УДК 658.567.1

## ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ УТИЛИЗАЦИИ ПРОДУКТОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цыбина А.В., Дьяков М.С., Вайсман Я.И.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, e-mail: dyakov-m@live.ru

В статье рассматриваются перспективные термические методы переработки крупнотоннажного отхода биохимических очистных сооружений — осадков сточных вод (ОСВ). При использовании термических методов образуются вторичные отходы переработки ОСВ, такие как зола и пиролизат, которые в настоящее время практически не используются и размещаются в окружающей среде на специализированных площадках — полигонах. Решение о выборе оптимального направления использования рассматриваемых вторичных отходов переработки ОСВ принималось на основе принципа соответствия требованиям, предъявляемым к наилучшим доступным технологиям. Для оценки соответствия этим требованиям авторами был разработан комплексный критерий, позволяющий оценивать экономическую целесообразность и эффективность рассматриваемого подхода. Анализ литературы показал, что существует практика использования отходов различных производств в качестве добавок при производстве керамических строительных материалов. Авторами исследована возможность использования золы от сжигания ОСВ и органоминеральной композиции, образующейся при пиролизе, в качестве альтернативы выгорающим и отощающим добавкам природного происхождения в кирпичном производстве. На основе результатов проведенного анализа предложен комплексный подход, позволяющий безопасно обезвредить ОСВ термическими методами с последующим использованием получаемых продуктов в производстве керамического кирпича.

Ключевые слова: осадки сточных вод, зола, сжигание, пиролиз, кирпичное производство, выгорающая и отошающая лобавки

# PROMISING WAY OF RECYCLING SEWAGE SLUDGE HEAT TREATMENT PRODUCTS IN MANUFACTURE OF CERAMIC BUILDING MATERIALS

Tsybina A.V., Dyakov M.S., Vaysman Y.I.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: dyakov-m@live.ru

We have considered promising thermal processing methods of large-scale waste – sewage sludge. Secondary waste (ash and pyrolysate) formed when applying thermal treatment methods, currently is not being used; it is being placed in landfills. Optimal application of the considered secondary waste has been chosen on the basis of compliance with the best available techniques requirements. We have developed a comprehensive criterion that allows evaluating economic feasibility and effectiveness of the considered approach. Scientific and technical literature analysis has shown that there is a practice of using various waste products as additives in manufacture of ceramic building materials. We have analyzed the possibility of using ash and pyrolysate of thermally processed sewage sludge as combustible and thinning additives in brick fabrication, alternatively to additives of natural origin. On the basis of the results of this analysis we have proposed a comprehensive approach to the problem of safe neutralization of sewage sludge by means of thermal methods with subsequent use of the products obtained in the manufacture of ceramic bricks.

Keywords: sewage sludge, ash, incineration, pyrolysis, brick fabrication, combustible additive, thinning agent

экологической пробле-Актуальной мой является поиск эффективных способов утилизации многотоннажного отхода - осадка, образующегося при очистке городских и промышленных сточных вод. В Российской Федерации проблема утилизации осадка сточных вод (ОСВ) решается преимущественно путем его предварительного обезвоживания с последующим захоронением на полигонах совместно с твердыми бытовыми отходами [2], размещением в иловых прудах или илонакопителях. ОСВ является многокомпонентным, ным, биологически опасным (поскольку содержит тяжелые металлы и патогенные микроорганизмы) отходом процесса очистки сточных вод, требующим значительных территорий для его последующего разме-

щения и/или захоронения. Для размещения ОСВ необходимо создавать дорогостоящие ремонтопригодные сооружения с длительным периодом эксплуатации, поскольку процесс биодеградации отхода является продолжительным во времени.

В процессе биологической деградации ОСВ происходит вторичное загрязнение объектов окружающей среды под действием эмиссий в атмосферный воздух (СО<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, СН<sub>4</sub> и др.), подземные и поверхностные воды (соединения, содержащие тяжелые металлы, и др.). При этом выводятся из хозяйственного оборота значительные земельные ресурсы, которым в дальнейшем не могут быть возвращены их первоначальные функции без проведения высокозатратных рекультивационных работ и санации

вследствие изменения морфологического состояния поверхности и аккумуляции токсичных веществ в объектах накопления.

В мировой практике основными методами утилизации ОСВ являются их захоронение, использование в качестве удобрений в сельском хозяйстве, термические методы переработки (сжигание и пиролиз). Широкое применение странами Европейского союза (ЕС) стратегии и технологических приемов, направленных на наиболее полное использование задолженного в ОСВ потенциала (материального ресурсного и энергетического) в известной степени обусловлено ограниченностью таких ресурсов, как ископаемое сырье для производства минеральных удобрений, свободные площади для депонирования ОСВ, первичные энергетические ресурсы. При этом существенное влияние на выбор метода утилизации осадков оказывает преобладающий профиль предприятий реального сектора экономики государства. В странах с развитым агропромышленным комплексом, таких как Кипр или Испания, ОСВ с приемлемым уровнем содержания тяжелых металлов (ТМ) утилизируются в основном путем использования в сельском хозяйстве в качестве удобрения. В европейских странах с развитой индустриальной экономикой, таких как Германия, Австрия, Нидерланды, широко используются термические способы утилизации ОСВ. Это обусловлено как высоким уровнем развития доступных к использованию технологий, так и действующими законодательными нормами, устанавливающими строгие ограничения на качество отходов, направляемых на захоронение, особенно в части содержания в них органического углерода, других органогенов и ТМ [4].

В настоящее время в странах, располагающихся в акватории Балтийского моря, использование ОСВ в качестве удобрений имеет весьма ограниченный характер, и предпочтение отдается термическим методам. Это связано с тем, что последние обладают рядом существенных преимуществ, в частности, позволяют значительно снизить объем и массу утилизируемого отхода и минимизировать негативное воздействие ОСВ на окружающую среду. Вместе с тем утилизация ОСВ термическими методами сопряжена с рядом проблем.

Основная проблема, возникающая при сжигании осадка, заключается в образовании продуктов сгорания, содержащих токсичные соединения. Поэтому при разработке безопасных технологий сжигания отходов в первую очередь внимание уделяется поиску эффективных способов очистки отходящих газов от загрязняющих

веществ. Современный уровень развития технологий очистки пылегазовых выбросов достаточно высок и позволяет снизить до приемлемого уровня концентрацию загрязняющих веществ в отходящих газах и довести их содержание до нормативного уровня. Благодаря этому объекты по термическому обезвреживанию ОСВ можно размещать в черте города — примерами являются заводы по сжиганию ОСВ в России, г. Санкт-Петербург, и в столице Австрии — г. Вена. Технология, применяемая на этих заводах, включает несколько ступеней очистки пылегазовых выбросов, что делает очистку высокоэффективной (более 99,9%) [12].

Помимо высоко загрязненных отходящих газов, при сжигании ОСВ образуется зола, также содержащая в себе токсичные соединения, в частности, ТМ, и ряд токсичных продуктов, входящих в состав недожога.

Зола, образующаяся при сжигании ОСВ, представляет собой легкий, пылящий, тонкодисперсный порошок, состоящий из мелких частиц (размером от 1–2 до 10–50 мкм) и характеризуется однородностью состава и мономерностью структуры. Основными компонентами золы являются: диоксид кремния, фосфаты железа, кальция; гематит, силикаты кальция, магния, железа, калия, алюминия, натрия [4]. Кроме этих основных компонентов в золе содержатся в существенных количествах ТМ в виде фосфатов и силикатов [8]. Высокая концентрация соединений ТМ характерна для ОСВ, образующихся на промышленных предприятиях. Важно отметить, что некоторые соединения ТМ, находящиеся в золе, при контакте с водой (особенно с кислыми поверхностными или грунтовыми водами) могут переходить в подвижные формы, что способствует их миграции в водные объекты и почву. ТМ и их соединения характеризуются высокой токсичностью, многие из них обладают способностью накапливаться в тканях живых организмов, что определяет их высокую негативную роль при формировании экологической нагрузки на объекты окружающей среды и население.

Несмотря на то, что объем золы, образующейся при сжигании ОСВ, существенно меньше их первоначального объема, при значительных масштабах сжигания ОСВ количество золы достаточно велико. Это определяет необходимость оценки существующих и разработки новых методов и технологий дальнейшего обращения с образовавшейся золой с целью максимального использования задолженного в ней материального ресурсного потенциала и минимизации захоронения неутилизируемых отходов.

В настоящее время известен ряд методов утилизации золы, образующейся при сжига-

нии ОСВ. Наименее предпочтительным из них, но широко используемым является ее захоронение. Существенно реже эта зола используется вместо первичных минеральных материалов (песка, минерального порошка и других) при производстве строительных материалов типа бетона, асфальтобетона, но из-за высокого содержания в ней соединений ТМ и других токсичных компонентов, способных при контакте с водой переходить в подвижную форму, область применения этих материалов строго регламентирована. В результате этого строительные материалы, изготовленные с применением золы, образующейся после сжигания ОСВ, пользуются ограниченным спросом и неконкурентоспособны по сравнению с аналогами, полученными из первичных материалов.

Значительно реже, по сравнению со сжиганием, для термохимической переработки ОСВ применяется пиролиз, который может происходить как при высоких температурах, так и в низкотемпературном режиме без

участия кислорода. В результате пиролиза ОСВ образуется твердый остаток – органоминеральная композиция (ОМК), представляющая собой крупнодисперсный гидрофобный материал черного цвета, подобный карбонизату, образующемуся при пиролизе древесины. ОМК характеризуется повышенным содержанием ТМ, что существенно ограничивает сферы ее практического применения (табл. 1). Проведенные нами исследования показали, что предварительная обработка ОСВ кальцийсодержащим реагентом приводит к уменьшению концентрации ТМ в единице массы ОСВ, а также способствует связыванию серо- и хлорсодержащих соединений в прочные комплексы, устойчивые к разложению в условиях низкотемпературного пиролиза. В результате такой превентивной обработки ОСВ, подвергаемых низкотемпературному пиролизу, получается ОМК, содержащая существенно меньше ТМ, а при пиролизе ОСВ снижается уровень загрязнения пылегазовых выбросов [6].

Таблица 1 Содержание микрокомпонентов в органоминеральной композиции, полученной при пиролизе ОСВ

Микрокомпоненты	Содержание, мг/кг	ПДК для суглинистых кислых почв			
Медь (Си)	$101,8 \pm 18,3$	55			
Свинец (Рb)	$85,5 \pm 12,8$	32			
Кадмий (Cd)	$14.8 \pm 5.6$	24			
Цинк (Zn)	$2724 \pm 299,5$	1000			
Никель (Ni)	$119 \pm 17,9$	50			
Кобальт (Со)	$25,8 \pm 3,6$	50			
Марганец (Мп)	$1075 \pm 75,3$	1000			
Хром (Ст)	$64,9 \pm 9,1$	30			
Мышьяк (As)	$76.8 \pm 10.8$	7			
Ртуть (Hg)	< 0.02	25			

На основе результатов анализа научно-технической литературы и данных собственных исследований можно сделать вывод о том, что такие термические методы утилизации ОСВ, как сжигание и пиролиз, при известных ограничениях по использованию ОСВ в качестве удобрений в настоящее время являются одними из наиболее перспективных, однако их применение сопряжено с рядом проблем. В частности, возникает вопрос об оптимальном способе утилизации вторичных отходов - золы, получаемой при сжигании осадка, и ОМК, образующейся при их пиролизе. Эти отходы, являющиеся опасными в экологическом отношении из-за содержания в них ТМ и других токсичных компонентов, при размещении в окружающей среде могут привести к неприемлемым уровням эмиссии загрязняющих веществ, а наличие в них задолженного ресурсного потенциала определяет целесообразность его использования с целью сокращения потребления первичных материалов и энергоресурсов, а также минимизации размещения в окружающей среде неутилизируемых остатков этих отходов. Это определяет актуальность определения экологически безопасных и экономически доступных направлений использования золы от сжигания ОСВ и ОМК, образующейся при пиролизе ОСВ.

На основе анализа состояния проблемы использования подобного рода отходов в смежных областях науки и техники и полученных результатов собственных исследований нами были разработаны методические подходы по принятию решений при выборе оптимального направления использования золы и ОМК, образующихся при использовании термических методов

переработки ОСВ с учетом их характерных особенностей (многотоннажности, наличия в их составе наряду с задолженным ресурсным потенциалом опасных в экологическом отношении компонентов, способных мигрировать в объекты окружающей среды), существенно ограничивающих возможные области их применения.

В основу методических подходов по принятию решения при выборе оптимального направления использования этих отходов был заложен принцип соответствия требованиям, предъявляемым к наилучшим доступным технологиям (НДТ) [1]. Соответствие этим требованиям оценивалось с помощью разработанного нами комплексного критерия для оценки возможных направлений, включавшего следующие компоненты:

- обеспечение приемлемого уровня экологической и промышленной безопасности при обращении с отходами на протяжении всего их жизненного цикла;
- экономическая целесообразность и доступность использования задолженного в отходах ресурсного потенциала в целях получения востребованных на рынке и конкурентоспособных вторичных материалов и изделий, полученных на их основе;
- техническая возможность реализации технологий переработки этих отходов в промышленных масштабах;
- экономическая целесообразность и эффективность выбранного направления использования отходов.

На основе анализа состояния проблемы использования отходов термической переработки ОСВ в Российской Федерации и в зарубежных странах (Германии, Австрии) и собственных предварительных исследований было установлено, что в основном золошлаковые отходы, образующиеся при этих методах переработки ОСВ, направляются на захоронение.

Известно, что золошлаковые отходы, образующиеся при сжигании углеводородного топлива на ТЭЦ, используются при производстве цемента, а также вместо инертных минеральных добавок при производстве строительных материалов, применяемых в дорожном строительстве. Оба эти направления (захоронение и использование в качестве минеральных добавок при производстве цемента и дорожных материалов) не соответствуют принципам наилучших доступных технологий (НДТ), так как при захоронении не используется задолженный в отходах ресурсный потенциал, а при использовании в производстве цемента и дорожных строительных материалов не обеспечивается приемлемый уровень экологической безопасности из-за возможной эмиссии загрязняющих веществ [7].

С учетом этого нами было рассмотрено как одно из наиболее перспективных направление использования золы от сжигания ОСВ и ОМК, образующейся при пиролизе, в производстве керамических строительных материалов.

При производстве керамических материалов, которое является одним из наиболее материалоемких, широко используются отощающие и выгорающие добавки в виде природных (горный или аллювиальный песок) или отходных материалов. Известна практика широкого применения различных выгорающих добавок природного происхождения, а также подобных им по составу и свойствам отходов производства и потребления.

В настоящее время известен ряд исследований, посвященных изучению свойств керамических строительных материалов, полученных с использованием в качестве добавок отходов разных производств [5, 10, 11]. Наиболее часто для этих целей применяется зола и другие отходы ТЭЦ. К основному материалу (глине) добавляют также отходы цветной металлургии, деревообрабатывающей, кожевенной, пищевой, табачной промышленности, ОСВ и пр.

Производители керамических строительных материалов сегодня сталкиваются с необходимостью увеличения объема и расширения номенклатуры выпускаемых изделий путем уменьшения зависимости от свойств глин того региона, на территории которого расположено предприятие. Добиться этого можно с помощью изменения состава сырьевых смесей при помощи добавления различных дополнительных компонентов.

Добавки вводят в глину, используемую для производства керамических изделий, для управления такими свойствами глиняной массы, как пластичность, воздушная усадка, огнеупорность и спекаемость. Из известного широкого набора добавок, применяемых при производстве кирпича, наиболее часто используют выгорающие и отощающие добавки.

Отощающие добавки (отощители) вводят в высокопластичные глины, которые дают значительную усадку при сушке и обжиге (до 15%). В качестве отощающих добавок применяются вещества неорганического происхождения: кварцевый песок, шамот (обожженная и измельченная глина), бой изделий, молотый шлак и зола. Отощающие вещества, равномерно распределенные в глиняной массе, создают своего рода скелет, препятствующий изменению формы изделия. Правильно подобранный отощитель корректирует природные свойства сырья и позволяет улучшить

его формовочную способность, уменьшить воздушную усадку сырца и улучшить его сушильные свойства [9].

Выгорающие органические добавки применяются для получения изделий с меньшей средней плотностью и повышенной пористостью. Выгорающие добавки, будучи по размерам крупнее частиц глины, обволакиваются ими. При обжиге добавки выгорают, оставляя поры между взаимно связанными частицами глины, образующими прочностной каркас изделий. Наиболее часто в качестве выгорающих добавок при производстве кирпича используют древесные опилки, угольную мелочь и угольный порошок, торфяную пыль. Еще одно преимущество использования выгорающих добавок заключается в сокращении расхода топлива, которое является одной из основных статей затрат помимо основного сырья в составе производственных расходов при изготовлении кирпича.

При введении добавок большое значение имеет количество добавки и размер зерен. Излишек добавок может вызвать обратный эффект и отрицательно сказаться на качестве, прочностных и других свойствах конечного продукта.

До недавнего времени в качестве отощителей и выгорающих добавок российскими производителями кирпича применялись в основном природные материалы, такие как песок и опил. Однако существует ряд факторов, препятствующих использованию в данных целях природного сырья. Так, использование опила в качестве добавки сопряжено с рядом проблем. У производителей кирпича зачастую возникают трудности с тем, чтобы найти достаточное количество опила требуемого качества на территории того же региона, где расположен кирпичный завод. Кроме того, постоянное повышение цен на горючесмазочные материалы, тарифов на железнодорожные перевозки и значительное транспортное плечо увеличивают себестоимость производства кирпича, что является неприемлемым на развитом конкурентном рынке. Для производства кирпича одной и той же марки весь добавляемый опил должен быть одинаковым по составу и обладать одними и теми же свойствами. В технологическом процессе используется сухой опил. Поэтому предприятие вынуждено либо выделять крытое помещение специально под хранение опила, поддерживать в нем заданную температуру, отапливать в холодное время года, либо, в случае размещения опила на площадке временного хранения на открытом воздухе, подвергать его сушке перед применением в качестве сырья в технологическом процессе.

Кроме этого, в настоящее время расширение объемов производства и/или необхо-

димость экономии на издержках зачастую вынуждает предприятия искать другие, более дешевые материалы для использования в качестве добавок. Такие материалы, как правило, получают из отходов разных производств.

Проведенный нами углубленный анализ состава, структуры, химических и физикомеханических свойств золы от сжигания ОСВ показал, что она характеризуется приемлемой для производства керамических изделий типа керамического кирпича или керамзита однородностью состава и мономерностью структуры. Наличие в составе золы фосфатов железа, кальция, силикатов кальция, магния, железа, калия, алюминия, натрия определяет возможность образования устойчивых связей золы с глиной [8].

Проведенные нами исследования физикохимических свойств ОМК, полученной при пиролизе ОСВ, постоянство ее состава и высокая теплотворная способность позволяют сделать вывод о возможности ее использования в качестве выгорающей добавки при производстве керамического кирпича и керамзита.

Исследования проводились нами на примере золы и ОМК, полученных при термической переработке ОСВ ООО «НОВОГОР-Прикамье» (г. Пермь) — типичного представителя предприятия, занимающегося очисткой сточных вод крупного города — Пермь (один миллион жителей) и крупнейшим представителем отрасли, связанной с производством керамического кирпича в регионе, использующего в качестве основного сырья местные глины (монтмориллонито-каолинитовая группа) и горный песок [3].

Химический состав карьерной глины, используемой в качестве сырья на кирпичном заводе, песка, применяемого в качестве отощающей добавки, и золы от сжигания ОСВ, образующегося при очистке сточных вод ООО «НОВОГОР-Прикамье» (г. Пермь), приведен в табл. 2.

Результаты анализа химического состава сырья, используемого для производства кирпича, и отходов, образующихся при утилизации ОСВ термическими методами (золы от сжигания ОСВ и ОМК, получаемой при их пиролизе), и проведенные лабораторные исследования позволили предположить возможность использования указанных отходов в качестве полезных добавок при производстве кирпича. Свойства ОМК (высокая теплотворная способность, однородность химического состава и физико-механических свойств) позволяют сделать вывод о перспективности его применения не только в качестве выгорающей добавки, но и как отощителя и интенсификатора спекания, что позволяет снизить температуру обжига изделий.

Таблица	2
т аолица	ιZ

Химический состав глины, песка и золы от сжигания ОСВ, % по массе

Ингредиент	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	ZnO	$P_2O_5$	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Глина	18,09	58,28	2,26	8,11	1,30	_	0,19	1,5	0,24
Песок	0,031	98,52	_	0,073	_	_	_	_	_
Зола от сжигания ОСВ	22,0	25,0	9,3	13,1	2,8	1,03	13,0	3,0	2,1

Проведенные нами исследования позволили получить исходные данные для проведения опытно-промышленных испытаний по применению золы от сжигания ОСВ и ОМК, полученной при их пиролизе, для производства керамического кирпича и керамзита. В настоящее время получена опытная партия кирпича на крупнейшем представителе отрасли - производителе керамического кирпича в регионе. Результаты проведенных лабораторных испытаний по определению качественных характеристик кирпича, полученного из традиционных материалов в симбиозе с отходами, образующимися при переработке ОСВ термическими методами по стандартным методикам, позволяют сделать вывод о соответствии их качества стандартным требованиям, предъявляемым к керамическому кирпичу и керамзиту, а их потребительские свойства конкурентоспособны с аналогами - контрольной партией кирпича, изготовленного из первичных материалов.

#### Список литературы

- 1. ГОСТ Р 54097-2010. Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Методология идентификации. Введ. 2012–01–01. М.: Изд-во: Стандартинформ, 2011 г. 10 с.
- 2. ГОСТ Р 54535–2011. Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при размещении и использовании на полигонах. Введ. 2013–01–01. М.: Изд-во Стандартинформ, 2012. 10 с.
- 3. ГОСТ Р 9169-75. Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация. Введ. 1976—07—01. М.: Изд-во: ИПК Изд-во Стандартов, 1975. 7 с.
- 4. Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза N 2000/76/EC от 4 декабря 2000 г. «О сжигании отходов» (European Directive on the Incineration of Waste (2000/76/EC)).
- 5. Использование углеродосодержащих отходов топливно-энергетического комплекса в производстве керамических материалов различного назначения / В.З. Абдрахимов [и др.] // Экология и промышленность России, сентябрь 2013. С. 30–33.
- 6. Применение органоминеральной композиции в качестве сорбента-структуратора при биоремедиации нефтезагрязненных грунтов / Э.Х. Бикмансурова, М.С. Дьяков, [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 12. С. 27–29.
- 7. Справочник наилучших доступных технологий. Министерство природных ресурсов и экологии России М.: Изд-во: Отраслевые ведомости, 2007—2014 г. в 3-х томах.
- 8. Утилизация осадков сточных вод с получением продуктов, обладающих товарными свойствами / И.С. Гуляева, М.С. Дьяков, [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. N2 7. С. 43–49.
  - 9. Чернявский Е.В. Производство кирпича. М., 1966.

- 10. Экологические, теоретические и практические аспекты использования алюмосодержащих отходов в производстве керамических материалов различного назначения без применения природного традиционного сырья / В.З. Абдрахимов [и др.] // Экология и промышленность России. 2013. С. 28–32.
- 11. Cultrone  $\hat{G}$ ., Sebastian E. Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks // Construction and Building Materials. -2009. No 23. P. 1178–1184.
- 12. Stubenvoll J., Böhmer S. Et al. 2002. State of the Art for Waste Incineration Plants. Umweltbundesamt, Vienna.

#### References

- 1. GOST R 54097–2010. Resursosberezhenie. Nailuchshie dostupnye tehnologii. Metodologija identifikacii. (GOST R 54097-2010. Resource-saving. Best available technologies. Identification methodology). Moscow, 2011.
- 2. GOST R 54535–2011. Resursosberezhenie. Osadki stochnyh vod. Trebovanija pri razmeshhenii i ispolyzovanii na poligonah. (GOST R 54535–2011. Resource-saving. Sewage sludge. Conditions of deposition and utilization at landfills). Moscow, 2012.
- 3. GOST R 9169-75. Syrve glinistoe dlja keramicheskoj promyshlennosti. Klassifikacija. (GOST R 9169-75. Clayey raw material for ceramic industry). Moscow, 1975.
  4. Directive 2000/76/EC of the European Parliament and
- 4. Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste (Waste Incineration Directive).
- 5. Abdrahimov V.Z., Hasaev G.R., Kolpakov A.V., Abdrahimov E.S. *Jekologija i promyshlennosti Rossii Ecology and industry of Russia*, 2013, no.9, pp. 30–33.
- 6. Bikmansurova Je.H., D.jakov M.S., Glushankova I.S., Guljaeva I.S., Batrakova V.A. Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse Environmental protection in oil and gas industry, 2008, no.12, pp. 27–29.
- 7. Spravochnik nailuchshih dostupnyh tehnologij. Ministerstvo prirodnyh resursov i jekologii Rossii [Manual on best available technologies. Ministry of Natural Resources and Ecology of Russia]. Moscow, 2007–2014.
- 8. Guljaeva I.S., Dojakov M.S., Glushankova I.S., Belenkij M.B. Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse Environmental protection in oil and gas industry, 2012, no.7, pp. 43–49.
- Chernjavskij E.V. Proizvodstvo kirpicha [Brick fabrication]. Moscow, 1966.
- 10. Abdrahimov V.Z., Hasaev G.R., Abdrahimova E. S., Kolpakov A. V., Roshhupkina I. Ju. *Jekologija i promyshlennosti Rossii Ecology and industry of Russia*, 2013, no.5, pp. 28–32.
- 11. Cultrone G., Sebastian E. Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks // Construction and Building Materials. 2009. no. 23. pp. 1178–1184.
- 12. Stubenvoll J., Böhmer S. Et al. 2002. State of the Art for Waste Incineration Plants. Umweltbundesamt, Vienna.

### Рецензенты:

Пойлов В.З., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь;

Глушанкова И.С., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 11.04.2014.