

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ



УДК 628.336.3:621.385.6

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.8

В.И. КИЧИГИН
М.В. ЗЕМЛЯНОВА
Е.И. ВЯЛКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING MICROWAVE RADIATION
FOR THE TREATMENT OF LIQUID MUNICIPAL WASTE

Статья посвящена вопросу изучения влияния сверхвысокочастотного электромагнитного излучения (СВЧ ЭМИ) на свойства осадков сточных вод. Показана возможность использования СВЧ-излучения для их обработки. Приведены результаты экспериментов, подтверждающие положительное влияние исследуемого технологического процесса на степень и скорость уплотнения смеси осадков и активного ила, улучшение их влагоотдачи, увеличение выхода примесей тяжелых металлов в декантированную воду, снижение удельного сопротивления фильтрации и капиллярного всасывания осадка, изменение пространственной структуры осадков. Предложена гипотеза действия СВЧ ЭМИ на осадки сточных вод.

Ключевые слова: осадки стоков, сверхвысокочастотное электромагнитное излучение, обработка осадков, уплотнение, влагоотдача, удельное сопротивление фильтрации, структура осадков, скорость нагрева

Проблема экологии природных источников воды и прилегающих территорий напрямую связана с вопросом накопления и утилизации отходов жизнедеятельности человека, который является одним из самых трудно решаемых в нашей стране и за рубежом.

В России ежегодно образуется около 4,5 млрд. т отходов, и в настоящее время их общий накопленный неутилизованный объем составляет примерно 82 млрд т. В стране практически не развита вторичная переработка и использование отходов, в том числе осадков сточных вод (ОСВ). На коммунальных предприятиях РФ в результате обработки сточных вод ежегодно образуется до 80 млн. м³ осадков

The article is devoted to the study of the influence of microwave electromagnetic radiation (UHF EMP) on the properties of sewage sludge. The possibility of using microwave radiation for their processing is shown. The results of experiments confirming the positive effect of the process under study on the degree and speed of compaction of a mixture of precipitation and activated sludge, improvement of their moisture yield, an increase in the yield of heavy metal impurities in decanted water, a decrease in the specific resistance of filtration and capillary suction of the sediment, precipitation. A hypothesis is proposed for the effect of UHF EMP on wastewater sludge.

Keywords: sewage sludge, ultrahigh-frequency electromagnetic radiation, sediment treatment, compaction, moisture recovery, specific filtration resistance, precipitation structure, heating rate

с влажностью 96–97 %, или 2,5–3,0 млн. т по сухому веществу [1, с. 8].

Общее положение дел в сфере накопления, переработки и утилизации жидких коммунальных отходов населенных пунктов остается достаточно сложным – практически все они (за исключением некоторых крупных очистных станций, например в Москве, Санкт-Петербурге и Уфе) либо накапливаются на полигонах, либо утилизируются по «серым» схемам.

Количество осадков, образующихся в результате седиментации загрязнений из сточных вод, достаточно велико. Например, на городских очистных сооружениях канализации (ГОСК) Москвы их ежегодно образуется 25–30 тыс. м³, на очистных

сооружениях Новосибирска – 90–110 т/сут (по сухому веществу), в Алтайском крае общее количество сухого осадка, поступающего на иловые площадки, превышает 20 000 т/год. На ГОСК Нижнего Новгорода объём осадков составляет примерно 4 000 м³/сут [1], а на очистных сооружениях канализации Тюмени – около 12 460 т/год [2].

Осадки сточных вод содержат до 80 % органических и 20 % минеральных примесей. В их состав входят вещества, обладающие общетоксическими, токсикогенетическими, канцерогенными и другими негативными свойствами. В них могут содержаться тяжёлые металлы (Cr, Cd, Hg, Cu, Pb, Co, Zn, Mo и др.), патогенные организмы (бактерии, простейшие, гельминты, вирусы), нитраты, пестициды, эфиры, фенолы и другие опасные вещества.

Разносторонний видовой состав препятствует утилизации осадков в качестве сельскохозяйственных удобрений, несмотря на высокое содержание органических веществ. Согласно ГОСТ Р 54535-2011 «Ресурсосбережение. Осадки сточных вод» и Приказу Министерства природных ресурсов РФ от 15.06.2001 г. № 511 «Об утверждении критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды», осадки бытовых сточных вод относятся к III и IV классам опасности. Нормативный период самовосстановления природных кластеров составляет 10 и 3 года соответственно для осадков III и IV классов опасности. Однако, как показал опыт, высокая зараженность осадков гельминтами не снижается и после более длительных сроков хранения. Кроме того, ионы металлов способны активно мигрировать при выпадении дождей, таянии снега или сезонном подтоплении территорий. Накопления необезвреженных осадков занимают огромные площади, ухудшают санитарно-эпидемиологическое состояние территорий и со временем приводят к серьёзному утнетению окружающей среды.

К сожалению, только 10–15 % всех образующихся осадков в нашей стране обрабатываются по необходимой технологии, включающей в себя уплотнение, стабилизацию, обезвреживание и организованную утилизацию или удаление с территории очистных сооружений. Поэтому в современных условиях решение проблем обработки и утилизации ОСВ является наиболее актуальным для отечественных канализационных очистных сооружений и одним из важных вопросов обеспечения экологического и санитарного благополучия населения [1, 3].

К перспективным способам обработки ОСВ относятся использование комбинированных аппаратов для обезвоживания и термической сушки осадков, физические методы обработки и обезвреживания, технологии удаления тяжёлых металлов [4]. К физическим методам обработки ОСВ относится использование физических полей, например магнитных [5], а в последние годы особенно электромагнитных полей сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона, изу-

чение влияния которого на свойства объектов живой и неживой природы в СССР началось в 60-е гг. XX в. Наибольший интерес представляет СВЧ электромагнитное неионизирующее излучение в наиболее активном диапазоне волн (10^{-1} – 10^{-2} м), обладающее выраженным дезинфицирующим эффектом. Было отмечено [6], что магнитное и электромагнитное излучения обладают широким спектром воздействия на различные водные системы: повышаются температура, адсорбция и растворение веществ; изменяется поверхностное натяжение воды; увеличиваются концентрация кислорода и его окислительная активность; ускоряются кристаллизация и коагуляция; уменьшается степень смачивания водой твёрдых поверхностей; повышается скорость испарения; изменяются электрохимические процессы.

Ряд исследователей [6,7] отмечали, что под действием СВЧ-излучений средней и высокой интенсивности действительно происходит значительное повышение температуры биологических объектов и возникает антибактерицидный эффект. Ими получен значительный клинический и экспериментальный материал, не укладывающийся в рамки тепловой концепции. Например, было обнаружено отчетливое действие на организм СВЧ-излучений малой интенсивности, когда температура повышалась несущественно – даже в случае нагревания биологических объектов. Выраженность и направленность СВЧ-эффектов, а иногда даже их характер существенно отличались от эффектов действия конвективного тепла при одинаковой действующей энергии.

По мнению ряда авторов [8,9] биологическое воздействие электромагнитных полей радиочастот характеризуется *тепловым действием и нетепловым эффектом*. Под тепловым действием гигиенисты [10] понимают интегральное повышение температуры тела или отдельных его частей при общем или локальном облучении и считают, что *нетепловой эффект* связан с переходом электромагнитной энергии в объекте в нетепловую форму энергии, а именно в энергию молекулярного резонансного истощения, фитохимической реакции и другие виды.

Исследованием влияния электромагнитных волн на изменение свойств осадков сточных вод было доказано [11], что использование определенных электромагнитных полей повышает активность биоценоза комплекса биологической очистки и до 40 % увеличивает окислительную мощность канализационных аэрационных сооружений. В работе [10] было показано, что СВЧ-обработка активного ила с предприятий пищевой промышленности приводит к существенному увеличению скорости его осаждения и степени уплотнения, а в работе [12] было отмечено, что микроволновая обработка осадков сточных вод позволяет обеспечить эффективное удаление примесей тяжёлых металлов. В Китае [13] изучали изменение обезвоживаемости активного ила после СВЧ-обработки, а в Польше [14] – вопросы возможности применения

микроволновой энергии для кондиционирования различных смесей осадка и активного ила.

На сегодня известны способы магнитной и СВЧ-обработки некоторых стоков и осадков. Например, безреагентной обработки и обезвреживания осадков сточных вод [15]; обеззараживания промышленных сточных вод в импульсном электромагнитном устройстве [16]; антибактериальной обработки потока жидкой среды посредством воздействия на закрученный поток жидкости магнитным и электрическим полями [17]; безреагентной очистки сточных вод и обеззараживания брикетов осевшего ила в СВЧ-печах [18]. Е.В. Левиным [19] создана и запатентована установка для СВЧ-обработки осадков сточных вод, обеспечивающая непрерывность их обезвреживания до влажности 60-90 %.

Однако вопросы влияния СВЧ электромагнитного излучения на процессы обработки осадков сточных вод и преимущества данного метода пока недостаточно изучены. Настоящие эксперименты

по изучению влияния электромагнитных волн на степень уплотнения и свойства осадков проводились в химической лаборатории городских очистных сооружений канализации г. Тюмени. Электромагнитная обработка осуществлялась в СВЧ-печи промышленного производства мощностью 0,8 кВт и на авторской опытной СВЧ-установке «Поток ЭМ-1» проточного типа [20].

Было установлено (рис.1), что СВЧ-обработка положительно влияла на степень и скорость уплотнения смеси осадков из первичных отстойников и избыточного активного ила. Так, объём осадков в среднем снижался на 37,5 %. Активный ил уплотнялся на 33 % интенсивнее, чем смесь осадков. Электромагнитная обработка смеси осадков повышала влагоотдачу. Так, при облучении осадков в течение 5 мин продолжительность капиллярного всасывания осадков уменьшалась в среднем в 1,2 раза (в сравнении с необработанным осадком), а влажность снижалась на 3–4 %.

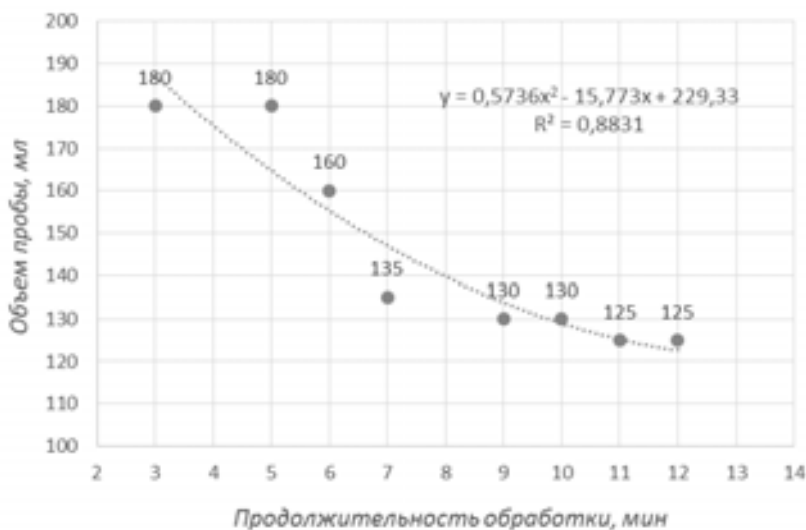


Рис. 1. Зависимость изменения объема неуплотнённого осадка от продолжительности его обработки СВЧ ЭМИ

Улучшались и другие свойства осадков. Например, удельное сопротивление фильтрации снижалось в среднем в 5,4 раза (рис. 2), зольность увеличивалась на 6,1 % (рис. 3), существенно уменьшалось прилипание к поверхностям, отсутствовала загниваемость осадков в течение двух суток после обработки (наступала его стабилизация), происходила практически полная дезинфекция осадков, увеличивался выход примесей тяжёлых металлов в декантированную воду (см. таблицу). Значительно изменялась пространственная структура осадков (она становилась мелкодисперсной, более равномерной, в сравнении с традиционной термической обработкой).

Попутно отметим, что в процессе исследований было обнаружено пока малообъяснимое явление

(рис. 4), при котором удельное сопротивление фильтрации смеси осадков при продолжительности их СВЧ-обработки до 4,5 мин сначала снижалось с $37,2 \cdot 10^{10}$ до $6 \cdot 10^{10}$ г/см³, а к восьмой минуте обработки – возрастало до 20,5 г/см³ (в 3,4 раза). Таким образом, продолжительность СВЧ-обработки осадка в течение 4-5 мин можно считать оптимальной.

Можно предположить следующую гипотезу действия сверхвысокочастотного электромагнитного излучения (СВЧ ЭМИ) на осадки сточных вод. Учитывая, что пространственная структура осадков сточных вод является коллоидной системой, включающей мелкодисперсные твёрдые частицы с суммарным отрицательным электрическим зарядом на поверхности коллоидных частиц, который вызывает

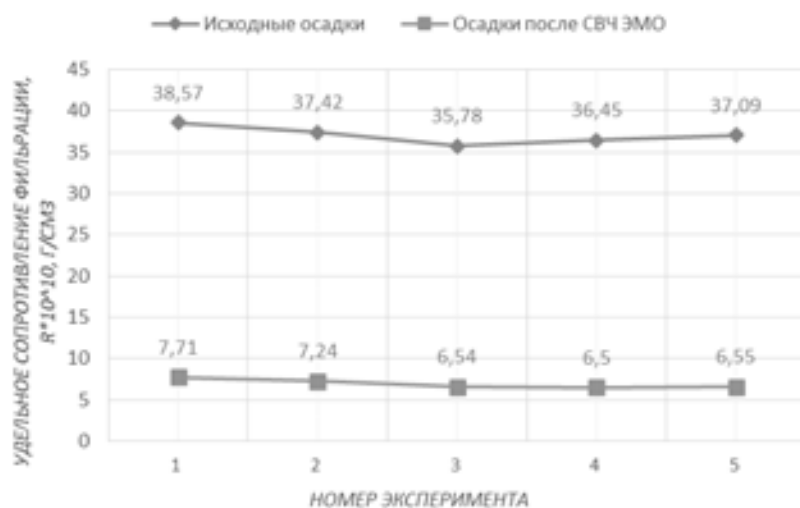


Рис. 2. Сравнение удельного сопротивления фильтрации исходной смеси осадков и осадков после СВЧ-обработки

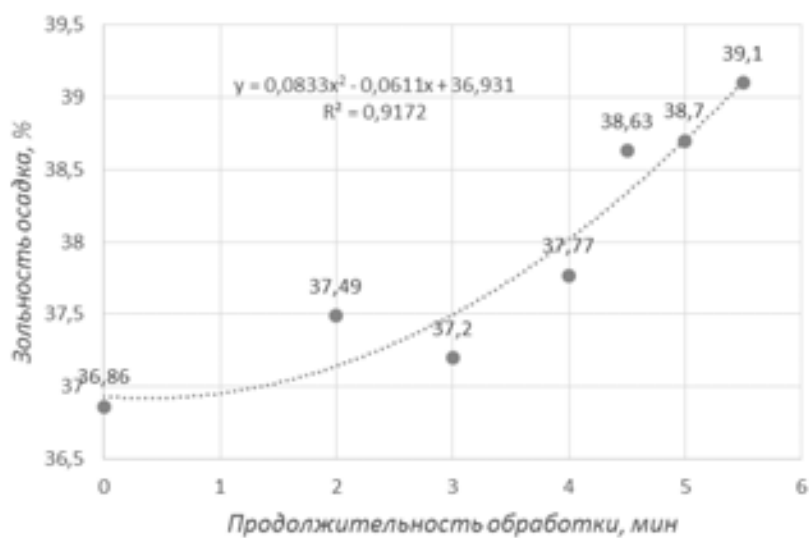


Рис. 3. Зависимость изменения зольности неуплотнённого осадка от продолжительности его обработки в СВЧ ЭМИ

Выход ионов тяжёлых металлов в декантированную воду

Показатель	Содержание ионов металлов в декантированной воде, г/дм ³	
	без СВЧ-обработки	после СВЧ-обработки
Мышьяк	<0,002	0,004±0,002
Никель	0,011±0,003	0,020±0,006
Ртуть	0,013±0,008	0,017±0,010
Свинец	0,002±0,001	0,002±0,001
Хром (6+)	0,114±0,052	0,218±0,100



Рис. 4. Зависимость удельного сопротивления фильтрации смеси осадков от продолжительности их СВЧ-обработки

взаимное отталкивание, поэтому система устойчива и осадки не поддаются ни осаждению, ни фильтрованию [21, с. 18-35]. Обработка осадков сточных вод СВЧ ЭМИ приводит к разрыву сольватных оболочек вокруг частичек осадка, образованию диссоциированных молекул и свободных радикалов, снижению величины электрических зарядов частиц (то есть величины их дзета-потенциала) и возникновению условий смещения равновесия коллоидных систем и, как следствие, к улучшению влагоотдающих свойств осадков. За счёт повышения температуры осадка увеличивается испарение влаги, что ведет к уменьшению его объёма. Повышение активности кислорода ускоряет окислительные процессы разложения органики, которые дают *полезные побочные эффекты*: разрушение клетчатки, снижение активности ферментов клетки микроорганизмов, дезинфекцию и уничтожение патогенных бактерий и яиц гельминтов. Все это существенно расширяет возможность повторного использования осадков, например, в качестве удобрения.

Выводы. 1. Обоснована и экспериментально подтверждена эффективность использования микроволнового излучения в процессах обработки осадков городских сточных вод. Установлено, что комбинированный эффект СВЧ-излучения дает ряд преимуществ по сравнению с обычным электротермическим нагревом, которые могут быть использованы в технологиях очистки воды и обработки жидких коммунальных отходов. Предложена гипотеза механизма действия сверхвысокочастотного электромагнитного излучения на осадки сточных вод.

2. Установлено, что при СВЧ-обработке объём осадков в среднем снижался на 37,5 %, активный ил уплотнялся на 33 % интенсивнее, чем смесь осадков, улучшалась его влагоотдача. СВЧ-облучение осадков в течение 5 мин снижало продолжительность капиллярного всасывания осадков в среднем в 1,2 раза

(в сравнении с необработанным осадком) и снижало влажность на 3–4 %. Удельное сопротивление фильтрации снижалось в среднем в 5,4 раза, зольность увеличивалась на 6,1 %, отсутствовала загниваемость осадков в течение двух суток после обработки (наступала его стабилизация), происходила практически полная дезинфекция осадков, увеличивался выход примесей тяжёлых металлов в декантированную воду. Продолжительность СВЧ-обработки осадка в течение 4–5 мин можно считать оптимальной.

3. На основании полученных результатов исследования требуется разработка новых аппаратов, устройств, оборудования и технологических схем малых канализационных очистных станций. Внедрение технологий с использованием СВЧ ЭМИ может значительно улучшить ситуацию с утилизацией жидких коммунальных отходов на станциях малой производительности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кичигин В.И., Палагин Е.Д. Обработка и утилизация осадков природных и сточных вод / СГАСУ. Самара, 2008. 204 с.
2. Технологический регламент очистки сточных вод ГОСК г. Тюмени, 2009.
3. Беляева С.Д., Гюнтер Л.И. Управление осадками сточных вод – важнейшая экологическая проблема // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 1. С. 5–9.
4. Туровский И.С. Осадки сточных вод. Обезвреживание и обеззараживание. М.: ДеЛи принт, 2008. 376 с.
5. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1978. 240 с.
6. Девятков Н.Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона длин волн на биологические объекты // Успехи физических наук. 1973. Т. 110, вып. 3. С. 453–454.
7. Исмаилов Э.Ш. Биофизическое действие СВЧ-излучений. М.: Энергоатомиздат, 1987. 144 с.

8. Zou T., Li H., Zhao N., Shi C. Electromagnetic and microwave absorbing properties of multi-walled carbon nanotubes filled with Ni nanowire [text] // Journal of Alloys and Compounds. 2010. Vol. 496. №1. Pp. 22–24.
9. Сапунов Г.С. Влияние СВЧ излучения на биологические объекты // Elremont.ru/ Микроволновые печи 2007. Режим доступа: http://www.elremont.ru/svch/bt_rem19.php (дата обращения: 5.11.2017).
10. Гапоненков И.А. СВЧ-обработка осадков сточных вод пищевых производств // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16. № 4. С. 681–686.
11. Никифорова Л.О. Интенсификация работы аэротенка с использованием избыточной энергии потока возвратного активного ила: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пенза: ПГАСА, 2002. 124 с.
12. Капустин В.И., Коржавый А.П. Новая безреагентная технология для очистки питьевой воды и осадков сточных вод // Состояние и охрана окружающей среды в Калуге: информационный обзор. Калуга, 2009. 42 с.
13. Qiang Yu. Physical and chemical properties of waste-activated sludge after microwave treatment // Water research. 2010. № 44. Pp. 2841–2849.
14. Wojciechowska E. Application of microwaves for sewage sludge conditioning // Water research. 2005. № 39. Pp. 4749–4754.
15. Патент RU 2569533 C1, C02F11/00. Безреагентный способ обработки и обеззараживания осадков сточных вод. 2014.
16. Патент RU 2123477 C1. Способ обеззараживания промышленных сточных вод. 1996.
17. Патент RU 2376247 C2, МПК C02F1/48. Способ антибактериальной обработки потока жидкой среды. 2006.
18. Патент RU 2431610 C2, МПК C02F9/12. Комплексный способ безреагентной очистки сточных вод и брикетирования ила. 2011.
19. Патент RU 2582415 C2, МПК C02F11/00. Установка СВЧ-обработки осадков сточных вод. 2014.
20. Землянова М.В. Новый способ улучшения водоотдающих свойств осадков сточных вод [Электронный ресурс] // Сборник докладов международной конференции «Обработка и утилизация осадка сточных вод в коммунальном хозяйстве и промышленности». М., 2015. Режим доступа: <https://onedrive.live.com/redir?resid=423D4F47E402C445%212908> (дата обращения: 10.05.2015).
21. Кичигин В.И. Агрегация загрязнений воды коагуляцией. М.: Изд-во АСВ, 1997. 100 с.

Об авторах:

КИЧИГИН Виктор Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)339-14-11
E-mail: kichigin.viktr@rambler.ru

ЗЕМЛЯНОВА Марина Витальевна

старший преподаватель кафедры водоснабжения и водоотведения Тюменский индустриальный университет 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, тел. (3452) 53-92-98
E-mail: zemljanovamv@tyuiu.ru

ВЯЛКОВА Елена Александровна

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Тюменский индустриальный университет 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, тел. (982)789-53-54
E-mail: vjalkovaei@tyuiu.ru

KICHIGIN Viktor I.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 tel. (846)339-14-11
E-mail: kichigin.viktr@rambler.ru

ZEMLYANOVA Marina V.

Senior Lecturer of the Water Supply and Wastewater Chair Tumen State Industrial University 625000, Russia, Tyumen, Volodarskogo str., 38, tel. (3452) 53-92-98
E-mail: zemljanovamv@tyuiu.ru

VYALKOVA Elena A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair Tumen State Industrial University 625000, Russia, Tyumen, Volodarskogo str., 38, tel. (982)789-53-54
E-mail: vjalkovaei@tyuiu.ru

Для цитирования: Кичигин В.И., Землянова М.В., Вялкова Е.И. Исследование возможности использования СВЧ-излучения для обработки жидких коммунальных отходов // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, № 1. С.44-49. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.8.

For citation: Kichigin V.I., Zemlyanova M.V., Vyalkova E.I. Study of the possibility of using microwave radiation for the treatment of liquid municipal waste // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 44-49. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.8.