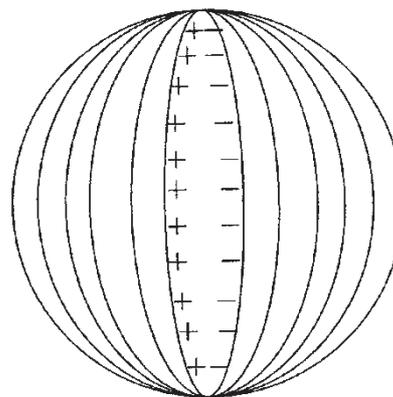
С другой стороны, элементарные процессы звуко-химических реакций близки к радиолузу, реакциям в электрическом разряде, фотолизу [2].

Непайрес и Нолтинг выдвинули теорию возникновения высоких температур при адиабатическом сжатии кавитационного пузырька в процессе его схлопывания. Согласно их расчетам, при непрерывно возрастающей скорости движения границы раздела «пузырек – жидкость» температура в схлопывающемся пузырьке может достигнуть 10 000 °K, а давление в ударной волне — 10<sup>4</sup> атм [3]. Столь высокие температуры, возникающие в газонаполненной полости пузырька, могут обусловить появление в ней электрических зарядов диссоциированных и ионизированных молекул, атомов, свободных радикалов [4]. Таким образом, кавитационная полость может служить источником образования продуктов с высокой реакционной способностью и иницированием физико-химических явлений в ультразвуковом поле.

Советский физик Я.И. Френкель предположил возникновение на стенках образующейся линзообразной полости электрических зарядов противоположного знака. На первоначальной стадии образования кавитационной полости в ней появляются электрические заряды. Я. И. Френкель считает, что при разрыве сплошности среды в местах разрежения образуются не сферические полости, а линзообразные, молекулярных размеров. Для такого разрыва требуется амплитуда давления порядка 10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup> атм.

Переход от линзообразной полости к сферической происходит в результате проникновения растворенных газов или паров окружающей жидкости.

Схема строения кавитационной полости показана на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема строения кавитационной полости

Согласно теории Я.И. Френкеля, в условиях электрического разряда в кавитационной полости возникают богатые энергией частицы, ионизированные молекулы и ионы, свободные радикалы [5].

Считая, что заряды образовались вследствие неравномерного распределения ионов на стенках пузырька при разрыве жидкости, Я.И. Френкель определил напряженность поля внутри полости в момент ее образования (уравнение Френкеля):

$$E_n = \frac{4 \cdot \bar{e}}{r_n} \cdot \sqrt{N_n \cdot \sigma_n},$$

где  $\delta_n$  — расстояние между разорвавшимися слоями жидкости, Å;  $N_n$  — число диссоциированных молекул в единице объема;  $r_n$  — радиус кавитационной полости, см;  $\bar{e}$  — заряд электрона.

Экспериментальные исследования процесса коагуляции под действием ультразвуковых колебаний были проведены Р. Паркером [6]. Опыты были проделаны на дыме окиси магния в воздухе. Было замечено, что в отсутствие акустического поля нормальная коагуляция и процесс оседания были незначительны.

**Постановка задачи.** Имеются примеры использования коагулирующего действия ультразвука при осаждении взвешенных веществ. При интенсивностях порядка 0,3–0,5 Вт/см<sup>2</sup> ультразвук способствует коагуляции взвешенных частиц. Озвучивание суспензии карбоната кальция (размер частиц 47 мкм), кварцевой пыли (23 мкм) и антрацита (76–152 мкм) ведет к ускорению процесса отстаивания.

Проводились исследования возможности коагуляции высокозольных угольных суспензий полимерами и ультразвуком. Для экспериментальных исследований применялся генератор УЗВД–2 с диапазоном частот от 0,1 до 10,0 МГц [7; 8].

Исследования по ультразвуковой коагуляции тонкодисперсных систем Ж – Т и Ж – Ж (гидрозоль железа, активный ил, полистирольный латекс, концентрат медной руды, обводненная каменноугольная смола и др.), проведенные во ВНИИ ВОДГЕО показали, что воздействие ультразвука коагулирует тонкодисперсные системы с размером частиц от 1 до 5 мкм; для системы Ж – Т наилучшие результаты имеют место при частоте 8–18 кГц, а для системы Ж – Ж — при частоте 400–800 кГц. С увеличением интенсивности ультразвуковых колебаний повышается эффект коагуляции [1].

Наблюдается коагуляция жидких систем, например водной суспензии  $Al_2O_3$ , под действием ультразвука. Опыты показали, что уже через несколько минут наблюдается резкая коагуляция суспензии, тогда как в обычных условиях она совершенно отсутствует [9–11].

Анализируя вышесказанное, можно сказать, что ультразвуковые колебания в водной системе могут оказать существенное влияние на процессы, связанные с окислением примеси, с явлением кристаллизации и коагуляцией взвешенных веществ. Необходимо подчеркнуть, что требуемый эффект для упомянутых процессов в ультразвуковом поле можно достичь только при наличии кавитационного режима в объеме. Процессом, на который ультразвук может оказывать воздействие, является коагуляция мелкодисперсной взвеси в воде [12].

**Цель работы** заключается в проведении экспериментальных исследований по осаждению взвешенных веществ в ультразвуковом поле и получении данных, позволяющих проверить теоретическое уравнение:

$$\frac{\Delta G}{G \cdot q} = a + b \cdot t, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  — константы;  $G$  — концентрация глинистых частиц в единице объема воды, мг/л;  $\Delta G$  — концентрация осевших глинистых частиц, мг/л;  $q$  — доза коагулянта, мг/л по  $Al_2O_3$ ;  $t$  — время озвучивания, мин.

**Задача работы** состоит в получении численных значений констант  $a$  и  $b$  теоретического уравнения и в определении области разброса или дисперсии.

Основным был эксперимент осаждения глинистых частиц с концентрацией 120 мг/л при добавлении к воде коагулянта — солей алюминия с дозой  $Al_2O_3$  — 2,5; 5,0 и 10,0 мг/л.

Осуществлялась предварительная обработка воды ультразвуком с последующим введением коагулянта. Кавитационный режим ультразвукового поля в воде поддерживался генератором УЗГ–2–4 и магнитоотрицательным преобразователем ПМС6–22 (частота и интенсивность для возбуждения в воде кавитации  $f = 18–22$  кГц,  $I = 2,0$  Вт/см<sup>2</sup>).

Предварительная обработка воды со взвешенными глинистыми частицами проводилась ультразвуком в течение 0,1; 0,5; 1,0; 2,0 и 5,0 мин. Оценка концентрации частиц глины в воде осуществлялась по стандартным методикам, фотометрическим методом, путем сравнения проб исследуемой воды со стандартными суспензиями (ГОСТ 33 51–74 С.4).

Для проверки теоретического уравнения (1) определялось снижение концентрации глинистых частиц, взвешенных в воде, как разность начальной и конечной концентрации (процесс осаждения закончен). В качестве величины, характеризующей процесс осаждения, принималось отношение снижения концентрации  $\Delta G$  к ее конечному значению  $G_2$ , отнесенному к дозе вводимого коагулянта.

Экспериментальные данные по влиянию ультразвука на процесс коагуляции приводятся в табл. 1.

Как видно из экспериментальных данных (табл. 1), максимальное осаждение глинистых частиц наблюдалось при дозе коагулянта по  $Al_2O_3$ , равной 10 мг/л без ультразвуковой обработки, что является МАХ уровнем.

При измерении концентраций взвешенных веществ определялась постоянная прибора, позволяющая переходить от его шкалы к весовым концентрациям глинистых частиц в воде. Она установлена для случая стационарного равномерного распределения частиц в данном объеме воды, поэтому колориметр измерял концентрацию частиц в воде только до начала опыта (исходная концентрация) и после того, как все скоагулированные хлопья осели, а в воде находилась конечная (остаточная) концентрация только одних глинистых частиц. Все промежуточные показания прибора не могут фиксировать процесс осветления как такового, а лишь указывают на продолжительность динамики процесса.

Таблица 1

## Экспериментальные данные

| Начальная концентрация взвеси $G$ , мг/л | Конечная концентрация взвеси $G_2$ , мг/л | Снижение концентрации взвеси $\Delta G$ , мг/л | Время озвучивания $t$ , мин | Доза коагулянта $q$ , мг/л | $\frac{\Delta G}{G_2 q}$ |
|--|---|--|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 120                                      | 91  | 29   | 0,5                         | 2,5                        | 0,1                      |
| 120                                      | 83  | 37   | 1,0                         | 2,5                        | 0,12                     |
| 120                                      | 71  | 49   | 2,0                         | 2,5                        | 0,16                     |
| 120                                      | 51  | 69   | 5,0                         | 2,5                        | 0,23                     |
| 120                                      | 69  | 51   | 0,17                        | 5,0                        | 0,09                     |
| 120                                      | 66  | 54   | 0,5                         | 5,0                        | 0,09                     |
| 120                                      | 57  | 63   | 1,0                         | 5,0                        | 0,11                     |
| 120                                      | 54  | 66   | 2,0                         | 5,0                        | 0,11                     |
| 120                                      | 34  | 86   | 5,0                         | 5,0                        | 0,14                     |
| 120                                      | 114                                       | 6  | 0                           | 2,5                        | 0,023                    |
| 120                                      | 86  | 34   | 0                           | 5,0                        | 0,079                    |
| 120                                      | 31  | 89   | 0                           | 10,0                       | 0,287                    |

**Статистическая обработка** экспериментальных данных выполнена с целью определения коэффициентов  $a$  и  $b$  и максимально возможного разброса результатов экспериментов [13].

На основании полученных результатов осаждения с использованием ультразвука составлена табл. 2.

Средние значения вычисляются по формуле:

$$K_{xy} = \sum_{k=1}^n x_k y_k - \bar{xy}.$$

При этом из координат всех экспериментальных точек вычитаем координаты некоторой точки, расположенной в середине области [13].

Коэффициент корреляции подсчитывается по формуле:

$$r = \frac{\bar{xy}}{\sigma_x \sigma_y},$$

где  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  — среднее квадратичное отклонение:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n x_k^2 - \bar{x}^2$$

$$\sigma_x^2 = \frac{27,77}{9} = 3,09,$$

$$\sigma_x = \sqrt{3,09} = 1,76,$$

$$\sigma_y^2 = \frac{0,164}{9} = 0,00182,$$

$$\sigma_y = \sqrt{0,00182} = 0,0426,$$

$$r = \frac{0,0594}{1,76 \cdot 0,0426} = 0,79.$$

Таблица 2

## Расчетные данные

| № п. п.          | $t = x_k$ | $\frac{\Delta G}{G_2 \cdot q} = y$ | $x = \bar{x} - x_k$ | $y = \bar{y} - y_k$ | $x \cdot y$ | $x^2$  | $y^2$   |
|------------------|-----------|------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------|--------|---------|
| 1                | 2         | 3                                  | 4                   | 5                   | 6           | 7      | 8       |
| 1                | 0,5       | 0,1                                | + 1,41              | + 0,028             | + 0,039     | 1,990  | 0,0008  |
| 2                | 1,0       | 0,12                               | + 0,91              | + 0,008             | + 0,007     | 0,828  | 0,00006 |
| 3                | 2,0       | 0,16                               | - 0,09              | - 0,032             | + 0,003     | 0,0081 | 0,001   |
| 4                | 5,0       | 0,23                               | - 3,09              | - 0,102             | + 0,315     | 9,548  | 0,0104  |
| 5                | 0,17      | 0,09                               | + 1,74              | + 0,038             | + 0,0066    | 3,027  | 0,0014  |
| 6                | 0,5       | 0,09                               | + 1,41              | + 0,038             | + 0,054     | 1,988  | 0,0014  |
| 7                | 1,0       | 0,11                               | + 0,91              | + 0,018             | + 0,016     | 0,828  | 0,00032 |
| 8                | 2,0       | 0,11                               | - 0,09              | + 0,018             | - 0,002     | 0,0081 | 0,00032 |
| 9                | 5,0       | 0,14                               | - 3,09              | - 0,012             | + 0,037     | 9,548  | 0,00014 |
| $\Sigma$         | 17,17     | 1,15                               |                     |                     | 0,535       | 27,77  | 0,0164  |
| Среднее значение | 1,91      | 0,128                              |                     |                     | 0,0594      |        |         |

Воспользуемся общим выражением для подсчета коэффициентов:

$$\bar{y} - \bar{y} = \frac{\sum xy}{x^2} \cdot x - \bar{x}$$

Так как была принята за  $y$  ордината, на ней откладывалось значение выражения  $\frac{\Delta G}{G_2 \cdot q}$ , а на оси абсцисс

— выражение в виде  $x = t$ , можно записать:

$$\frac{\Delta G}{G_2 \cdot q} - \bar{y} = \frac{\sum xy}{x^2} \cdot t - \bar{x}$$

или:

$$\frac{\Delta G}{G_2 \cdot q} - 0,128 = \frac{0,535}{27,7} \cdot t - 1,91$$

Искомое уравнение имеет вид:

$$\frac{\Delta G}{G_2 \cdot q} = 0,03 \cdot t + 0,071$$

В полученное уравнение подставлены значения  $t$  и произведены расчеты отношения  $\frac{\Delta G}{G_2 \cdot q}$ , результаты которые приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчетов по уравнению

| $t$ (мин)                      | 0     | 1     | 2     | 3     | 5     |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\frac{\Delta G}{G_2 \cdot q}$ | 0,071 | 0,101 | 0,131 | 0,161 | 0,221 |

Графическое изображение полученных данных (табл. 1, 2 и 3) представлено на рис. 2.

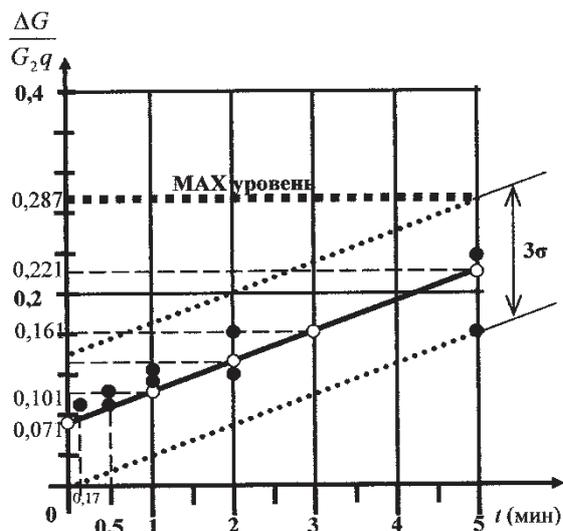


Рис. 2. График изменения относительного содержания взвешенных веществ в воде, обработанной коагулянтом, от продолжительности ультразвуковой обработки:  $\circ$  — теоретические точки;  $\bullet$  — экспериментальные точки

Здесь показаны:

- экспериментальные и теоретические значения;
- теоретическая прямая;
- МАХ уровень;
- область максимально возможного разброса, равная  $3\sigma$ .

На графике (рис. 2) нанесены значения  $\frac{\Delta G}{G_2 \cdot q}$  в зависимости от времени озвучивания  $t$ . Обработка ультразвуком воды, содержащей взвешенные вещества, во всех случаях оставалась предварительной, т. е. до введения коагулянта, как это было предположено ранее о возможном действии ультразвуковых колебаний на взвешенные вещества.

На графике нанесена горизонтальная пунктирная линия, проходящая через значение  $\frac{\Delta G}{G_2 \cdot q} = 0,287$ , которое показывает максимальный уровень при дозе коагулянта 10 мг/л по  $Al_2O_3$  (без озвучивания, табл. 1).

Как видно из графика, экспериментальные точки ложатся в область возможного разброса, равного  $3\sigma$ . Таким образом, подтверждается предположение относительно описания явления коагуляции с использованием ультразвука уравнением (1).

### Выводы

1. Экспериментальные исследования подтвердили высказанные предположения об изменении потенциалов взвешенных частиц в воде в ультразвуковом поле.
2. Изменение потенциалов приводит к повышению эффекта осаждения.
3. Определены численные значения констант  $a$  и  $b$  теоретического уравнения  $\frac{\Delta G}{G \cdot q} = a + b \cdot t$ . Это уравнение приняло вид  $\frac{\Delta G}{G_2 \cdot q} = 0,03 \cdot t + 0,071$ .
4. Статистическая обработка экспериментальных данных позволила получить область разброса, равную  $3\sigma$ .
5. Выполненные эксперименты подтвердили связь времени озвучивания, дозы коагулянта, эффекта осаждения в процессе коагуляции.
6. Увеличение продолжительности ультразвуковой обработки вызывает снижение вводимых доз коагулянта.

### Заключение

Экспериментальные исследования и математические расчеты показали, что эффект осаждения взвешенных веществ в воде увеличивается в три раза в зависимости от времени озвучивания и дозы коагулянта.

*Литература*

1. Викулин П.Д. Физико-химические проявления акустического поля в технологиях кондиционирования воды. М.: АСВ, 2004. 251 с.
2. Эльпинер И.Е. Биофизика ультразвука. М.; Наука, 1973. 384 с.
3. Эльпинер И.Е., Маргулис М.А., Сокольская А.В., Nature, вып. 208, 1965, с. 945.
4. Зубрилов С.П. Физико-химические аспекты ультразвуковой активации вязущих растворов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук Л., 1975. 39 с.
5. Физика и техника мощного ультразвука: в 3 т. / под ред. Л.Д. Розенберга. М.: Наука, 1967. Т. 3. 70 с.
6. Паркер Р. Экспериментальные исследования процесса коагуляции под действием ультразвука // Аэрозоли: сб. науч. ст. М., 1937. Ч. 1. С. 18-22.
7. Кульский Л.А. Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем. Киев: Наукова думка, 1968. 345 с.
8. Ультразвуковая технология / под ред. Б.А. Аграната. М.: Metallurgiya, 1974. 504 с.
9. Hermans I.I. Colloid partielees in ultrasonics fild // Phil Vog. 1938. Vol. 257. P. 267.
10. Beute H. Über den Einflub der Ultrashallwellen auf chemischen Prozesse// Zs. phys. Chem., 1933. 163A, ¾, S. 161.
11. Физическая акустика / под ред. Ю. Мэзона. М.: Мир, 1967. Ч. 1. С. 7-138.
12. Викулина В.Б. Использование ультразвуковых колебаний для процессов умягчения воды и осаждение взвеси: автореф. дис. ... М.; Автореферат, МИСИ, 1980, 19 с.
13. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. 10-е изд., стер. М.: Академия, 2005. 576 с.

*References*

1. Vikulin P.D. Fiziko-khimicheskie proyavleniya akusticheskogo polya v tekhnologiyakh konditsionirovaniya vody. M: Izd-vo ASV, 2004. 251 p.
2. Elpiner I.E. Biofizika ultrazvuka. M.; Nauka, 1973. 384 p.
3. Elpiner I.E., Margulis M.A. Sokolskaya A.V. Nature, iss. 208, 1965. 945 p.
4. Zubrilov S.P. Fiziko-khimicheskie aspekty ultrazvukovoy aktivatsii vyazhushchikh rastvorov. Avtofererat dissertatsii, 1975. 39 p.
5. Pod red. Rozenberga L.D. Fizika i tekhnika moshchnogo ultrazvuka, t.1-3, M: Izd-vo Nauka, 1967-1970
6. Parker P. Eksperimentalnye issledovaniya protsesssa koagulyatsiya pod deystviem ultrazvuka. Sb. Aerozoli, ch.1, 1937
7. Kulskiy L.A. i dr. Fiziko-khimicheskaya mekhanika i liofilnost dispersnykh sistem. Kiev, Izd-vo: Naukova Dumka, 1968
8. Ultrazvukovaya tekhnologiya. Pod red. Agranata B.A. M: izd-vo Metallurgiya, 1974, 504 p.
9. Hermans I.I. Colloid partielees in ultrasonics fild. Phil Vog., 257, 267, 1938.
10. Beute H. Über den Einflub der Ultrashallwellen auf chemischen Prozesse. –Zs. phys. Chem., 163A, ¾, 1933, S. 161.
11. Pod red. Mezona Y. Fizicheskaya akustika, ch. 1, M: izd-vo Mir, 1967, p..7-138.
12. Vikulina V.B. Ispolzovanie ultrazvukovykh kolebanij dlya protsesssa umyagcheniya vody i osazhdeniya vzvesi. M: avtofererat, MISI, 1980, 19 p.
13. Venttsel E.S. Teoriya veroyatnostey, 10 izd. stereotipnoe, M: izd-vo Akademiya, 2005, 576 p.