

18. Delyagin G.N. [Questions of the theory of ignition and combustion of a sprayed water-coal suspension. In: Kinetics and aerodynamics of combustion processes of fuels]. Moscow : Science. 1969. pp. 111–127. (Rus.)
19. Krut O.A. [Water-coal fuel]. Kiev : Naukova Dumka, 2002. 169 p. (Ukr.)
20. Makarov A.S., Eburnov A.I., Boruk S.D., Sochikan O.M. [Highly concentrated suspensions based on waste coal-enrichment. Receiving, rheological characteristics and energy value]. *Khimichna promyslovisht Ukraina [Chemical industry of Ukraine]*. 2007. No. 2. P. 56–60. (Rus.)
21. Makarov A.S., Eburnov A.I., Boruk S.D., Sochikan O.M. [Interaction of dispersed phase particles in highly concentrated water-coal suspensions]. *Ugol' Ukrainy [Coal of Ukraine]*. 2005. Nov. P. 37–39. (Rus.)
22. Eburnov A.I., Makarov A.S., Boruk S.D., Savitsky D.P. [Obtaining water-coal fuel based on brown coal, modified by organic substances]. *Zbahachennya korysnykh kopalyn [Enrichment of minerals]*. 2007. No. 29–30. pp. 156–166. (Rus.)
23. Pat. 75264 UA, C 10 L 1/32. [The method for the preparation of water-and-coal suspension]. O.L. Yegurnov, V.A.Zavgorodnii, A.S.Makarov, O.L. Kokhaniuk, O.M.Krupnyk. Publ. 15.02.2006. (Ukr.)
24. Pat. 102159 UA, C 10 L 1/32. [Alcohol suspension suspension of coal]. D.P.Savitsky, A.S.Makarov, V.A.Zavgorodnii, I.I.Tokarev. Publ. 11.02.2013. Bull No. 3. (Ukr.)
25. Pat. 113871 UA, C 10 L 1/32. [Liquid fuel]. A.S. Makarov, S.D.Boruk, O.I.Egurno, Ya.Yu.Tevtul, O.V.Korenchuk, V.M.Sokolik, N.M.Zapotichna, O.Yu.Lobanov. Publ. 27.03.2013. Bull No. 6. (Ukr.)

Received March 14, 2018

УДК 551.491.3

**Ключ В.П.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **Ключ С.В.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук,  
**Четверик Г.А.<sup>1</sup>**, **Демчина В.П.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> **Институт возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев**  
ул. Гната Хоткевича, 20а, 02094 Киев, Украина, e-mail: biomassa@ukr.net

<sup>2</sup> **Институт газа НАН Украины, Киев**  
ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: boris.ilienko@gmail.com

## Газификация канализационного ила

Канализационный ил является возобновляемым биотопливом. Проблема использования ила обусловлена его высокой влажностью и зольностью. Для уменьшения влажности исходной массы ила предложено добавлять в нее сухую мелкодисперсную биомассу (опилки, сечка соломы). Для проведения исследований были отобраны образцы ила длительного хранения Бортнической станции аэрации г. Киева и свежего ила очистных сооружений г. Львова, из которых изготавливались гранулы диаметром 6 мм. Газификацию гранул проводили в две стадии по технологии «обратной тепловой волны». Установлено, что при температуре свыше 700 °С происходит спекание коксозольного остатка, выход которого составил 53–63 %. Определены параметры газификации, состав и теплота сгорания горючего газа. Разработаны рекомендации по использованию горючего газа и коксозольного остатка. Проведенными исследованиями установлена возможность полной и частичной газификации гранул ила на воздушном дутье. *Библ. 10, рис. 5, табл. 2.*

**Ключевые слова:** канализационный ил, гранулы, газификация, коксозольный остаток, горючий газ.

### Постановка проблемы

Органические отходы в виде образующегося илового осадка при очистке сточных вод рассматриваются в настоящее время как перспективный возобновляемый ресурс биомассы, заключающий в себе значительный энергетический потенциал [1]. Проблема переработки илового осадка имеет два основных аспекта:

– технический, обусловленный устаревшей технологической схемой, которая не отвечает современным требованиям по времени и качеству обработки осадка;

– социально-экологический, выраженный в потере ценнейших земель под складирование осадка, что приводит к загрязнению почвы, а также к распространению микробиологического

негативного и газового фона, который отрицательно влияет на здоровье населения.

Технический аспект проблемы переработки илового осадка в Украине планируют решить методом сжигания подготовленного ила в котлоагрегатах с получением электрической и тепловой энергии, используя паротурбинный цикл. Например, для этого проводятся подготовительные работы по реконструкции Бортнической станции аэрации (БСА) г. Киева по японскому проекту, а также рассматривается переработка ила в г. Львове по шведскому проекту. В то же время в странах Европы уходят от технологии сжигания осадков сточных вод и переходят на другие технологии [2]. Причины ухода: экономические (непомерно высокие эксплуатационные расходы) и экологические (ужесточение требований к очистке дымовых газов). Дымовые газы энергетических установок, потребляющих отходы, требуют дорогостоящих устройств газоочистки. Так, например, стоимость сжигания 1 т ила из очистных сооружений г. Брно (Чехия) составляет около 1000 крон [3].

В отличие от прямого сжигания технологии газификации позволяют повысить энергоэффективность использования отходов и улучшить экологические показатели. При горении газового топлива образуется намного меньше токсичных продуктов неполного сгорания. Даже в тех случаях, когда из-за высокого содержания загрязнителей в перерабатываемом материале требуется газоочистка, можно проводить доочистку горючего газа, объем которого меньше, чем дымового газа, образующегося в результате сжигания [4].

Актуальность работы и ее значение для городского хозяйства заключается в уменьшении объема илов на полях фильтрации, сокращении объемов потребления природного газа на технологические потребности станций очистки сточных вод и улучшении экологической ситуации в прилегающих к станции районах.

Известно, что в 1942–1943 гг. на Люберецких полях фильтрации г. Москвы была разработана и использовалась технология производства топливных кирпичей из ила [5]. Из 1 м<sup>3</sup> влажной массы с помощью торфоформовочной машины изготовлялось 286 кирпичей размером 300 × 70 × 60 мм. Потом происходила их естественная сушка в штабелях на открытой площадке. Длительность сушки на солнце от влажности 60 до 30 % составила 12–13 сут. Теплотворная способность при влажности 30 % составила 2200–2400 ккал/кг, зольность 31,5 %. Полученное топливо оказалось вполне пригодным для отопления производственных и жилых

зданий. Этот опыт показывает возможность производства топлива из ила без значительных энергозатрат на сушку.

В 2003–2004 гг. один из авторов статьи принимал участие в работах по утилизации илов Бортнической станции аэрации (БСА) г. Киев, которые выполняло СКБ Сухина [6]. Сначала илы сушили до влажности 10 %, затем сжигали в специальном предтопке существующего парового котла ДКВР–10. Из-за высокой зольности (более 52 %) ил самостоятельно не горел, а использование в качестве подсветки опилок и биогаза приводило к расплавлению золы и шлакованию предтопка. В результате технология сжигания была отклонена.

В 2002 г. в ЛуганскГИПРОШахт производились работы по утилизации ила компании «Луганскводоканал» газификацией. Ил, подготовленный к газификации, при влажности 20 % имел теплотворную способность 4110 ккал/кг и зольность 30 %. Газификация ила происходила в газогенераторе плотного слоя прямого процесса с жидким шлакоудалением. Выход генераторного газа составил 1,32 м<sup>3</sup>/кг, теплотворная способность — 1490 ккал/м<sup>3</sup> [7]. Газификация с жидким шлакоотделением — один из старейших способов газификации, который ввиду его сложности применяется редко.

За последнее время разработаны новые, более эффективные способы газификации, среди которых следует отметить плазменную [1] и технологию обратной тепловой волны [4, 8–10]. Технология обратной тепловой волны реализуется в газогенераторах плотного слоя в две стадии. Первая стадия, частичная газификация (окислительный пиролиз), позволяет получить два продукта: горючий газ и кокс. На второй стадии происходит прямоточная газификация кокса (до золы) с получением малосмольного горючего газа.

Цель работы — экспериментальное определение технологических параметров частичной и полной газификации канализационного ила на воздушном дутье.

### Методика экспериментов

Для проведения исследований были отобраны две партии ила: ил длительного хранения БСА г. Киева и свежий ил (3–5 лет) очистных сооружений г. Львова.

Из ила были изготовлены гранулы диаметром 6 мм и длиной 6–10 мм. Ввиду высокой влажности ила из г. Львова гранулы не держали форму, поэтому в исходный ил добавляли сухие опилки, примерно 5 % (мас.). Естествен-

**Таблица 1. Характеристики исходного ила и полученных гранул**

Показатель	г. Киев	г. Львов
Содержание влаги, %:		
ил	62,3–72,9	75,4
гранулы после сушки	7,8–8,4	14,6
Содержание золы, %:		
ил	42,4	36,8
гранулы после сушки	42,4	24,2
Насынная плотность гранул, кг/м <sup>3</sup>	545	210

ная сушка гранул проводилась на открытом воздухе под навесом в течение 4 сут, в результате которой влажность ила уменьшилась.

По стандартным методикам определяли влажность и содержание золы в исходном иле, гранулах, а также насыпную плотность гранул (табл.1). Газификацию гранул ила проводили на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис.1, а подробное описание ее работы приведено в работах [8, 9]. Реактор установки — вертикальный, шахтного типа, из толстостенной титановой трубы, теплоизолированный. Как показано в работе [10], теплоизоляция реактора способствует выравниванию температурного фронта по слою топлива, что приводит к повышению качества газа.

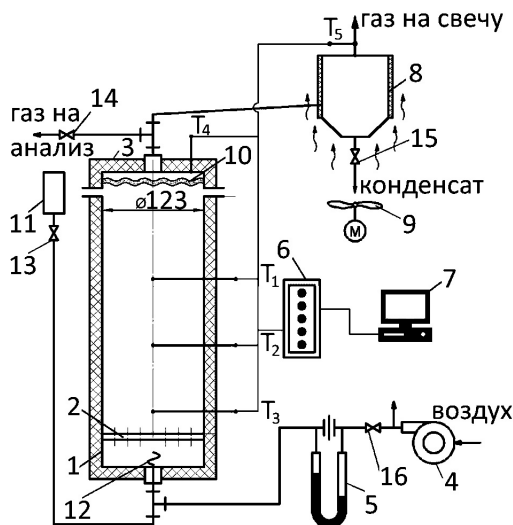


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 — реактор; 2 — колосниковая решетка; 3 — крышка реактора; 4 — воздуходувка; 5 — дифманометр; 6 — измеритель температуры; 7 — компьютер; 8 — холодильник-конденсатор; 9 — вентилятор; 10 — фильтр высокотемпературный; 11 — бак для воды; 12 — змеевик; 13 — задвижка водяная; 14 — кран для отбора газа; 15 — кран дренажный; 16 — задвижка воздушная; (T1–T5) — термопары ХА.

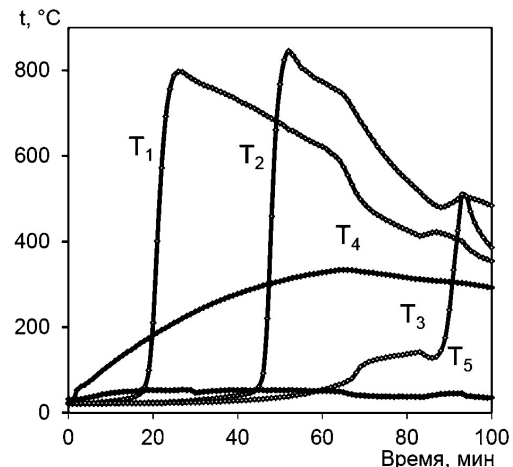


Рис.2. Температурный фронт в реакторе, вызывающий спекание золы ила.

На первом этапе экспериментов, которые проводили на гранулах из киевского ила, определяли максимально допустимую температуру частичной газификации при условии отсутствия спекания коксозольного остатка. Было установлено, что при удельном расходе воздуха дутья 150,0 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) в реакторе устанавливается температура 800–850 °С (рис.2). При этих температурах коксозольный остаток спекался по всему сечению реактора и препятствовал прохождению воздуха. Уменьшая расход воздуха, установили, что при температуре 700 °С коксозольный остаток не спекается. Дальнейшие эксперименты проводили с учетом ограничения температуры в реакторе до 700 °С.

На рис.3 приведена картина динамики профилей температур в реакторе при частичной газификации ила. Интенсивность частичной газификации ила составила 90,8 кг/(м<sup>2</sup>·ч) для гранул ила г. Киева и 123,0 кг/(м<sup>2</sup>·ч) для гранул ила г. Львова. Выход коксозольного остатка составил 53 % (г. Киев) и 63 % (г. Львов) от сухой массы гранул.

Конденсата было получено по 27 % от рабочей массы гранул г. Киева и г. Львова. Конденсат содержал около 2 % нерастворимой смолы в виде масляной пленки.

Анализ состава газа проводили в Центре коллективного пользования приборами в Институте газа НАН Украины на газовом хроматографе Agilent 6890N. В табл.2 приведены состав полученного газа и низшая теплота его сгорания, полученная расчетным путем.

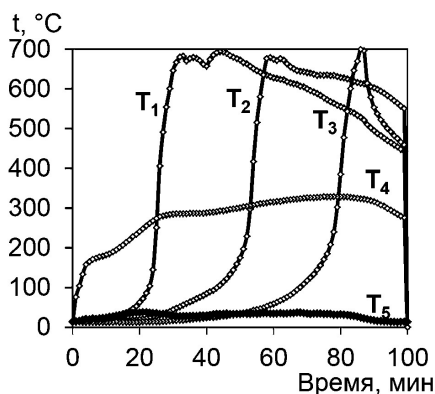
Параллельно анализ газа на содержание СО<sub>2</sub> выполняли на химическом газоанализаторе КГА–100. Максимальная относительная расходимость анализов на СО<sub>2</sub> хроматографическим

**Таблица 2. Состав газа из ила и низшая теплота сгорания**

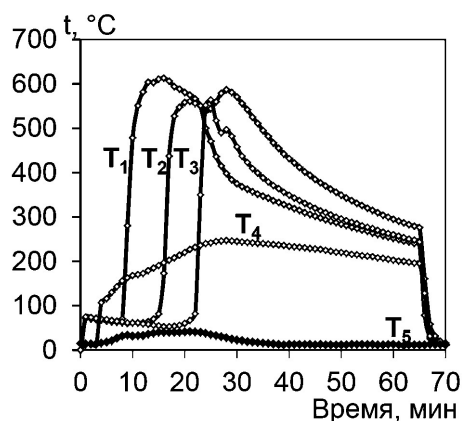
Показатель	Киев	Львов	Показатель	Киев	Львов
Газ, % (об.):			$C_3H_6$	0,29	0,88
$H_2$	10,3	11,6	$C_3H_8$	0,05	0,09
$N_2$	52,9	48,7	$H_2S$	0,02	0
$CO$	10,4	7,24	$iC_4H_{10}$	0,06	0,05
$CH_4$	4,11	5,52	$nC_4H_{10}$	0,12	0,78
$CO_2$	18,6	20,6	$C_2H_5OH$	0	0,24
$C_2H_2$	0,93	2,28	$H_2O$	1,70	1,60
$C_2H_6$	0,24	0,55	$Q_{н.р.}$ МДж/м <sup>3</sup>	5,40	6,90

и химическим методами составила 4,8 %. На рис.4 представлены фотографии образцов гранул из ила и коксозольного остатка.

После завершения стадии частичной газификации коксозольный остаток из ила г. Киева подвергали полной газификации. Температуру



а



б

Рис.3. Динамика профилей температур в реакторе при частичной газификации ила в г. Киев (а) и г. Львов (б).

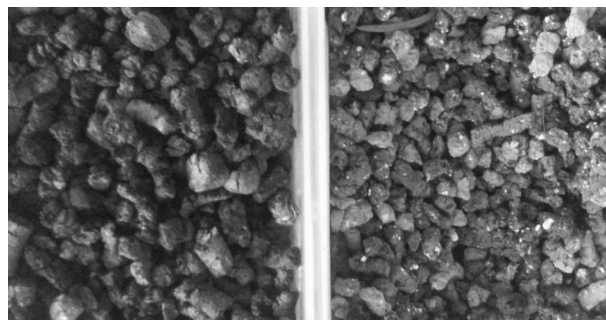


Рис.4. Внешний вид гранул из ила (а) и коксозольного остатка (б).

газификации поддерживали на уровне 700 °С. Полученная зола не спекалась, ее выход составил 35–42 % от сухой массы топлива. Конденсат, полученный при охлаждении газа, не содержал смолы.

### Результаты и их обсуждение

По результатам лабораторных исследований совместно с предприятием «Кимо-бизнес» была создана опытно-промышленная установка для газификации ила (рис.5). Реактор установки (диаметр 300 мм, высота 1500 мм) выполнен из углеродистой стали и снабжен рубашкой воздушного охлаждения. Испытания установки проводили на гранулах диаметром 10 мм и длиной 10–15 мм, изготовленных из ила БСА (г. Киев). Температуру процесса контролировали при помощи термопар, установленных вблизи стенки реактора и в его центре.

На стадии частичной газификации было установлено, что при температуре вблизи стенки реактора около 600 °С и в центре 750 °С произошло спекание и частичное оплавление коксозольного остатка, находящегося в центре реактора. При этом температура нагретого в рубашке воздуха составила 180–270 °С. Получаемый газ вначале горел ярким пламенем, затем его горючесть уменьшалась и горение прекращалось. Сопротивление слоя топлива резко возросло.

Анализ ситуации показал, что в реакторе с рубашкой охлаждения температура слоя топлива, находящегося возле стенки, намного ниже, чем в центре реактора. Сопротивление слоя топлива возле стенки реактора намного меньше, чем в его центре, ввиду большей порозности топлива — так называемый пристеночный эффект. В результате после начала спекания коксозольного остатка основная часть воздуха дутья устремляется к стенкам, где сопротивление меньше, а температура ниже. При низких температурах скорость реакции восстановления

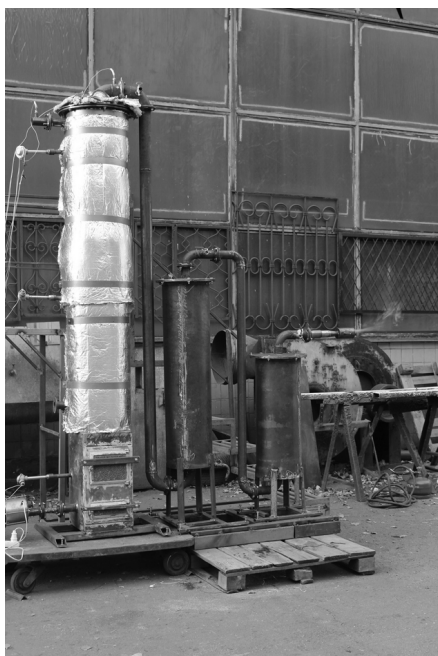


Рис.5. Опытно-промышленная установка.

СО<sub>2</sub> незначительна, поэтому и качество газа ухудшается. Таким образом, конструкция реактора с рубашкой охлаждения оказалась неудачной. Следующий реактор диаметром 400 мм был изготовлен из термостойкой легированной стали без рубашки охлаждения, и при температуре 600–700 °С спекания коксозольного остатка в нем не отмечалось.

### Выводы

Проблема утилизации канализационного ила может решаться его газификацией. Проведенными исследованиями установлена возможность полной и частичной газификации гранул ила на воздушном дутье. Получаемый при частичной газификации гранул ила горючий газ является малосольным и может быть использован для самообеспечения энергией станций очистки сточных вод. Коксозольный остаток может быть использован в качестве адсорбента для дополнительной очистки сточных вод, уходящих со станции, а после его насыщения очищаемыми элементами газифицирован до золы.

Золу, получаемую при полной газификации коксозольного остатка, можно использовать для производства строительных изделий, асфальтобетона, отсыпки дорог.

### Список литературы

1. Жовтянский В. А., Орлик В. Н., Петров С. В., Якимович М. В. Общие принципы переработки отходов с извлечением их энергетического потенциала на основе плазменных технологий. 2. Газификация иловых осадков станций водоочистки. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2016. № 3. С. 25–41.
2. Проблемы образующихся на сооружениях очистки сточных вод иловых осадков, методы их обработки с получением уникального органико-минерального продукта. — [http://www.ecotor.su/images/Statya\\_po\\_osadku.pdf](http://www.ecotor.su/images/Statya_po_osadku.pdf)
3. Biela R., Shevchikova I. Possibilities of water treatment sludge processing. — <https://voda.tzb-info.cz/12241-moznosti-zpracovani-vodarenskych-kalu>
4. П'яних К.Є. Розвиток наукових засад теплотехнологій заміщення природного газу альтернативними видами палива : Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Київ, 2017. 45 с.
5. Владимиров В.В., Конев Д.А., Доливо-Добровольский Л.Б. Производство топливных кирпичей из осадка сточных вод. М., Л. : Изд-во Нархоза РСФСР, 1945.
6. Клюс В.П. Технология утилизации илов на станциях очистки сточных вод. *Відновлювана енергетика*. 2006. № 1. С. 92–96.
7. Язев А.С. Конвертирование биоила городских стоков в электрическую и тепловую энергии. *Энергосбережение*. 2005. № 3. С. 24–28.
8. Клюс С.В. Экспериментальні дослідження процесів енерготехнологічного перетворення біомаси в реакторах щільного шару палива. *Відновлювана енергетика*. 2015. № 3. С. 85–92.
9. Клюс С.В., Жовмір М.М., Масловова З.В., Демчина В.П. Визначення основних показників та ефективності часткової газифікації біомаси в газогенераторі щільного шару з оберненим дуттям. *Відновлювана енергетика*. 2016. № 2. С. 79–87.
10. Кремнева К.В. Підвищення ефективності двостадійного процесу газифікації дрібнодисперсної біомаси для когенераційних установок малої потужності : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Дніпро, 2015. 21 с.

Поступила в редакцию 25.04.18

**Клюс В.П.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **Клюс С.В.<sup>1</sup>**, канд. техн. наук,  
**Четверик Г.О.<sup>1</sup>**, **Демчина В.П.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> **Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ**  
вул. Гната Хоткевича, 20А, 02094 Київ, Україна, e-mail: biomassa@ukr.net

<sup>2</sup> **Інститут газу НАН України, Київ**  
вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: boris.ilienko@gmail.com

## Газифікація каналізаційного мулу

Каналізаційний мул є поновлюваним біопаливом. Проблема використання мулу зумовлена його високими вологістю та зольністю. Для зменшення вологості вихідної маси мулу запропоновано додавати до неї суху дрібнодисперсну біомасу (тирса, січка соломи). Для проведення досліджень було відібрано зразки мулу тривалого зберігання Бортницької станції аерації м. Києва та свіжого мулу очисних споруд м. Львова, з яких виготовлялися гранули діаметром 6 мм. Газифікацію гранул провадили у дві стадії: за технологією «зворотної теплової хвилі». Встановлено, що при температурі понад 700 °С відбувається спікання коксозольного залишку, вихід якого становив 53–63 %. Визначено параметри газифікації, склад та теплоту згоряння горючого газу. Розроблено рекомендації щодо використання горючого газу та коксозольного залишку. Проведеними дослідженнями встановлено можливість повної та часткової газифікації гранул з мулу на повітряному дутті. *Бібл. 10, рис. 5, табл. 2.*

**Ключові слова:** каналізаційний мул, гранули, газифікація, коксозольний залишок, горючий газ.

**Kljus V.P.<sup>1</sup>**, *Candidate of Technical Sciences*,  
**Kljus S.V.<sup>1</sup>**, *Candidate of Technical Sciences*,  
**Chetverik G.A.<sup>1</sup>**, **Demchina V.P.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> **Institute of Renewable Energy of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev**  
20A, Hnat Hotkevich Str., 02094 Kiev, Ukraine, e-mail: biomassa@ukr.net

<sup>2</sup> **The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev**  
39, Degtjarivska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: boris.ilienko@gmail.com

## Gasification of Sewage Sludge

As evidenced by our works as well as a number of other researches, sewage sludge is a renewable biological fuel. But the sludge use is quite problematic due to its high humidity and ash content. To reduce the moisture of the initial mass of the sludge, it is recommended to add dry finely dispersed biomass (saw dust, chopped straw). To conduct the research, we selected the long-term storage sludge samples of Bortnichi Activate Sludge Plant of Kiev city and the fresh sludge of the Lvov city purification facilities to produce the granules of 6 mm in diameter. The gaseous conversion of the granules was completed in the two stages according to the «backward heat wave» technology. As it has been established, the coke ash residue accounting for 53–63 % of the output sinters at the temperature of above 700 °C. The research has identified the gaseous conversion parameters, the composition and the combustion heat of the fuel gas. The recommendations pertaining to use of the fuel gas and the coke ash residue have been designed. Accordingly, the research conducted hereunder has discovered the possibility of full and partial gaseous conversion of the sludge granules using the air blast. *Bibl. 10, Fig. 5, Tab. 2.*

**Key words:** sewage sludge, granules, gaseous conversion, coke ash residue, fuel gas.

## References

1. Zhovtyanskij V.A., Orlik V.N., Petrov S.V., Yakimovich M.V. Obshie principy pererabotki othodov s izvlecheniem ih energeticheskogo potenciala na osnovе plazmennыh tehnologij. 2. Gazifikaciya ilovyh osadkov stancij vodoochistki [General principles of waste treatment with recovery of the energy based on the plasma technologies. Part II. Gaseous conversion of the sludge residue of the water purification plants]. *Energotechnologii i resursoberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*. 2016. No. 3. pp. 25–41. (Rus.)
2. Problemy obrazuyushchikhsya, na sooruzheniyakh ochistki stochnykh vod, ilovykh osadkov, metody ikh obrabotki s polucheniem unikal'nogo organomineral'nogo produkta [Problems of wastewater generated in sewage sludge treatment facilities, methods of processing them to produce a unique organomineral product]. — [http://www.ecotor.eu/images/Statya\\_po\\_osadku.pdf](http://www.ecotor.eu/images/Statya_po_osadku.pdf) (Rus.)
3. Biela R., Shevchikova I. Possibilities of water treatment sludge processing. — <https://voda.tzb-info.cz/12241-moznosti-zpracovani-vodarenskych-kalu>
4. P'janich K.Ye. Rozvytok naukovykh zasad teplo-tehnologii zamishchennia pryrodnoho gazu alternatyvnymy vydamy palyva [Development of scientific bases of the heat technologies of natural gas replacement with the alternative fuels] : Avtoref. dys. ... dokt. tehn. nauk. Kiev, 2017. 45 p. (Ukr.)
5. Vladimirov V.V., Konev D.A., Dolivo-Dobrovol'skij L.B. Proizvodstvo toplivnykh kirpichey iz osadka stochnykh vod [Brick fuel production of the wastewater residue]. Moscow, Leningrad : Izdatel'svo Narhoza RSFSR, 1945. 19 p. (Rus.)
6. Kljus V.P. Tehnologiiia utilizacii ilov na stantsiiakh ochistki stochnykh vod [Sludge disposal technology at the wastewater purification plants]. *Vidnovliuvana energetyka [Renewable power engineering]*. 2006. No. 1. pp. 92–96. (Rus.)
7. Jazev A.S. Konvertirovanie bioila gorodskih stokov v elektricheskuyu i teplovuyu energii [Conversion of the city wastewater biological sludge into electrical and heat energy]. *Energoberezhenie*. 2005. No. 3. pp. 24–28. (Rus.)
8. Kljus S.V. Eksperymental'ni doslidzhennia procesiv energotehnologichnogo peretvorennia biomasy v reaktorah shchil'nogo sharu palyva [Experimental researches of the processes of biomass power transformation in the fixed bed fuel reactors]. *Vidnovliuvana energetyka. [Renewable power engineering]*. 2015. No. 3. pp. 85–92. (Ukr.)
9. Kljus S.V., Zhovmir M.M., Masljukova Z.V., Demchina V.P. Vyznachennia osnovnykh pokaznykiv ta efektyvnosti chastkovoї gazyfikacii biomasy v gazogeneratori shchil'nogo sharu z obernenym duttiom [Identifying the key performance indicators for partial gaseous conversion of the biomass in the fixed bed gas producer with the backward blow]. *Vidnovliuvana energetyka [Renewable power engineering]*. 2016. No. 2. pp. 79–87. (Ukr.)
10. Kremneva K.V. Pidvyshchennia efektyvnosti dvo-stadiinogo procesu gazyfikacii dribnodispersnoi biomasy dlia kogeneraciynykh ustanovok maloi potuzhnosti [Increasing efficiency of the two stage process of gaseous conversion of the finely dispersed biomass for the low capacity cogeneration plants] : Avtoref. dys. ... kand. tehn. nauk. Dnipro, 2015. 21 p. (Ukr.)

Received April 25, 2018