

УДК 628.16; 534-8.004.14

В.Б. Викулина, П.Д. Викулин

НИУ МГСУ

**ОЧИСТКА ВОДЫ КОАГУЛЯЦИЕЙ
ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
ПОЛЯ**

Проведены эксперименты по влиянию ультразвука на осаждение взвешенных веществ. Определена эффективность процесса коагуляции при очистке воды в ультразвуковом поле. Условием эксперимента явилось воздействие ультразвука на воду со взвешенными веществами перед введением коагулянта. Применялся метод магнитоstriction для получения ультразвуковых колебаний с помощью ультразвукового генератора серийного производства. Отбор проб и контроль процесса коагуляции выполнены по стандартным методикам. Получены экспериментальные данные, которые определяют увеличение эффективности осаждения взвешенных частиц в зависимости от времени ультразвуковой обработки. При ультразвуковой обработке в течение одной минуты получены следующие результаты: эффективность осаждения увеличилась на 25,83 % при дозе коагулянта по Al_2O_3 2,5 мг/л; эффективность осаждения увеличилась на 23,70 % при дозе коагулянта по Al_2O_3 5,0 мг/л.

Ключевые слова: ультразвук, коагуляция, магнитоstriction, эффект осаждения, реактор

Использование ультразвуковых колебаний в технологии кондиционирования воды является частью научной проблемы применения физических методов, которые включают также магнитный, высокочастотный, рентгеновский, ультрафиолетовый и другие методы [1—4].

В настоящее время ультразвуковые колебания находят применение в различных отраслях производства: металлургии, химической и пищевой промышленности, в машиностроении, медицине и др. [5, 6]. Широкое распространение ультразвука объясняется многообразием явлений, вызываемых им при прохождении через вещество, а именно: диспергирования, эмульгирования, коагуляции, дегазации. Ультразвук оказывает влияние на процессы кристаллизации и растворения; известно, что ультразвук вызывает разнообразные химические превращения вещества, в числе которых можно назвать реакции окисления, восстановления, полимеризации и т.д. Объяснение этих явлений можно найти в многообразном действии ультразвука на вещество: эффекте кавитации, ударных волнах, микропотоках, акустическом ветре и т.д. [7—9].

V.B. Vikulina, P.D. Vikulin

MGSU

**WATER PURIFICATION
BY COAGULATION UNDER
THE INFLUENCE OF ULTRASONIC
FIELD**

The authors carried out experiments on the influence of ultrasound on the subsidence of suspended materials. The efficiency of coagulation process in water purification in ultrasound field is estimated. The influence of ultrasound on the water with suspended materials before introducing coagulant was a condition of the experiment. The magnetostriction method for obtaining ultrasound oscillations with the help of ultrasound generator of batch production was applied. The samples were chosen and the coagulation process was controlled using standard procedures. The experimental data was obtained which estimate the efficiency increase in the subsidence of suspended materials depending on the duration of ultrasound processing. During one minute of ultrasound processing the following results were obtained: the subsidence efficiency increased by 25.83 % in case of coagulant share Al_2O_3 2.5 mg/l; the subsidence efficiency increased by 23.70 % in case of coagulant share Al_2O_3 5.0 mg/l.

Key words: ultrasound, coagulation, magnetostriction, subsidence efficiency, reactor

The use of ultrasound oscillations in the technology of water conditioning is a part of the scientific problem of using physical methods which include also magnetic, high-frequency, X-ray, ultraviolet and other methods [1—4].

At the present time ultrasound oscillations are used in different production areas: metallurgy, chemical and food industry, machine building, medicine and others. [5, 6]. The wide distribution of ultrasound can be explained by the variety of phenomena caused by it while going through a matter, i.e.: dispersion, emulsification, coagulation, degasification. Ultrasound influences the processes of crystallization and dissolution; it is known that ultrasound causes various chemical transformations of matter, among which we can enumerate the reactions of oxidation, reduction, polymerization, etc. These effects may be explained by the diverse influence of ultrasound on the matter: effect of cavitating, shock waves, microstreams, acoustic wind, etc. [7—9].

Цель настоящей работы заключается в проведении экспериментальных исследований влияния ультразвука на осаждение взвешенных веществ в воде при коагуляции. Определение времени воздействия ультразвуковых колебаний на жидкостную среду и эффекта осаждения взвешенных веществ позволяет осуществить задачу эксперимента.

Постановка эксперимента, в котором рассматривается воздействие ультразвукового поля на эффект осаждения дисперсных систем в водной среде, состоит из следующих этапов:

обработки воды ультразвуком;

введения коагулянта;

определение эффекта осаждения в экспериментальных и контрольных пробах.

Методика выполнения эксперимента по осаждению минеральных примесей в водной среде с предварительной ультразвуковой обработкой заключается в следующем:

исходная концентрация взвешенных частиц составляла 120 мг/л;

в исследуемую жидкость добавлялся коагулянт, в виде $Al_2(SO_4)_3$;

количественная характеристика доз коагулянта по Al_2O_3 составляла 2,5; 5,0; 10,0 мг/л; содержание твердой фазы в пробах для исследований было смоделировано. Из р. Сходня, протекающей по территории г. Москвы, взята порция поверхностной воды со следующими показателями: мутность — 55,7 мг/л; цветность — 45°; окисляемость — 7 мг/л O_2 ; жесткость — -3, -4 мг-экв/л; щелочность — 2,5 мг-экв/л; pH ~ 7,8. В нее добавлялось такое количество тонкодисперсной глины, которое обеспечивало в испытуемом образце концентрацию глинистых частиц 120 мг/л;

объем обрабатываемой ультразвуком жидкости составлял 5 л.

Подготовленный образец смоделированной пробы воды помещался в ультразвуковой реактор, приведенный на рис. 1, где осуществлялось озвучивание всей пробы.

Магнестрикционные преобразователи такого типа могут работать в жидкой среде и по мере необходимости встраиваться в существующую аппаратуру [10, 11]. Выбор данного ультразвукового генератора обусловлен необходимыми минимальными частотами и интенсивностью для возбуждения в воде кавитации ($f = 18...22$ кГц, $I = 2,0$ Вт/см²).

The aim of the given work is in conducting experimental researches of the influence of ultrasound on the subsidence of suspended materials in water in case of coagulation. Estimation of the action time of ultrasound oscillations on the liquid medium and the subsidence effect of the suspended materials allow gaining an objective of the experiment.

Experimental set up where the influence of ultrasound field on subsidence effect of disperse systems in water medium consists of the following stages:

ultrasonic water treatment;

introduction of coagulant;

identifying the subsidence effect in experimental and blank samples.

The methods of conducting the experiment on the subsidence of suspended materials in the water medium with preliminary ultrasound processing are as follows:

the initial content of suspended materials was 120 mg/l;

coagulant was added to the investigated liquid in the form of $Al_2(SO_4)_3$;

the quantitative characteristics of coagulant doses of Al_2O_3 was 2.5; 5.0; 10.0 mg/l; the content of solid body in the test samples was modeled. A portion of surface water was taken from the river Skhodnya on the territory of Moscow. It had the following specifications: suspended load — 55.7 mg/l; colority — 45°; oxidation characteristic — 7 mg/l O_2 ; hardness — -3, -4 mg-equ/L; alkality — 2.5 mg-equ/L; pH ~ 7.8. The fine-dispersed clay was added in such a quantity which provided the clay particles content 120 mg/l in the tested sample;

the volume of the liquid processed by ultrasound was 5 l.

The prepared modeled water sample was placed into ultrasound reactor shown on fig. 1, where the ultrasonic treatment of the sample was carried out.

Magnetostriction transducer of this type may be working in liquid medium and may be embed into the existing equipment [10, 11]. The choice of the given ultrasound generator is caused by the necessary minimal frequencies and intensity for stimulating cavitation in the water ($f = 18...22$ kHz, $I = 2.0$ W/cm²).

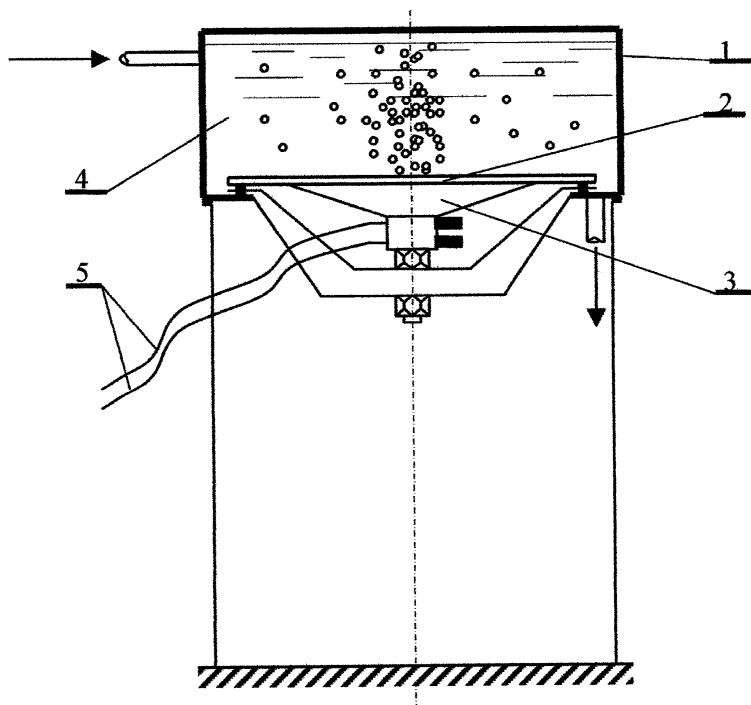


Рис. 1. Схема ультразвукового реактора: 1 — реактор; 2 — излучающая поверхность (мембрана); 3 — магнитострикционный преобразователь (ПМС-6-22); 4 — озвучиваемая жидкость; 5 — подключение к ультразвуковому генератору УЗГ-2-4 (электропитание)

Fig. 1. The configuration of ultrasound reactor: 1 — reactor; 2 — radiating surface (membrane); 3 — magnetostriction transducer (PMS-6-22); 4 — the processed liquid; 5 — hook-up to ultrasound generator UZG-2-4 (electric supply)

Время t ультразвуковой обработки в экспериментальных исследованиях составило 0,17; 0,5; 1; 2; 5 мин. План выполнения исследований позволил сформировать три основные группы экспериментов, которые функционируют в зависимости от доз коагулянта по Al_2O_3 . Результаты экспериментов, полученные в исследованиях с контрольными пробами, помещались отдельно от результатов после ультразвуковой обработки воды. Это дало возможность выполнить сравнительный анализ изменения эффективности осаждения глинистых загрязнений в воде под действием ультразвуковых колебаний. При этом необходимо подчеркнуть, что мощность генерируемого ультразвукового поля позволяла поддерживать в водной среде контролируемый режим развитой кавитации. Кроме того, постоянно осуществлялся контроль температурного режима в исследуемых пробах, так как известно, что значительная часть электрической энергии переходит в тепловую.

Результаты исследований по влиянию ультразвука на процессы коагуляции приведены в табл. 1.

The time t of the ultrasound processing in the experimental investigations was 0.17; 0.5; 1; 2; 5 min. The plan of researches allowed forming three main groups of experiments which operate depending on coagulant doses of Al_2O_3 . The results of the experiments obtained in the researches of the blank samples were placed separately from the results after ultrasound processing of water. It gave opportunity to conduct a comparative analysis of the efficiency change of clay pollution sedimentation in the water under the influence of ultrasound oscillations. It is also important to note that the strength of the produced ultrasound field allowed maintaining the controlled condition of developed cavitation in the water medium. Moreover the temperature mode in the tested samples was constantly controlled, because it is known that the essential part of electric energy transforms into temperature energy.

The results of the investigations on the influence of ultrasound on the processes of coagulation are listed in tab. 1.

Табл. 1. Влияние ультразвука на процессы коагуляции

Концентрация частиц загрязнений Content of polluting particles		Время озвучивания t , мин / Time of sonic treatment t , min	Доза коагулянта по Al_2O_3 , мг/л / Coagulant dose Al_2O_3 , mg/l	$\Theta = \frac{\Delta C}{C} 100, \%$
В исходной воде C , мг/л / In the initial water C , mg/l	В осадке ΔC , мг/л / In the subsidence ΔC , mg/l			
120	23	0,17	2,5	19,17
	29	0,5		24,16
	37	1,0		30,83
	49	2,0		40,83
	69	5,0		57,50
120	51	0,17	5,0	42,50
	54	0,5		45,00
	63	1,0		52,50
	66	2,0		55,00
	86	5,0		71,66
120	6	0	2,5	5,00
	34		5,0	28,33
	72		10,0	60,0
	108		12,0	75,0

Tab. 1. The influence of ultrasound on coagulation processes

На рис. 2 приведены графики зависимостей эффекта осаждения глинистых частиц при введении различных доз солей алюминия от времени ультразвуковой обработки. На оси абсцисс показана продолжительность ультразвуковой обработки в минутах, на оси ординат — эффект осаждения в процентах.

Fig. 2 shows the dependency diagrams of sedimentation effect of clay particles when introducing different doses of aluminum salts from the time of ultrasound treatment. The axis of abscisses shows the duration of ultrasound treatment in minutes, the axis of ordinates shows the sedimentation effect in percents.

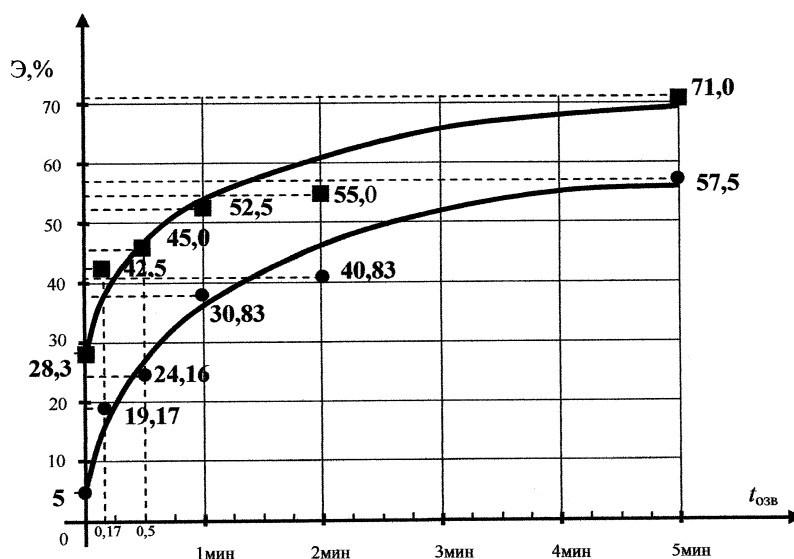


Рис. 2. Графики зависимостей эффекта осаждения глинистых частиц от времени озвучивания: ● — кривая изменения эффективности осаждения глинистых частиц при введении солей алюминия с дозой по Al_2O_3 2,5 мг/л; ■ — кривая изменения эффективности осаждения глинистых частиц при введении солей алюминия с дозой по Al_2O_3 5 мг/л

Fig. 2. Dependency diagrams of sedimentation effect of clay particles from ultrasonic treatment time: ● — curve of changing efficiency of clay particles sedimentation when introducing aluminum salts with the dose Al_2O_3 2.5 mg/l; ■ — curve of changing efficiency of clay particles sedimentation when introducing aluminum salts with the dose Al_2O_3 5 mg/l

Результаты исследования контрольных проб на рис. 2 представлены точками на оси ординат. Контрольные пробы не подвергались акустическому воздействию. Эффективность осаждения глинистых частиц в контрольной пробе при введении солей алюминия со следующими дозами по Al_2O_3 составляла:

- при дозе 2,5 мг/л — 5 %;
- при дозе 5 мг/л — 28,33 %;
- при дозе 10 мг/л — 60,0 %.

Необходимо отметить, что в обычных условиях для осаждения глинистых частиц с концентрацией 120 мг/л в исходной воде максимальная доза коагулянта, полученная методом пробного коагулирования, соответствует 12 мг/л по Al_2O_3 . При этом эффект осаждения глинистых частиц составляет 75 %.

Экспериментальные исследования по влиянию ультразвука на процессы коагуляции показали, что физические методы обработки воды, к которым относится озвучивание, оказывают существенное влияние на процессы осаждения взвеси при коагуляции.

Эффект снижения концентрации взвешенных веществ зависит от времени озвучивания и составляет:

- при дозе коагулянта 2,5 мг/л по Al_2O_3 :
 $t_{03B} = 0,17$ мин, эффект равен 19,17 %;
 $t_{03B} = 5$ мин, эффект равен 57,50 %;
- при дозе коагулянта 5,0 мг/л по Al_2O_3 :
 $t_{03B} = 0,17$ мин, эффект равен 42,50 %;
 $t_{03B} = 5$ мин, эффект равен 71,66 %.

В контрольной пробе такой эффект достигается при дозах коагулянта по Al_2O_3 5,0 и 12,0 мг/л. Таким образом, сравнение контрольной и озвученных проб позволяет сделать вывод о снижении доз коагулянта в 2...2,5 раза при одинаковом эффекте осаждения.

Вывод. Ультразвуковые колебания оказывают влияние на механизм осаждения тонкодисперсных глинистых частиц. При ультразвуковой обработке воды с тонкодисперсными глинистыми частицами в процессе последующего осаждения происходит снижение доз коагулянта Al_2O_3 в 2...2,5 раза

The results of blank samples' investigation are presented on fig. 2 by points on the axis of ordinates. The blank samples were not exposed to acoustic treatment. The efficiency of clay particles' subsidence in the blank sample when introducing aluminum salts with the following doses of Al_2O_3 was:

- when the dose was 2.5 mg/l — 5 %;
- in case of 5 mg/l — 28.33 %;
- in case of 10 mg/l — 60.0 %.

It is important to note that in normal conditions the maximal dose of coagulant produced by the method of test coagulation is 12 mg/l Al_2O_3 for clay particles sedimentation with the content 120 mg/l in the initial water. In this case sedimentation effect of clay particles is 75 %.

Experimental investigations of the influence of ultrasound on the coagulation processes showed that the physical methods of water processing, ultrasonic treatment among them, greatly influence the processes of suspension sedimentation in case of coagulation.

The effect of reducing the content of suspended materials depends on the time of treatment and is:

- in case of coagulant dose 2.5 mg/l of Al_2O_3 :
 $t_{03B} = 0,17$ min, effect is 19.17 %;
 $t_{03B} = 5$ min, effect is 57.50 %;
- in case of coagulant dose 5.0 mg/l of Al_2O_3 :
 $t_{03B} = 0,17$ min, effect is 42.50 %;
 $t_{03B} = 5$ min, effect is 71.66 %.

In the blank sample this effect is achieved in case of coagulant doses of Al_2O_3 5.0 and 12.0 mg/l. So the comparison of the blank and the treated samples allows making a conclusion on the reduction of coagulant doses by 2...2.5 times in case of the same sedimentation effect.

Conclusion. Ultrasound oscillations influence the sedimentation mechanism of finely dispersed clay particles. In case of ultrasound treatment of the water with finely dispersed clay particles in the process of further sedimentation the coagulant doses of Al_2O_3 is reduced by 2...2.5 times.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Викулин П.Д. Физико-химические проявления акустического поля в технологиях кондиционирования воды. М. : Изд-во АСВ, 2004. 251 с.

REFERENCES

1. Vikulin P.D. *Fiziko-khimicheskie proyavleniya akusticheskogo polya v tekhnologiyakh konditsionirovaniya vody* [Physical and Chemical Developments of Acoustic Field in Water Conditioning Technologies]. Moscow, ASV Publ., 2004, 251 p.

2. Викулина В.Б. Использование ультразвуковых колебаний для процессов умягчения воды и осаждение взвеси : автореф. дисс. ... канд. техн. наук М. : МИСИ, 1980. 19 с.
3. Эльпинер И.Е. Биофизика ультразвука. М. : Наука, 1973. 384 с.
4. Elpiner I.E., Sokolskaya A.V., Margulis M.A. Initiation of chain reaction under an ultrasonic wave effect // *Nature*. 4 December 1965. Vol. 208. No. 5014. Pp. 945—946.
5. Зубрилов С.П. Физико-химические аспекты ультразвуковой активации вяжущих растворов : прил. дисс. д-ра техн. наук. Л. : ЛТИ, 1975. 38 с.
6. Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем / отв. ред. акад. АН УССР Ф. Д. Овчаренко. Киев : Наукова думка, 1968. Вып. 1. 336 с.
7. Физическая акустика : под ред. У. Мэзона / пер. с англ. под ред. Л.Д. Розенберга. М. : Мир, 1967. Т. 1, Ч. Б: Методы и приборы ультразвуковых исследований. 364 с.
8. Hermans I.I. Colloid particles in ultrasonics field // *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science: Series 7*. 1938. Vol. 25. No. 168. Pp. 426—438.
9. Beute H. Über den Einflub der Ultrashallwellen auf chemischen Prozesse // *Zs. phys. Chem.*, 163A, 3/4, 1933, S. 161.
10. Гершгал Д.А. Ультразвуковая технологическая аппаратура : 3-е изд., перераб. и доп. Л. : Энергия, 1976. 319 с.
11. Ультразвуковая технология / под ред. д-ра техн. наук, проф. Б.А. Аграната. М. : Металлургия, 1974. 504 с.
12. Макиша Н.А., Смирнов Д.Г. Глубокое удаление аммонийного азота из сточных вод с применением плавающего грузочного материала // *Водоочистка*. 2013. № 11. С. 23—27.
2. Vikulina V.B. *Ispol'zovanie ul'trazvukovykh kolebaniy dlya protsessov umyagcheniya vody i osazhdenie vzvesi : avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [The Use of Ultrasound Oscillations for the Processes of Water Softening and Suspension Sedimentation : Abstract of the Dissertation of Candidate of Technical Sciences]. Moscow, MISI Publ., 1980, 19 p.
3. El'piner I.E. *Biofizika ul'trazvuka* [Biophysics of Ultrasound]. Moscow, Nauka Publ., 1973, 384 p.
4. Elpiner I.E., Sokolskaya A.V., Margulis M.A. Initiation of Chain Reaction under an Ultrasonic Wave Effect. *Nature*. 4 December 1965, vol. 208, no. 5014, pp. 945—946. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/208945a0>.
5. Zubrilov S.P. *Fiziko-khimicheskie aspekty ul'trazvukovoy aktivatsii vyazhushchikh rastvorov: prilozhenie dissertatsii doktora tekhnicheskikh nauk* [Physical and Chemical Aspects of Ultrasound Activation of Cementing Mortars : Supplement of the Dissertation of Doctor of Technical Sciences]. Leningrad, LTI Publ., 1975, 38 p.
6. Ovcharenko F.D., editor. *Fiziko-khimicheskaya mekhanika i liofil'nost' dispersnykh sistem* [Physical and Chemical Mechanics and Lyophilic Behavior of the Disperse Systems]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1968, no. 1, 336 p.
7. Mason W.P., editor. *Physical Acoustics*. Translated from English. Moscow, Mir Publ., 1967, vol. 1, part B: *Metody i pribory ul'trazvukovykh issledovaniy* [Methods and Equipment of Ultrasound Research]. 364 p.
8. Hermans I.I. Charged Colloid particles in an ultrasonics field. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science: Series 7*. 1938, vol. 25, no. 168, pp. 426—438. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14786443808562026>.
9. Beute H. Über den Einflub der Ultrashallwellen auf chemischen Prozesse. *Zs. phys. Chem.*, 163A, 3/4, 1933, s. 161.
10. Gershgal D.A. *Ul'trazvukovaya tekhnologicheskaya apparatura* [Ultrasound Technological Equipment]. 3rd edition, revised and enlarged. Leningrad, Energiya Publ., 1976, 319 p.
11. Agranat B.A., editor. *Ul'trazvukovaya tekhnologiya* [Ultrasound Technology]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1974, 504 p.
12. Makisha N.A., Smirnov D.G. Glubokoe udalenie ammoniyного азота из stochnykh vod s primeneniem plavayushchego zagruzochного материала [Enhanced Removal of Ammonium Nitrogen from Wastewater Using Floating Feed]. *Vodoochistka* [Water Treatment]. 2013, no. 11, pp. 23—27.

Поступила в редакцию в марте 2016 г.

Received in March 2016.

Об авторах: **Викулина Вера Борисовна**, доцент кафедры водоотведения и водной экологии, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, Ярославское шоссе, д. 26; vikulin@yandex.ru;

Викулин Павел Дмитриевич, доцент кафедры водоотведения и водной экологии, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, Ярославское шоссе, д. 26.

About the authors: **Vikulina Vera Borisovna**, Associate Professor, Department of Water Disposal and Water Ecology, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskeye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation;

Vikulin Pavel Dmitrievich, Associate Professor, Department of Water Disposal and Water Ecology, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskeye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation.

Для цитирования:

Викулина В.Б., Викулин П.Д. Очистка воды коагуляцией под действием ультразвукового поля // *Строительство: наука и образование*. 2016. № 1. Ст. 3. Режим доступа: <http://nso-journal.ru>.

For citation:

Vikulina V.B., Vikulin P.D. Ochistka vody koagulyatsiey pod deystviem ul'trazvukovogo polya [Water Purification by Coagulation under the Influence of Ultrasonic Field]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2016, no. 1. Paper 3. Available at: <http://www.nso-journal.ru>.