

УДК 544.77; 628.54; 628.33

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И ИХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ

Е.Е. Гончаренко, Б.С. Ксенофонтов, А.М. Голубев, Е.В. Петрова

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: eeg84@mail.ru

Рассмотрены результаты исследований, связанных с использованием реагентной коагуляции для удаления из сточных вод коллоидных растворов гидроксидов металлов, жиров, нефтепродуктов, взвесей и др. Разработана методика для исследования коагуляции и устойчивости лиофобных зелей с применением компьютерной технологии, позволяющая достаточно быстро получать необходимые экспериментальные результаты. Для интенсификации процесса очистки сточных вод изучено использование в качестве флокулянтов микроорганизмов активного ила, а также дрожжей, культивируемых на углеводородах нефти. Показано, что биомасса микроорганизмов активного ила при определенном значении кислотности рН и оптимальном режиме перемешивания является не только эффективным, но и экономичным флокулянтom, так как позволяет утилизировать активный ил на очистных сооружениях, на которых он и образуется при биохимической очистке сточных вод.

Ключевые слова: водоочистка, коагулянты, экология, лиофобные золи, компьютерная технология, флокулянты, агрегативная устойчивость, активный ил.

THE USE OF COMPUTER TECHNOLOGY FOR STUDYING THE PROCESSES OF WASTEWATER TREATMENT AND THEIR INTENSIFICATION

E.E. Goncharenko, B.S. Ksenofontov, A.M. Golubev, E.V. Petrova

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: eeg84@mail.ru

The article considers the results of the research into the usage of reagent coagulation for removing colloidal solutions, which consist of metal hydroxides, fat, oil, sediment, etc. from waste water. The authors develop a methodology for studying the coagulation and stabilization of lyophobic sols with the help of a computer technology which allows obtaining necessary experimental data quite quickly. To intensify the process of wastewater treatment the authors study the usage of microorganisms of the activated sludge as well as the yeasts cultivated on the oil hydrocarbon. The article shows that the biomass of microorganisms of the activated sludge with a certain pH magnitude and the optimal mixing mode is not only effective but it occurs to be an economical flocculant, as it allows recycling the activated sludge in the same wastewater treatment plants where it is formed during the biochemical wastewater treatment.

Keywords: water treatment, coagulants, ecology, livonia sols, computer technology, flocculants, aggregate stability, activated sludge.

Применение компьютерной технологии — одно из приоритетных направлений в развитии и совершенствовании техники физико-химического эксперимента. Однако, несмотря на внедрение новой

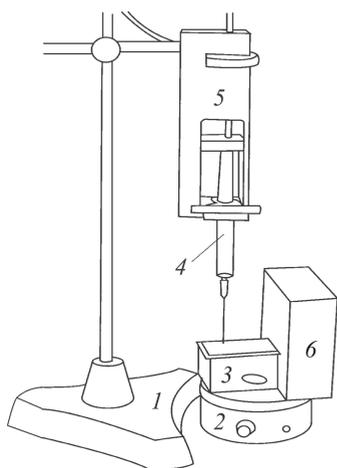


Рис. 1. Схема установки:

1 — штатив; 2 — магнитная мешалка; 3 — оптическая кювета; 4 — шприц; 5 — датчик объема жидкого реагента; 6 — датчик оптической плотности

разных режимах регистрировать сигналы, поступающие от датчиков, и отображать их на экране монитора. Возможно одновременное подключение нескольких датчиков и автоматическое подключение градуировки датчиков. При работе можно выбирать диапазоны значений параметров, отложенных по осям координат экспериментальных графиков. Допускается остановка записи данных в любой момент времени и оперативный просмотр экспериментальных кривых на мониторе, а также сохранение полученных результатов в виде текстовых форматов. Для изучения устойчивости и коагуляции зелей использовался метод фотоколориметрического титрования, поэтому работа выполнялась с применением датчика оптической плотности и датчика объема жидкого реагента (рис. 1). При проведении работы на экране монитора отображается экспериментально полученная зависимость оптической плотности коллоидного раствора D от объема добавленного электролита.

Методика работы установки подробно описана в работе [1]. Установка была использована в научных исследованиях, проводимых совместно с кафедрой “Экология и промышленная безопасность” МГТУ им. Н.Э. Баумана под руководством академика РЭА, доктора технических наук, профессора Б.С. Ксенофонтова. Работа связана с использованием реагентной коагуляции для удаления из сточных вод коллоидных растворов гидроксидов металлов, жиров, нефтепродуктов и др.

Одним из факторов, влияющим на коагуляцию, является добавление электролитов. На практике широко используются коагулянты на

техники, работы по использованию компьютерных технологий для изучения свойств коллоидных систем практически отсутствуют. В связи с этим авторами настоящей статьи разработана методика для изучения устойчивости и коагуляции лиофобных зелей с компьютерным и программным обеспечением.

Используемая измерительная система представляет собой комплект датчиков (электропроводности, оптической плотности, температуры, объема жидкого реагента, объема газа и т.д.), подключенных к компьютеру через измерительный блок. Программа позволяет в

основе солей алюминия и железа [2–5]. Для эффективного применения реагентов для коагуляции необходимо учитывать агрегативную устойчивость зелей гидроксидов металлов, образующихся в результате гидролиза солей, определяемую порогом коагуляции, а также взаимную коагуляцию образующихся зелей. Однако использование неорганических реагентов не всегда эффективно. Поэтому для интенсификации процесса очистки сточных вод неорганические коагулянты обычно применяются в сочетании с синтетическими флокулянтами. В качестве флокулянтов используются линейные водорастворимые полимеры с высокой молекулярной массой, несущие полярные группы на обоих концах цепи: поливинилстирол; полиакриламид; полиоксиэтилен и т.д. Молекула полимера двумя концами присоединяется к двум разным частицам дисперсной фазы, скрепляя их полимерными мостиками. Образуются флокулы — агрегаты частиц, размеры которых во много раз превышают размеры частиц дисперсной фазы, что приводит к резкому увеличению скорости осаждения [6, 7]. Таким образом, флокулянты объединяют частицы загрязнений в большие агрегаты и являются эффективными регуляторами седиментационной устойчивости дисперсных систем. Если агрегативная устойчивость характеризует способность системы противостоять объединению частиц, то седиментационная устойчивость противостоит расслоению дисперсной системы за счет различия в плотности частиц дисперсной фазы и дисперсионной среды. При этом возможно два варианта движения частиц дисперсной фазы — оседание (если $\rho_{д.ф} > \rho_0$) и всплытие (если $\rho_{д.ф} < \rho_0$), где $\rho_{д.ф}$ — плотность частиц дисперсной фазы; ρ_0 — плотность дисперсионной среды. Для увеличения скорости осаждения частиц дисперсной фазы в дисперсионную среду вводятся сравнительно небольшие количества флокулянтов (порядка $10^{-5} \dots 10^{-2}$ % массы частиц дисперсной фазы).

Исследования показали, что использование малых концентраций синтетических водорастворимых полимеров для очистки сточных вод и осветления тонкодисперсных суспензий не всегда приводит к желаемому результату. Увеличение количества применяемых реагентов для интенсификации процесса приводит к повышению затрат. В связи с этим предпринимаются попытки применения отходов различных производств для интенсификации процесса очистки.

Особый интерес представляет использование микроорганизмов избыточного активного ила, образующегося при биохимической очистке сточных вод [8–10]. В процессе биологической очистки масса активного ила возрастает, образуется ее избыток, который необходимо утилизировать. Как показывают исследования [8], активный ил окисляет органические загрязнения, что важно для его утилизации. Кроме того, на поверхности микроорганизмов активного ила имеется клейкое

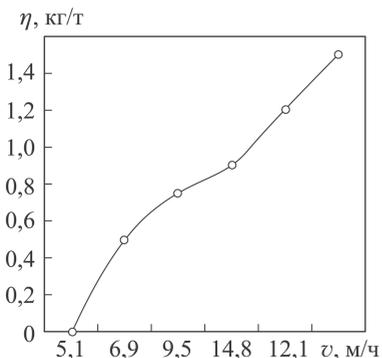


Рис. 2. Результаты экспериментальных исследований влияния расхода η микроорганизмов активного ила на скорость v осаждения твердой фазы

и для сравнения эффектов флокуляции — дрожжей, культивируемых на углеводородах нефти, для интенсификации процесса очистки сточных вод. В качестве модельного стока использовалась суспензия флотоконцентрата фосфорита класса 0,074–0,040 мм, являющаяся продуктом флотационного обогащения фосфоритовой руды (флотоконцентрата) и содержащая в качестве загрязнений фосфорсодержащие частицы. Содержание твердой фазы в суспензии составляло 15%. Результаты экспериментальных исследований влияния расхода микроорганизмов активного ила на скорость осаждения твердой фазы представлены на рис. 2.

Скорость осаждения возрастает с увеличением концентрации микроорганизмов в суспензии. Аналогичная зависимость получена при использовании дрожжей. Экспериментальные данные приведены ниже:

Расход дрожжей, кг /т	0	0,30	0,66	1,20	1,50
Скорость осаждения суспензии, м /ч	5,1	7,2	11,1	11,8	12,1
Содержание твердой фазы в сливе, мг/л	270	122	30	28	28

Для изучения влияния концентрации активного ила и концентрации дрожжей *Candida* на эффективность флокуляции были проведены эксперименты по определению оптической плотности модельного стока с твердой фазой класса 0,074 мм в зависимости от концентрации микроорганизмов (рис. 3).

Максимальный эффект флокуляции можно оценить по минимальному значению оптической плотности. Анализ данных (см. рис. 3) показывает, что при использовании активного ила минимальное значение оптической плотности достигается при концентрациях 100. . . 150 мг/л,

вещество — экзополисахариды (внеклеточные полисахариды), с увеличением количества которых эффект образования агрегатов выше [8, 9–11], что приводит к быстрому выпадению частиц загрязнений в осадок.

В связи с этим необходимо изучить использование активного ила в качестве биофлокулянта, что может стать одним из перспективных методов его утилизации. В настоящей работе проведены исследования по применению микроорганизмов

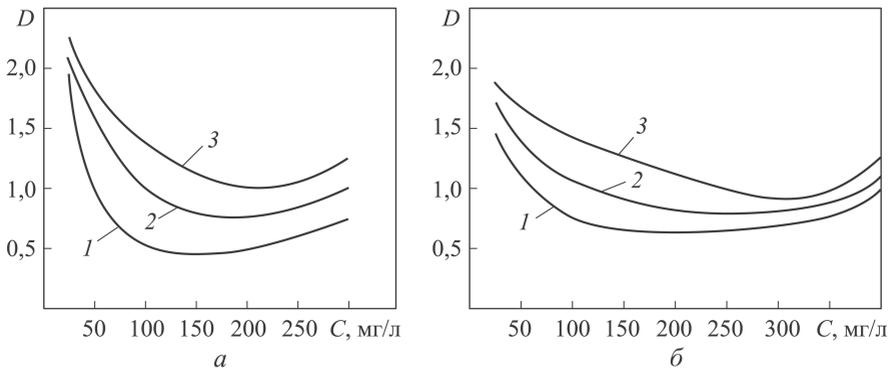


Рис. 3. Влияние концентрации активного ила (а) и дрожжей (б) на эффективность флокуляции при концентрации загрязнений 500 (1), 1000 (2) и 1500 (3) мг/л

а при добавлении дрожжей *Candida* — при 200...300 мг/л. Следовательно, применение микроорганизмов активного ила в качестве флокулянта в 2 раза эффективнее, чем использование дрожжей *Candida*.

Обработка суспензии флотоконцентрата микроорганизмами в значительной степени зависит от условий оптимального контактирования. В связи с этим были проведены эксперименты по изучению влияния интенсивности перемешивания на мутность слива суспензии, характеризуемой концентрацией твердой фазы. Содержание твердой фазы в исходной суспензии было постоянным (15%).

Суспензия с микроорганизмами активного ила (при расходе микроорганизмов 180 мг/л) перемешивалась в аппарате с пропеллерной мешалкой. Градиент скорости определялся по методике, изложенной в работе [5]. Мутность слива измерялась после осаждения твердой фазы. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 4.

Анализ полученных данных показывает, что существует оптимальное значение градиента скорости, при которой мутность слива суспензии минимальна. Эти результаты можно рассмотреть, используя положения градиентной коагуляции, играющей основную роль при хлопьеобразовании в тонкодисперсных суспензиях [5]. В общем виде

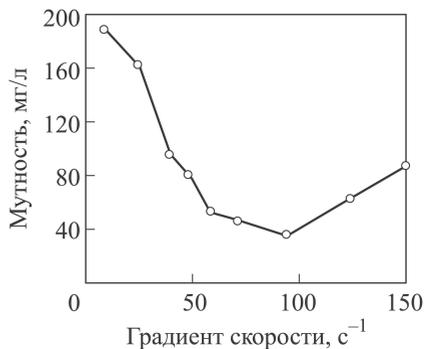


Рис. 4. Влияние интенсивности перемешивания на мутность слива фосфоритовой суспензии флотоконцентрата

процесс градиентной коагуляции описывается уравнением

$$n = n_0 \exp \left(-\frac{\psi}{\pi} C_0 G \tau \right), \quad (1)$$

где n — концентрация частиц твердой фазы суспензии по истечении времени τ ; n_0 — начальная концентрация частиц твердой фазы суспензии; ψ — коэффициент, характеризующий эффективность столкновений частиц (в зависимости от условий коагуляции изменяется от 0 до 1); C_0 — объемная концентрация микроорганизмов активного ила; G — градиент скорости.

Градиент скорости может быть определен по выражению $G = \sqrt{N/(V\eta_c)}$, где N — мощность, затрачиваемая на перемешивание, Вт; V — перемешиваемый объем, м³; η_c — динамическая вязкость суспензии.

При использовании аппаратов с мешалками градиент скорости рассчитывается по уравнению

$$G = \sqrt{2\pi\gamma \frac{M}{V\eta_c}}. \quad (2)$$

Здесь M — начальная мощность, затрачиваемая на перемешивание, Вт; γ — частота вращения мешалки, с⁻¹.

Уравнение (2), описывающее процесс хлопьеобразования, не учитывает разрушение хлопьев за счет больших градиентов скорости, возникающих при перемешивании. Однако авторами настоящей статьи показано, что существование оптимальных значений градиента скорости (рис. 3, б) указывает на необходимость учета этого явления, а известные в литературе модификации уравнения (1) не отражают в полной мере все особенности этого процесса.

Следует отметить, что градиент скорости при перемешивании осветляемой суспензии с активным илом, по данным, полученным в этой работе, не должен превышать значений 90...100 с⁻¹.

При использовании активного ила в качестве флокулянта необходимо учитывать его предварительное уплотнение. Известно, что одним из наиболее простых и эффективных способов уплотнения активного ила перед его применением в качестве реагента, а точнее флокулянта, является напорная флоатация [4, 12–16]. При этом флоатируемость активного ила зависит от ряда факторов, в том числе и условий его культивирования. При значительном накоплении в хлопьях активного ила хорошо растворимых газов, таких как углекислый газ, аммиак, активный ил склонен к самофлоатируемости. Образующийся при этом пенный слой является рыхлым с небольшой концентрацией активного ила. Использование самофлоатируемости активного ила в сочетании с

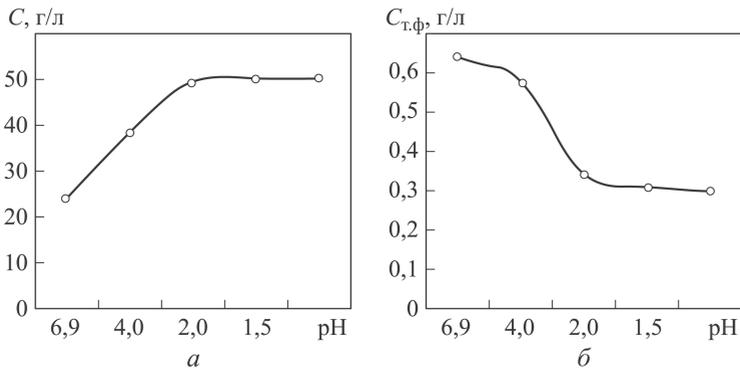


Рис. 5. Зависимости концентрации активного ила (*а*) в пенном слое, образующемся в результате напорной флотации, и концентрации твердой фазы (*б*) в суспензии фосфоритового концентрата класса 0,074 мм от кислотности (после отстаивания суспензии в течение 30 мин)

напорной флотацией также не позволяет получить компактный пенный слой с большой концентрацией активного ила.

В соответствии с проведенными ранее исследованиями [4] наиболее эффективный способ интенсификации процесса уплотнения активного ила — это его подкисление. Исследование механизма напорной флотации активного ила с его предварительным подкислением показало, что при снижении кислотности pH до 1,5... 2,0 резко уменьшается растворимость углекислого газа и он выделяется из жидкой фазы, в том числе из хлопьев активного ила. При этом хлопья активного ила после выхода из них углекислого газа становятся компактными и проведение последующей напорной флотации приводит к образованию плотного пенного слоя. Зависимости концентрации активного ила и твердой фазы в суспензии фосфоритового концентрата класса 0,074 мм от кислотности приведены на рис. 5 (исходная концентрация твердой фазы 5 %).

Согласно приведенным данным, предварительное подкисление активного ила до кислотности 1,5... 2,0 не только улучшает его флотационное сгущение, но и повышает сорбционные характеристики, что приводит к заметному снижению концентрации твердой фазы в осветляемой тонкодисперсной суспензии.

Выводы. Проведены исследования по применению в качестве флокулянтов микроорганизмов активного ила, а также дрожжей, культивируемых на углеводородах нефти, для интенсификации процесса очистки сточных вод и осветления тонкодисперсных суспензий.

Показана возможность применения компьютерной методики, разработанной авторами, для реагентной коагуляции, к оценке эффективности флокуляции микроорганизмами.

По данным экспериментов с увеличением концентрации микроорганизмов и дрожжей скорость осаждения твердой фазы в сточных водах и тонкодисперсных суспензиях возрастает.

Изучено влияние концентрации активного ила, а также дрожжей на эффективность флокуляции при различной концентрации загрязнений в сточных водах. Показано, что применение активного ила в 2 раза эффективнее, чем использование дрожжей.

Проведены исследования влияния градиента скорости перемешивания суспензии флотоконцентрата, содержащей микроорганизмы активного ила, на мутность слива, характеризующую концентрацию твердой фазы в суспензии. По результатам экспериментов установлено, что градиент скорости перемешивания суспензии с активным илом не должен превышать значений $90 \dots 100 \text{ с}^{-1}$, так как при больших градиентах скорости происходит разрушение хлопьев активного ила. Получены экспериментальные данные о влиянии кислотности на флотационное уплотнение активного ила и на эффективность осветления суспензии. Показано, что биомасса микроорганизмов активного ила при снижении кислотности до 1,5...2,0 не только улучшает его флотационное сгущение, но и повышает сорбционные характеристики, что приводит к заметному снижению концентрации твердой фазы в осветляемой тонкодисперсной суспензии. Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что биомасса микроорганизмов активного ила при определенном значении кислотности pH и оптимальном режиме перемешивания является не только эффективным, но и экономичным флокулянт, так как позволяет утилизировать активный ил на тех же очистных сооружениях, на которых он и образуется при биохимической очистке сточных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко Е.Е., Ксенофонтов Б.С., Голубев А.М. Исследование устойчивости и коагуляции лиофобных золь с применением компьютерной технологии // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2014. № 1. С. 51–66.
2. Сорокина И.Д., Дресвянников А.Ф. Железоалюминиевый коагулянт для очистки воды // Экология и промышленность России. 2010. № 5. С. 48–51.
3. Сорокина И.Д., Дресвянников А.Ф., Юсупов Р.А., Девятков В.Ф. Гетероядерные соединения в системах на основе Fe(II), Fe(III), Al(III), SO₄²⁻, C₁₈H₂₀OFT, NH₃ // Журнал прикладной химии. 2010. Т. 83. Вып. 4. С. 540–545.
4. Ксенофонтов Б.С., Козодаев А.С., Таранов А., Балина А., Виноградов М.С. Технология очистки стоков с помощью реагентной флотации // Экология производства. 2013. № 4. С. 60–63.
5. Бабенко Е.Д. Очистка сточных вод коагулянтами. М.: Наука, 1977. 356 с.
6. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. М.: Высш. шк., 2006. 444 с.

7. Гончаренко Е.Е., Бадаев Ф.З., Авсинева Н.К. Устойчивость и коагуляция лиофобных золь. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 48 с.
8. Ксенофонтов Б.С. Интенсификация очистки сточных вод химических производств с использованием биофлокулянтов // Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 10. С. 24.
9. Ксенофонтов Б.С. Проблемы очистки сточных вод промышленных предприятий // Приложение к журн. "Безопасность жизнедеятельности". 2011. № 3. С. 24.
10. Ксенофонтов Б.С. Биотехнологические методы очистки воды, почвы и воздуха // Приложение к журн. "Безопасность жизнедеятельности". 2010. № 2. С. 24.
11. Ксенофонтов Б.С. Технология очистки промышленных сточных вод энергопредприятий // Приложение к журн. "Безопасность жизнедеятельности". 2009. № 7. С. 24.
12. Arrojo S., Benito Y. A theoretical study of hydrodynamic cavitation // Ultrasonics Sonochemistry. 2008. No. 15. P. 203–211.
13. Arrojo S., Benito Y. Treatment of waste water streams containing phenolic compounds using hybrid techniques based on cavitation: A review of the current status and the way forward // Ultrasonics Sonochemistry. 2007. No. 10. P. 100–115.
14. Introduction to Effluent Treatment and Industrial Methods // Resonance. 2000. Vol. 5. No. 10. P. 56–68.
15. Suslik K.S. Liquid oxidation: Hydrodynamic capitation for effective oxidation // Technology review. 2007. Nov. P. 16–18.
16. Гвоздев Е.Д., Ксенофонтов Б.С. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков. М.: Химия, 1988. 112 с.

REFERENCES

- [1] Goncharenko E.E., Ksenofontov B.S., Golubev A.M. Investigation of Stability and Coagulation of Lyophobic Sols Using Computer Technology. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Bauman, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2014, no. 1, pp. 51–66 (in Russ.).
- [2] Sorokina I.D., Dresvyannikov A.F. Iron-Aluminum Coagulant for Water Purification. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2010, no. 5, pp. 48–51 (in Russ.).
- [3] Sorokina I.D., Dresvyannikov A.F., Yusupov R.A., Devyatov V.F. Heteronuclear Compounds in the Systems Based on Fe(11), Fe(111), Al(Sh), SO₄²⁻, CG–N₂–OFT, NH₃. *Zh. Prikl. Khim.* [Russ. J. Appl. Chem.], 2010, vol. 83, iss. 4, pp. 540–545 (in Russ.).
- [4] Ksenofontov B.S., Kozodaev A.S., Taranov A., Balina A., Vinogradov M.S. The Technology of Wastewater Treatment Using Reagent Flotation. *Ekologiya proizvodstva* [Production Ecology], 2013, no. 4, pp. 60–63 (in Russ.).
- [5] Babenko E.D. Oчistka stochnykh vod koagulyantami [Wastewater Treatment with Coagulants]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 356 p.
- [6] Shchukin E.D., Pertsov A.V., Amelina E.A. Kolloidnaya khimiya [Colloid Chemistry]. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 2006. 444 p.
- [7] Goncharenko E.E., Badaev F.Z., Avsineeva N.K. Ustoychivost' i koagulyatsiya liofobnykh zoley [Stability and Coagulation of Lyophobic Sols]. Moscow, MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2011. 48 p.
- [8] Ksenofontov B.S. Intensification of Chemical Plant Wastewater Treatment Using Biofloculents. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life Safety], 2009, no. 10. 24 p. (in Russ.).
- [9] Ksenofontov B.S. Problems of Industrial Enterprise Wastewater Treatment. *Prilozhenie k zhurn. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Supplement to the Journal Life Safety], 2011, no. 3. 24 p. (in Russ.).

- [10] Ksenofontov B.S. Biotechnological Methods of Water, Soil, and Air Purification. *Prilozhenie k zhurn. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Supplement to the Journal Life Safety], 2010, no. 2. 24 p. (in Russ.).
- [11] Ksenofontov B.S. Technology of Electric Utility Industrial Wastewater Treatment. *Prilozhenie k zhurn. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Supplement to the Journal Life Safety], 2009, no. 7. 24 p. (in Russ.).
- [12] Arrojo S., Benito Y. A theoretical study of hydrodynamic cavitation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2008, no. 15, pp. 203–211.
- [13] Arrojo S., Benito Y. Treatment of wastewater streams containing phenolic compounds using hybrid techniques based on cavitation: A review of the current status and the way forward. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2007, no. 10, pp. 100–115.
- [14] Introduction to Effluent Treatment and Industrial Methods. *Resonance*, 2000, vol. 5, no. 10, pp. 56–68.
- [15] Suslik K.S. Liquid oxidation: Hydrodynamic capitation for effective oxidation. *Technology review*, 2007, Nov., pp. 16–18.
- [16] Gvozdev E.D., Ksenofontov B.S. Ochistka proizvodstvennykh stochnykh vod i utilizatsiya osadkov [Industrial Wastewater Treatment and Disposal of Precipitation]. Moscow, Khimiya Publ., 1988. 112 p.

Статья поступила в редакцию 14.01.2015

Гончаренко Евгения Евгеньевна — канд. хим. наук, доцент кафедры “Химия” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных работ в области физической химии. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Goncharenko E.E. — Ph.D. (Chem.), Associate Professor of Chemistry, Department of Chemistry, Bauman Moscow State Technical University, author of over 100 research publications in the field of physical chemistry. Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Ксенофонтов Борис Семенович — д-р техн. наук, профессор кафедры “Экология и промышленная безопасность” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 250 научных работ, в том числе семи монографий в области очистки природных и сточных вод. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ksenofontov B.S. — D.Sc. (Eng.), Professor of Engineering, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, author of over 250 research publications, including seven monographs in the field of cleaning natural and waste water. Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Голубев Александр Михайлович — д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой “Химия” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 200 научных работ в области кристаллохимии и физической химии. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Golubev A.M. — D.Sc. (Chem.), Professor of Chemistry, Head of the Department of Chemistry, Bauman Moscow State Technical University, author of over 200 research publications in the fields of crystal chemistry of inorganic compounds and physical chemistry. Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Петрова Елена Владимировна — аспирант кафедры “Экология и промышленная безопасность” МГТУ им. Н.Э. Баумана.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Petrova E.V. — Ph.D. student, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Гончаренко Е.Е., Ксенофонтов Б.С., Голубев А.М., Петрова Е.В. Использование компьютерной технологии для изучения процессов очистки сточных вод и их интенсификации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2015. № 4. С. 115–125.

Please cite this article in English as:

Goncharenko E.E., Ksenofontov B.S., Golubev A.M., Petrova E.V. The use of computer technology for studying of the processes of wastewater treatment and their intensification. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Bauman, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2015, no. 4, pp. 115–125.