

EDN: MUSGQZ

УДК 628.33

Modernization of Stopping Ponds of the Enterprises of the Heat and Power Complex With the Use of Highly Selective Sorbents in Gabion Filtration Cassettes

Olga G. Dubrovskaya*,
Tatyana A. Kulagina and Tatyana I. Savchenko
*Siberian Federal University
Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 07.02.2023, received in revised form 10.02.2023, accepted 03.04.2023

Abstract. The efficiency of wastewater treatment of fuel and energy enterprises in settling ponds is not enough for the use of treated water in recycled water use. Modernization of settling ponds in order to obtain high efficiency of wastewater treatment for recycling water use of the fuel and energy complex is the main task to achieve a high degree of wastewater treatment, as well as to minimize the anthropogenic impact on the environment from wastewater from fuel and energy enterprises. The use of highly selective sorbents in gabion filtration cassettes installed in the settling pond of a fuel and energy complex enterprise makes it possible to achieve high efficiency of wastewater treatment with the removal of previously unretained emulsified oil products and halogen-derived organic substances from the wastewater composition, which adversely affect the operation of utilities and heat power equipment.

Keywords: sorbent, cavitation, settling pond, gabion filtration cassettes.

Acknowledgments. The project was supported by the Regional Science Foundation on the topic 2020021006020 «Obtaining highly effective biosorbents based on coal-water suspension».

Citation: Dubrovskaya, O. G., Kulagina, T. A., Savchenko, T.I. Modernization of stopping ponds of the enterprises of the heat and power complex with the use of highly selective sorbents in gabion filtration cassettes. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2023, 16(4), 426–433. EDN: MUSGQZ



Модернизация прудов-отстойников предприятий теплоэнергетического комплекса с применением высокоселективных сорбентов в габионных фильтрационных кассетах

О.Г. Дубровская, Т.А. Кулагина, Т.И. Савченко
*Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, Красноярск*

Аннотация. Эффективности очистки сточных вод предприятий ТЭК в прудах-отстойниках недостаточно для применения очищенной воды в оборотном водопользовании. Модернизация прудов-отстойников с целью получения высокой эффективности очистки сточных вод оборотного водопользования ТЭК является главной задачей достижения высокой степени очистки сточных вод, а также минимизации антропогенного воздействия на окружающую среду от сточных вод предприятий ТЭК. Применение высокоселективных сорбентов в габионных фильтрационных кассетах, установленных в пруде-отстойнике предприятия ТЭК, позволяет добиться высокой эффективности очистки стока с удалением из состава сточной воды ранее не извлекаемых, эмульгированных нефтепродуктов и галогенопроизводных органических веществ, негативно воздействующих на работу инженерных коммуникаций и теплосилового оборудования.

Ключевые слова: сорбент, кавитация, пруд-отстойник, габионные фильтрационные кассеты.

Благодарности. Проект поддержан Краевым фондом науки по теме 2020021006020 «Получение высокоэффективных биосорбентов на основе водоугольной суспензии».

Цитирование: Дубровская О.Г. Модернизация прудов-отстойников предприятий теплоэнергетического комплекса с применением высокоселективных сорбентов в габионных фильтрационных кассетах / О.Г. Дубровская, Т.А. Кулагина, Т.И. Савченко // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2023, 16(4). С. 426–433. EDN: MUSGQZ

Введение

При очистке сточных вод предприятий ТЭК широко используются двухслойные угольно-кварцевые фильтры, которые не способны обеспечить требуемое качество очистки нефтесодержащего стока ни в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.3685–21, ни с требованиями к технической воде. Кроме того, данные фильтры имеют значительные размеры, сложны в эксплуатации и практически не регенерируемы.

Учитывая усредненный расход сточных вод 16–17 м³/с для ТЭЦ с производительностью тепла до 3140 тыс. Гкал/год, экономически целесообразным является использование сточных вод в оборотном водопользовании. С учетом количества производственных процессов техническое качество воды требуется разное и, следовательно, в каждом конкретном случае для очистки сточных вод могут применяться разные технологические системы.

Кроме того, следует отметить, что существующие системы очистки сточных вод предприятий ТЭК нуждаются в реконструкции. С точки зрения экономической целесообразности модификация существующей системы очистки промышленного стока является единственным способом достичь требуемых параметров воды для замкнутого цикла водопользования.

Поэтому для повышения степени очистки сточных вод от нефтепродуктов, образующихся от обмытки теплосилового оборудования и поступающих в стандартные пруды-отстойники,

необходимо модернизировать стандартную систему перелива с внедрением фильтрационного блока как элемента разделительно-фильтрационного габиона с использованием фильтрационных загрузок с высокими сорбционными показателями.

Методы исследования

В испытательной лаборатории Инженерно-строительного института СФУ (ИЛ СМиХАВ) была смоделирована система очистки сточных вод от предприятий ТЭК, которая в процессе исследований подвергалась изменениям путем внедрения разных блоков очистки. В процессе натурного эксперимента в систему очистки внедрялись сорбционные фильтрующие колонны, которые показали высокую эффективность, что подтвердило целесообразность и необходимость введения стадии фильтрационной очистки. С целью равномерного движения стока в пруде-отстойнике было предложено каскадное устройство дна отстойника для стабилизации скорости движения очищаемого стока.

Таким образом, предлагается внедрение каскадного фильтрования с целью обеспечения равномерной скорости фильтрации за счет естественных сил и установка сменных габионных фильтровальных кассет с высокоселективной сорбционной загрузкой. Инженерные элементы каскадно-фильтровальных прудов-отстойников хорошо вписываются в стандартную конструкцию имеющегося пруда-отстойника (рис. 1).

В габионном фильтрационном блоке создаются условия, схожие с самоочисткой воды в природе. Каскадное устройство пруда-отстойника позволяет обеспечить движение воды за счет ее потенциальной энергии, которая переходит в кинетическую. Перегородки пруда-отстойника выполняются в виде габионов, стенки и основание – из матрасов Рено и системы Террамеш. Подобная модернизация легко возводимая, не требующая создания фундамента. Стоит отметить, что при строительстве такого пруда-отстойника не наблюдается эрозия почвы за счет стабилизации потока воды, выходящего из водосбросных лотков.

В качестве сорбционного материала, применяемого в габионных фильтровальных кассетах, предлагается использовать экспериментально полученную загрузку на основе водоугольных суспензий. Сырьем для получения данного сорбента является порода добычи бурого угля.

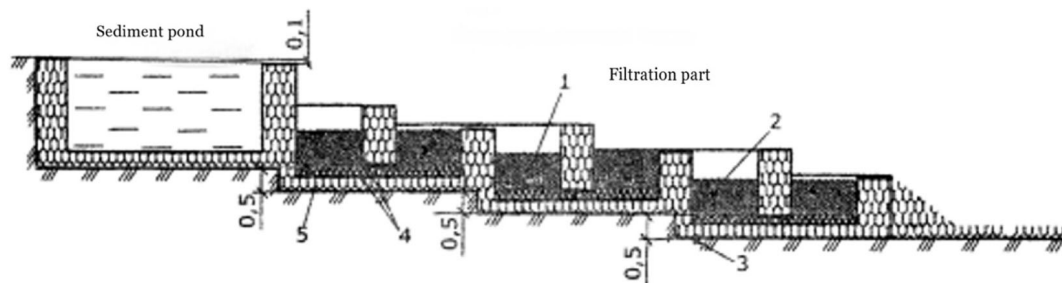


Рис. 1. Схема фильтрационного пруда-отстойника: 1 – шунгит; 2 – сорбент СТК-А; 3 – геотекстиль; 4 – гидроизоляция; 5 – дренажный слой

Fig. 1. Scheme of the filtration pond-settlement: 1 – shungite; 2 – sorbent STK-A; 3 – geotextile; 4 – waterproofing; 5 – drainage layer

Высокая температура, отсутствие кислорода в угольных пластах приводят к спеканию ряда пород и химических элементов.

Был исследован сорбент марки СТК-А с целью оценки его эффективности при кондиционировании стока с высоким содержанием нефтепродуктов. Сорбент подвергался щелочной обработке и кавитационной активации в аппарате при угловой скорости 3000 об/мин в течение 90 с [3]. Используя различные типы активации сорбента, определяли основные физико-химические свойства и параметры гранул сорбента, эффективность извлечения нефтепродуктов и ряда тяжелых металлов из обрабатываемой сточной воды. Эксперимент показал, что сорбент проявил стабильную активность к следующим металлам: Fe, Cd, Mn, Pb, Zn. В меньшей степени к As, Cu. А к таким элементам, как P, Sr, Cr, Ni, сорбент не проявил активности. В ходе проведенных исследований установлено, что сорбционные свойства рассматриваемого сорбента снижаются в кислых средах и при значении pH более 8 эффективность процесса протекает в зоне оптимума.

Результаты исследования

Результаты исследования представлены в табл. 1. Наиболее эффективной оказалась модификация угольного сорбента с кавитационной обработкой. Сравнительный анализ эффективности сорбции представлен диаграммой (рис. 2).

Отличительной чертой сорбционной способности активированного угольного сорбента является эффективность сорбции при различных температурных режимах. Эксперименталь-

Таблица 1. Характеристики сорбента

Table 1. Characteristics of the sorbent

Показатель	Угольный сорбент под действием термокислотной активации	Угольный сорбент, модифицированный кавитационной обработкой с режимом 3000 об/мин
Морфофизические параметры	Гранулы свободной формы, размер гранулы 1,15–1,3 мм, цвет от серого до черного	Гранулы свободной формы, размер гранулы 0,03–0,3 мм, цвет черный
Сорбционная емкость по меди, мг / г	18,32–26,7	16,87–24,9
Температура применения, °С	+ 4...+ 25	+ 4...+ 25
Степень извлечения тяжелых металлов	83,3 %	96,3 %
Cu	64 %	86,9 %
Fe	86,6 %	98,9 %
Pb	92,2 %	99,7 %
Нефтепродукты	76,4 %	87,9 %
Максимальная доза сорбента	5–13,1 г / л	5–9,9 г / л
Доза выгружаемого сорбента	0,7 мг / л	0,68 мг / л
Расчетная высота сорбционной загрузки в адсорбере	В зависимости от диаметра сорбционного фильтра 0,80–1,50 м	В зависимости от диаметра сорбционного фильтра 0,45–0.60 м

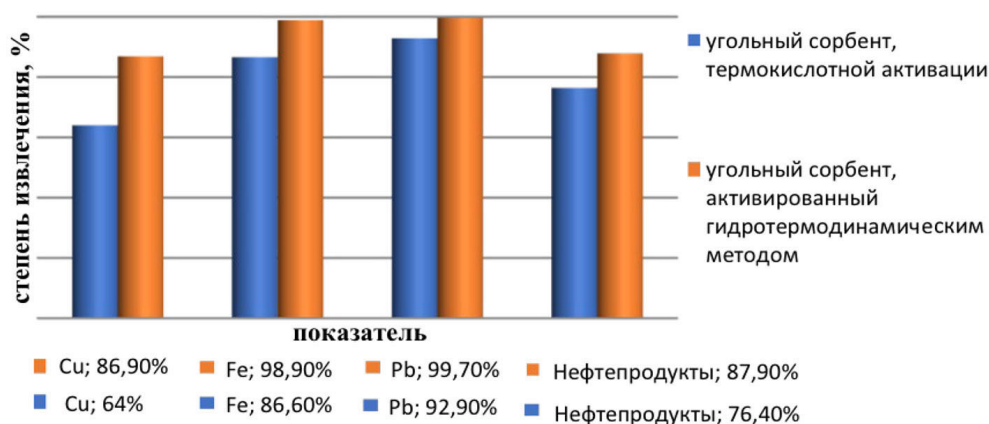


Рис. 2. Сравнительный анализ результатов сорбции

Fig. 2. Comparative analysis of sorption results

Таблица 2. Эффективность очистки

Table 2. Cleaning efficiency

№ линии	Исходная концентрация нефтепродуктов в воде, мг / дм ³	Условия фильтрации	Конечная концентрация (угольный сорбент, модифицированный кавитацией), мг / дм ³	Эффект очистки (угольный сорбент, модифицированный кавитацией), %
1	47	Нормальные условия (20 ± 2 °С)	5,03	89,3
2	47	Нагрев (40 ± 2 °С)	3,06	93,5
3	47	Охлаждение до + 0,1...+ 0,4 °С	5,78	87,7

ные данные показали, что независимо от температуры подаваемой на очистку воды, эффективность угольного сорбента остается неизменно высокой и составляет в среднем 90,16 %. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Обсуждение результатов исследования

Выбор габрионного фильтра с исследуемой сорбционной загрузкой основывается на следующих преимуществах: простота конструкции, несложность эксплуатации, максимальное использование объема фильтра, экономичность и высокая эффективность очистки воды. Эксперимент показал, что в качестве сорбционной загрузки наиболее эффективно работает сорбент, активированный в кавитационной установке на основе гидротермодинамических эффектов. Гидротермодинамические эффекты создают на поверхности сорбента микро-, мезо- и макропоры, которые увеличивают площадь развитой поверхности и, как следствие, приводят к увеличению сорбционной емкости материала. В лабораторных испытаниях на опытной фильтрационной установке степень очистки нефтепродуктов составила 87,9 % (конечная концентрация нефтепродуктов – до 0,05 мг / л).

Таким образом, применение сорбента, активированного гидротермодинамическим методом в габионных фильтрационных каскадах, позволяет достичь требуемой степени очистки стока ТЭС для оборотного водопользования. Модификация существующих сооружений очистки сточных вод предприятий ТЭС с устройством каскадного фильтрования и внедрением габионных фильтрационных каскад решает задачу повышения эффективности очистки для оборотного водопользования.

Выводы

Предложенные технические решения позволяют достичь требуемого качества воды для повторного использования. Главными достоинствами модернизации пруда-отстойника являются:

1. Использование отходов угледобычи в качестве сорбента с задаваемыми вариативными параметрами сорбции;
2. Возможность применения различных типов активации сорбента;
3. Сокращение площадей, отводимых под пруды-отстойники, за счет каскадного устройства дна и повышения эффективности очистки;
4. Повышение эффективности очистки стока ТЭЦ, что способствует ускорению процесса очистки и возможности применения в оборотном водопользовании.

Разрабатываемые варианты инженерной модернизации гидросооружения позволят в значительной степени снизить экологические риски от использования прудов-отстойников предприятий теплоэнергетического комплекса.

Введение блоков габионных фильтрационных каскад с активированной загрузкой, имеющей высокие сорбционные свойства при очистке промышленного стока и кондиционировании технической воды, позволит сформировать замкнутый оборотный цикл водопользования и значительно снизить эксплуатационные затраты предприятий ТЭК.

Список литературы / References

- [1] Дубровская О.Г., Приймак Л.В., Андруняк И.В. *Ресурсосберегающие технологии обезвреживания и утилизации отходов предприятий теплоэнергетического комплекса Красноярского края*. Монография. Красноярск, Сиб. федер. ун-т, 2014. 164 с. [Dubrovskaya O. G., Priymak L. V., Andrunyak I. V. *Resource-saving technologies for neutralizing and utilizing waste from enterprises of the thermal power complex of the Krasnoyarsk Territory*: Monograph. Krasnoyarsk, Sib. Fed. Univ., 2014. 164 p. (in Rus.)].
- [2] Дубровская О.Г., Евстигнеев В.В., Кулагин В.А. Кондиционирование сточных вод энергетических систем и комплексов. *Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии*, 2011. 4(6). 665–675 [Dubrovskaya O. G., Evstigneev V. V., Kulagin V. A. Conditioning of wastewater from power systems and complexes, *J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol.* 2011. 4(6). 665–675 (in Rus.)].
- [3] Кулагин В. А., Кулагина Т. А., Трошкин О. А. Гидродинамический кавитационный смеситель для биохимических исследований. *Гидродинамика больших скоростей. Межвузовский сборник*. 1992. 144–147. [Kulagin V. A., Kulagina T. A., Troshkin O. A. Hydrodynamic cavitation mixer for biochemical research. *Hydrodynamics of high speeds. Interuniversity collection*. 1992. 144–147 (in Rus.)].

- [4] Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. *Активные угли России*, М., Metallургия. 2000. 352 с. [Mukhin V.M., Tarasov A.V., Klushin V.N. *Active coals of Russia*, М., Metallurgy, 2000. 352 p. (in Rus.)].
- [5] Wang Ji-Zhong, Sheng-Rong Li, Bao-Lin Liu, Jing-Gui Tong Waste from the sewage of heavy metals using natural minerals, *Bull Mineral Petrol Geochem*. 2005. 24(2). 159–164.
- [6] Demirbas Ayhan. Heavy metal adsorption onto agrobased waste materials. *Journal of Hazardous Materials*. 2008. 157(2–3). 220–229.
- [7] Lokendra S. Thakur., Parmar Mukesh. Adsorption of heavy metal from synthetic waste water by tea waste adsorbent, *International Journal of Chemical and Physical Sciences*. 2013. 2(6). 6–19.
- [8] Дубровская О.Г., Евстигнеев В.В., Кулагин В.А. Проблемы очистки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты в оборотных системах замкнутых циклов водопользования, и пути их решения, *Журнал СФУ. Техника и технологии*, 2013 6(6), 680–688 [Dubrovskaya O.G., Evstigneev V.V., Kulagin V.A. Problems of wastewater treatment containing emulsified oil products in circulating systems of closed water use cycles, and ways to solve them, *J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol.*, 2013 6(6), 680–688 (in Rus.)].
- [9] Дубровская О.Г., Кулагин В.А., Сапожникова Е.С. Современные компоновки технологических схем очистки сточных вод с использованием кавитационной технологии, *Журнал СФУ. Техника и технологии*, 2015. 8(2). 217–223 [Dubrovskaya O. G., Kulagin V.A., Sapozhnikova E. S. Modern layouts of technological schemes for wastewater treatment using cavitation technology, *J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol.*, 2015. 8(2), 217–223 (in Rus.)].
- [10] Евстигнеев В.В., Кулагин В.А. Кавитация в технологиях очистки сточных вод, *В мире научных открытий*, 2010, 5–1, 87–90 [Evstigneev V.V., Kulagin V.A. Cavitation in wastewater treatment technologies, *In the world of scientific discoveries*, 2010, 5–1, 87–90 (in Rus.)].
- [11] Дубровская О.Г. *Технология гидротермодинамической обработки природных и сточных вод с использованием эффектов кавитации*, Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.14.04, 05.23.04, Красноярск, СФУ, 2007. 22 с [Dubrovskaya O.G. *Technology of hydrothermodynamic treatment of natural and waste waters using the effects of cavitation*, Abstract dis. ... Cand. tech. Sciences: 01.14.04, 05.23.04, Krasnoyarsk, SFU, 2007. 22 p. (in Rus.)].
- [12] Dubrovskaya O. G., Kulagin V. A. Intensification of the process sorption cleaning oily waste with the use hydrothermodynamic effects of cavitation, *J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol.*, 2016, 9(2), 268–279, DOI: 10.17516/1999–494X-2016–9–2–268–279.
- [13] Dubrovskaya O. G., Kulagin V. A. Non-reagent cleaning of industrial wastewater, containing heavy metals based on technology of hydrothermodynamic cavitation, *J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol.*, 2019, 12(4), 460–467. DOI: 10.17516/1999–494X-0153.
- [14] Dubrovskaya O. G., Kulagin V. A., Limin Yao. The alternative method of conditioning industrial wastewater containing heavy metals based on the hydrothermodynamic cavitation technology, *J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol.*, 2020, 13(8), 991–1001. DOI: 10.17516/1999–494X-0280.
- [15] Дубровская О.Г., Кулагин В.А., Сапожникова Е.С., Фэнг-Чэнь Ли, Цянь Ли, Чжи-Ин Чжэн. Математическое моделирование кавитационных процессов при кондиционировании промышленных сточных вод, *Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии*. 2015 8(3) 369–376 [Dubrovskaya O. G., Kulagin V. A., Sapozhnikova E. S., Feng-Chen Li, Qian Li, Zhi-Ying Zheng

Mathematical modeling of cavitation processes in the conditioning of industrial wastewater, *J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol.*, 2015, 8(3), 369–376 (in Rus.).

[16] Kulagin V. A., Moskvichev V. V., Makhutov N. A., Markovich D. M., Shokin Yu. I. Physical and Mathematical Modeling in the Field of High-Velocity Hydrodynamics in the Experimental Base of the Krasnoyarsk Hydroelectric, *Plant Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2016, Vol. 86(6), 454–465. DOI: 10.1134/S 1019331616060034.

[17] Демиденко Н. Д., Кулагин В. А., Шокин Ю. И. *Моделирование и вычислительные технологии распределенных систем*. Новосибирск, Наука, 2012, 424 с. [Demidenko N. D., Kulagin V. A., Shokin Yu. I. *Modeling and Calculating the Technology of Distributed Systems*, Nauka, Novosibirsk, 2012, 424 p. (in Rus.).]

[18] Ивченко В. М., Кулагин В. А., Немчин А. Ф. *Кавитационная технология*, ред. Г. В. Логвинович. Красноярск, Изд-во КГУ, 1990, 200 с. [Ivchenko V. M., Kulagin V. A., Nemchin A. F. *Cavitation Technology*, Ed. by G. V. Logvinovich. Krasnoyarsk, Izd. KGU, 1990, 200 p. (in Rus.).]