

ОСОБЛИВОСТІ СУШІННЯ МУЛОВИХ ВІДКЛАДЕНЬ СТІЧНИХ ВОД ЗА ДОПОМОГИ ЕНЕРГІЇ ДОВКІЛЛЯ

В. О. Кремньов, зав. лабораторією

Н. С. Корбут, молодший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

К. Є. П'яних, доктор технічних наук, завідувач відділом

Інститут газу НАН України

О. В. Шеліманова, кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: shelemanova@ukr.net

Анотація. *Аналіз мулових відкладень, що утворюються під час очищення стічних вод, дає підстави оцінювати їх як цінну сировину для одержання біомінеральних добрив. Зусилля дослідників спрямовані на пошук нових інноваційних технічних рішень та екологічно орієнтованих підходів для того, щоб зробити ці технології економічно доцільними.*

Мета дослідження – одержання надійних експериментальних даних, які будуть покладені в основу багатостадійної технології утилізації мулових відкладень.

Запропоновано спосіб комбінованого сушіння, при якому одночасно використовуються, як енергія довкілля (енергія Сонця), так і енергія вторинних енергетичних ресурсів: теплота, що відводиться охолоджувачем від камер газифікації, та ентальпія відпрацьованих газів газопоршневих двигунів.

Реальна споруда обладнана «теплою підлогою» із труб, у внутрішньому просторі яких циркулює підігріта оборотна вода із системи охолодження газогенераторів. В експериментальній установці «тепла підлога» моделюється за допомогою спеціального плоского керованого нагрівача з електронідогріванням.

Досліди, проведені з цілодобовим підведенням теплоти від оборотної води при її температурі 40 °С, свідчать, що використання «теплої підлоги» здатне підвищити питому кількість вологи, що відводиться від матеріалу протягом доби, майже удвічі.

При спорудженні дослідно-промислової сушарки доцільно обладнати її «теплою підлогою» з додатковим джерелом теплової енергії, в якості якого можна використати теплоту ґрунту, а також теплоту високотемпературних відхідних газів двигуна внутрішнього згорання.

Ключові слова: *мулові відкладення, біомінеральні добрива, сонячна сушарка, «тепла підлога»*

Актуальність. Питома вага забруднених стічних вод у загальному їх обсязі становила в кінці XX ст. в цілому по Україні 28 %, у тому числі в Харківській та Луганській областях – понад 70 %, у Чернівецькій, Одеській, Донецькій областях – понад 50 %. Скидання стічних вод у водні об'єкти може впливати на хімічний склад природних вод та погіршувати їх якість [1].

Водночас аналіз мулових відкладень, що утворюються під час очищення стічних вод, дає підстави оцінювати їх як нову сировину для одержання біомінеральних добрив [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На підставі аналізу світової практики виробництва біомінеральних добрив з мулових відкладень можна зробити висновок, що відомі способи енергоємні, не дозволяють отримати економічно доцільні переробні технології [2]. Тому зусилля дослідників спрямовані на пошук нових інноваційних технічних рішень та екологічно орієнтованих підходів для інтенсифікації масообмінних процесів при сушінні мулових відкладень [3,4].

Основне призначення споруди для сушіння мулових відкладень, детально описаної в [5] - залучення енергії довкілля. Це «звільняє» енергію займистої частини мулових відкладень і створює енергетичні передумови виробництва електроенергії шляхом використання енергії генераторного газу у газопоршневому двигуні, який забезпечує обертання електрогенератора, тобто, чим більше вологи мулових відкладень буде випарено у споруді за рахунок енергії довкілля, тим більшу частину генераторного газу можна спрямувати на виробництво електроенергії.

У разі висушування відкладень до кінцевої вологості ≤ 15 % за рахунок енергії довкілля, неминуче зростуть капітальні витрати на будівництво спеціалізованих споруд для використання енергії довкілля через зростання їх необхідної потужності, а відповідно, і площі.

У той же час в енерго-технологічному комплексі з переробки мулових відкладень неминуче будуть утворюватись значні вторинні енергетичні ресурси, а саме:

- теплота, яка відводиться охолоджувачем від камер газифікації;
- ентальпія відхідних газів газопоршневих двигунів.

Отже, споруду для сушіння відкладень за рахунок енергії довікілля завжди доцільно використовувати для комбінованого сушіння, при якому одночасно використовуються, як енергія довікілля, так і енергія ВЕР, що утворюються у енерготехнологічному комплексі з переробки відкладень.

Таке одночасне використання споруд забезпечує синергійний ефект. Зменшується необхідний розмір споруди, кількість перемішувань задля кращого сушіння сонцем, а використання ВЕР не потребує спорудження спеціальної споруди.

Мета дослідження – одержання надійних експериментальних даних, які будуть покладені в основу багатостадійної технології утилізації мулових відкладень.

Матеріали та методи дослідження. Споруда обладнана «теплою підлогою» із труб, у внутрішньому просторі яких циркулює підігріта оборотна вода із системи охолодження газогенераторів. Крім того для нагрівання оборотної води використовуються також теплота відпрацьованого агента сушіння, який відводиться від конвективної сушарки безперервної дії, яка також входить до складу енерготехнологічного комплексу з переробки мулових відкладень. Утилізація цих ВЕР здійснюється за допомогою рекуперативного теплообмінного апарату, в якому відпрацьований агент сушіння охолоджується і осушується в результаті теплообміну з оборотною водою системи охолодження.

Таким чином, оборотна вода спочатку циклічно отримує теплову енергію від відпрацьованого агента сушіння в теплообмінному апараті, потім в охолоджувальному просторі газогенераторів і віддає його шару мулових відкладень, який розташований на «теплій підлозі» споруди для сушіння.

Процес теплообміну в умовах взаємодії матеріалу і «теплої підлоги». є дуже складним і малодослідженим. Шар нерухомого дисперсного матеріалу розташований на підігрітій поверхні є двофазною системою (тверді пористі частинки, які контактують між собою та з підігрітою поверхнею і пароповітряна суміш, яка знаходиться проміж ними і займає приблизно 20 ...30 % об'єму шару відкладень). Теплообмін поверхні з шаром здійснюється за рахунок як кондукції (в зонах контакту частинок і поверхні) і випромінюванням з поверхні, так і вільної

конвекцією пароповітряної фази. Крім того, співвідношення між цими складовими теплообміну змінюється під час циклу сушіння через поступове зниження вологовмісту матеріалу.

«Тепла підлога» моделюється в експериментальній установці за допомогою спеціального плоского керованого нагрівача з електропідігріванням, а активна теплова ізоляція здійснюється за допомогою аналогічного нагрівача, який розміщується паралельно першому нижче нього (рис.1).

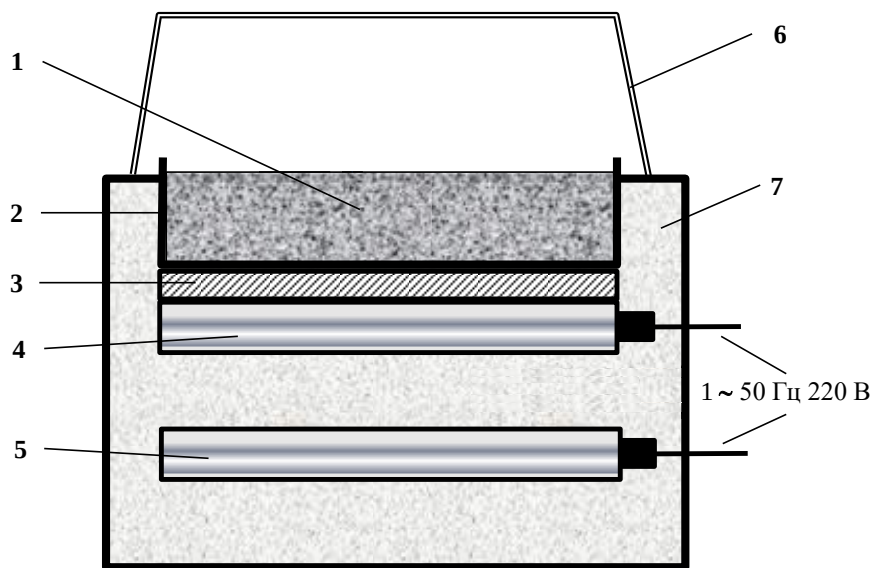


Рис. 1. Схема установки комбінованого сушіння мулових відкладень:

1 - шар мулових відкладень; 2 - "тепла підлога"; 3 - алюмінієва платва;
4, 5 - панельні нагрівники; 6 - світлопроникна камера; 7 - теплова ізоляція.

У дослідах, як і в дослідженнях літнього періоду, визначались [5]:

1. Умови в довкіллі: температура, відносна вологість, ясність-хмарність, опади.
2. Умови в камері сушіння: температура повітря в об'ємі камери, відносна вологість повітря в об'ємі камери, температура повітря в шарі матеріалу, відносна вологість повітря в шарі матеріалу, питома продуктивність моделі сушарки, щодо вологи, що відводиться від матеріалу протягом доби [$\text{кг}/\text{м}^2$ доба].

Результати досліджень та їх обговорення. Досліди проводились з метою накопичення статистичних даних щодо процесу сушіння осадів в осінній період та дослідження впливу товщини шару продукту на питому продуктивність, щодо відведеної від матеріалу вологи.

У кожному з 3-х циклів сушіння площа всієї рамки в кожному досліді складала 0,172 м². Перемішування продукту (осадів) здійснювалось 1 раз на добу

Основні характеристики досліджуваного матеріалу наведено в таблиці.

Основні характеристики осінніх циклів сушіння

Цикл сушіння	Період	Висота шару, м	Початкові параметри		
			вологість, %	об'єм завантаженого продукту, л	насіпна вага, кг/м ³
1	19.09. - 27.09. (8 діб).	0,1	43,8	17	750* 840**
2	23.10. - 27.10. (4 доби).	0,05 і 0,1	50,15	8	780* 870**
3	30.10. - 10.11. (11 діб)	0,1	39,86	15	660* 820**

Примітка

* - неущільнена маса

** - ущільнена маса

Дослідження виконувались з цілодобовим підведенням додаткового тепла (тепла підлога при температурі 40 °С) і енергії довікля.

На рис. 2 - 4 наведено результати, отримані у першому циклі сушіння.

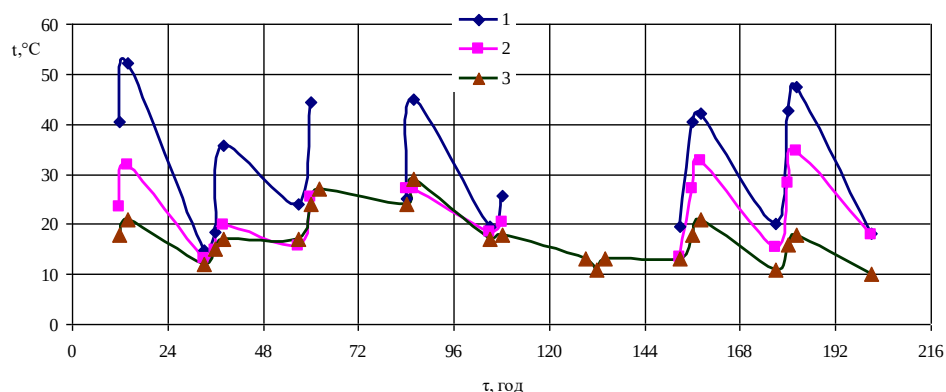
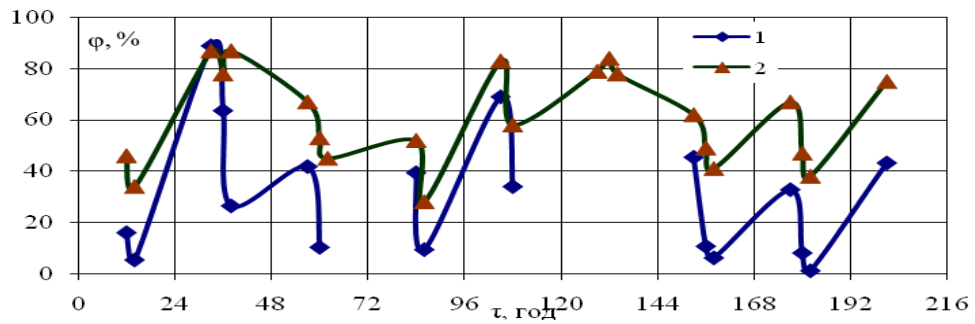


Рис. 2. Зміна температури продукту (2), повітря в камері (1) і у навколишньому середовищі (3)



**Рис. 3. Зміна відносної вологості повітря в камері (1)
і у навколишньому середовищі (2)**

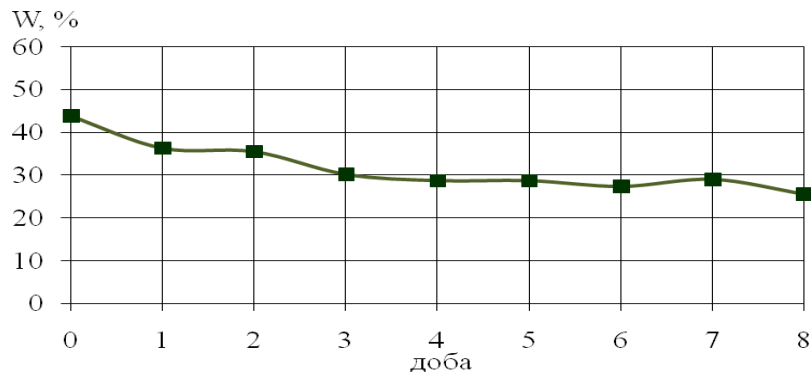
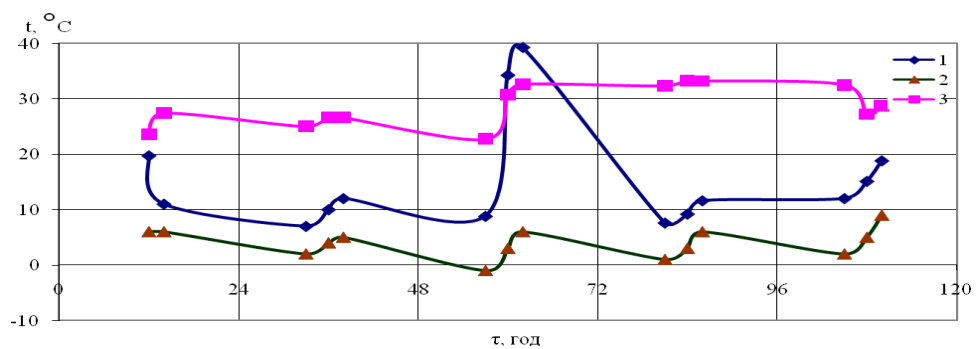
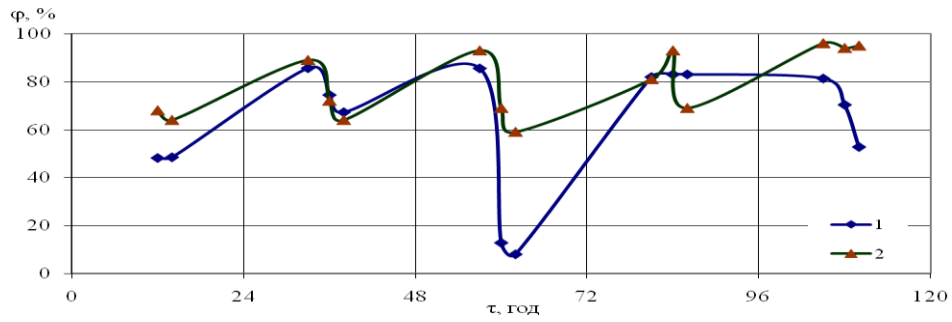


Рис.4. Крива сушіння продукту

У другому циклі вивантаження продукту проводили 27.10.2017 о 14.00 з вологістю 11,13 %. Результати дослідів представлені на рис. 5 - 7.



**Рис. 5. Зміна температури в шарі продукту (3), повітря в камері (1)
і у навколишньому середовищі (2)**



**Рис. 6. Зміна відносної вологості повітря в камері (1)
і у навколишньому середовищі (2)**

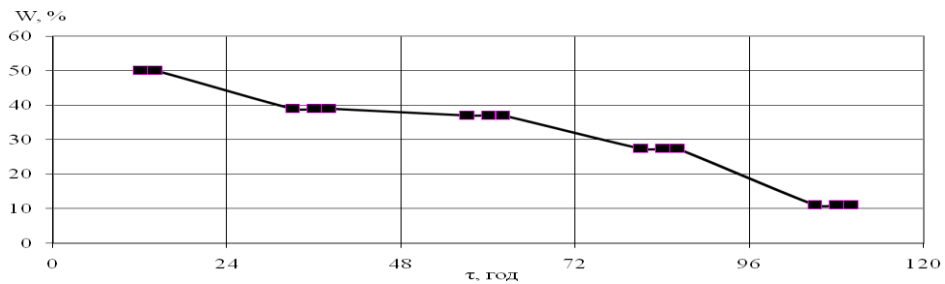
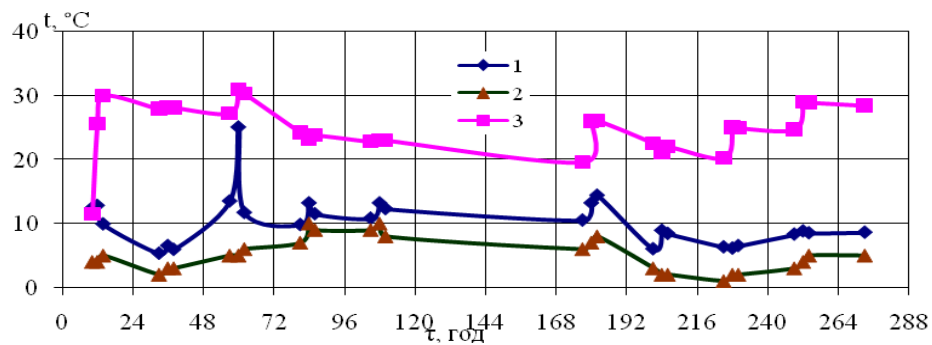
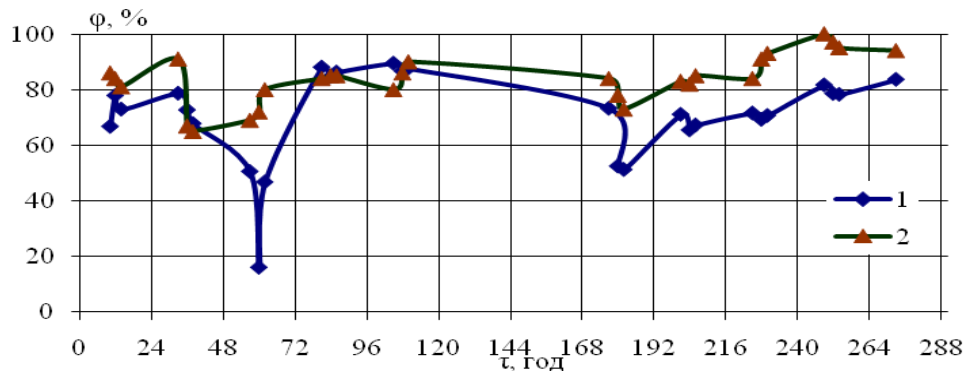


Рис. 7. Зміна вологості продукту.

Вивантаження продукту у третьому циклі проводили 10.11.2017 о 14.00 з вологістю 11,79 %. На рис. 8 – 10 наведені результати дослідів



**Рис. 8. Значення температури в камері (1), у навколишньому середовищі
(2), в шарі продукту (3)**



**Рис. 9. Значення відносної вологості в камері (1)
і у навколишньому середовищі (2)**

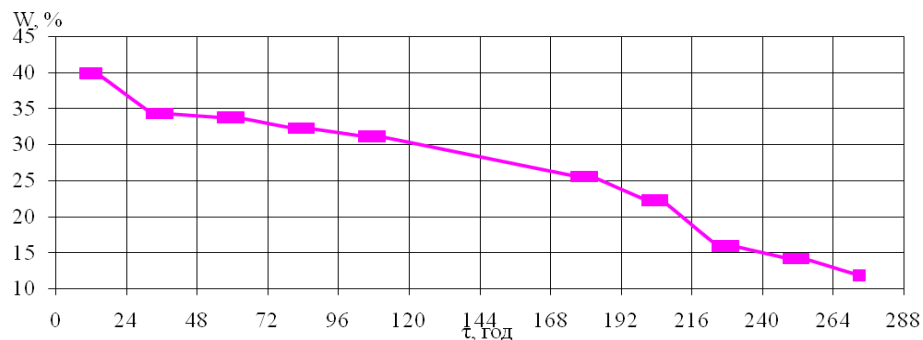


Рис. 10. Зміна вологості в шарі продукту

Досліди, проведені з цілодобовим підведенням теплоти від «теплої підлоги» при її температурі 40 °С, свідчать про істотну інтенсифікацію процесу сушіння. Можна дійти висновку, що використання «теплої підлоги» здатне підвищити питому кількість вологи, що відводиться від матеріалу протягом доби, майже удвічі. Такий результат не є несподіваним через те, що енергія Сонця восени активно підводиться лише приблизно 8 годин, а тепла підлога діє цілодобово. Але на практиці при переносі процесу сушіння від моделі у виробничі умови лімітуючим фактором щодо підводу до матеріалу теплоти буде не тепловіддача, як така, а енергетичний ресурс, що його надаватиме зворотня вода системи охолодження газифікатора та двигуна електрогенератора, яка і буде енергоносієм задля теплої підлоги. У лабораторних умовах цей лімітуючий фактор відсутній, бо енергія підводиться від електромережі і не лімітована.

Таким чином, «тепла підлога», яка буде облаштована на всій поверхні підлоги у промисловій сонячній сушарці (виходячи з вимоги рівномірності сушіння

матеріалу), може повністю реалізувати свій потенціал як теплообмінний апарат з вельми розвиненою поверхнею лише в разі підведення до неї додаткової теплової енергії, окрім енергії обертової води із системи охолодження устаткування. Живильником такої додаткової енергії може стати, наприклад, ґрунтовий теплообмінник, який використовує теплоту ґрунту в поєднанні з тепловим насосом. Така схема може прислужитися задля подальшого вдосконалення сонячних сушарок.

Висновки і перспективи. На наш погляд, при будівництві дослідно-промислової сушарки є доцільним облаштувати її «теплою підлогою» на всій площі.

Це забезпечить технічну можливість відповідних випробувань та створить умови подальшого підвищення продуктивності сушарки (в разі підключення її «теплої підлоги» до живильника теплової енергії). Такими живильниками можуть бути: теплота ґрунту (ґрунтовий теплообмінник плюс тепловий насос), теплота високотемпературних газів після двигуна внутрішнього згорання (водогрійний котел –утилізатор), тощо.

Список використаних джерел

1. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води. К.: Вища школа, 2005. 671 с.
2. Белянська О. Р., Іванченко А. В., Волошин М. Д. Технологія одержання комплексного добрива на основі диспергованого активного мулу. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2015. Т, 3, № 6 (75). С. 43-47.
3. Коханенко М. С., Шпільберг Л. Ю., Михалевич В. В Переробка мулу міських органічних стоків. XI Міжнародна конференція «Проблеми теплофізики та теплоенергетики» 21-22 травня 2019 р., м. Київ. Теплофізика та теплоенергетика. 2019. Т. 41, №5. С. 60.
4. Кремньов В. О., Беляєв Г. В., Беляєва І.П., Корбут Н.С. Проблема утилізації осадів комунальних стічних вод і нові альтернативні комплексні біо- і теплотехнології. XI Міжнародна конференція «Проблеми теплофізики та теплоенергетики», 21-22 травня 2019 р., м. Київ. Теплофізика та теплоенергетика. 2019. Т. 41, №5. С. 61.
5. Кремньов В. О., Корбут Н. С., П'яних К. Є., Шеліманова О. В. Дослідження процесу сушіння мулових відкладень стічних вод за рахунок енергії сонця. Енергетика і автоматика. 2020. № 2. С.51-61.

References

1. Zapolskyi, A. K. (2005). Vodopostachannia, vodovidvedennia ta yakist vody [Water supply, drainage and water quality]. Kyiv: Vyshcha shkola, 671.
2. Bielianska, O. R., Ivanchenko, A. V., Voloshyn, M. D. (2015). Tekhnolohiia oderzhannia kompleksnoho dobryva na osnovi dysperhovanoho aktyvnoho mulu [Technology of complex fertilizer production on the basis of dispersed activated sludge]. Vostochno-evropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohyi, 3, (6 (75), 43-47.
3. Kokhanenko M. S., Shpilberh, L. Iu., Mykhalevych, V. V. (2019). Pererobka mulu miskykh orhanichnykh stokiv [Sludge processing of urban organic effluents]. XI Mizhnarodna konferentsiia «Problemy teplofizyky ta teploenerhetyky», 21-22 travnia 2019 r., Kyiv. Teplofizyka ta teploenerhetyka, 41 (5), 60.
4. Kremnov, V. O., Bieliaiev, H. V., Bieliaieva, I. P., Korbut, N. S. (2019). Problema utylizatsii osadiv komunalnykh stichnykh vod i novi alternatyvni kompleksni bio- i teplotekhnolohii [The problem of utilization of municipal sewage sludge and new alternative integrated bio- and heat technologies]. XI Mizhnarodna konferentsiia «Problemy teplofizyky ta teploenerhetyky», 21-22 travnia 2019 r., Kyiv. Teplofizyka ta teploenerhetyka, 41 (5), 61.
5. Kremnov, V. O., Korbut N. S., Pianykh, K. Ie., Shelimanova, O. V. (2020). Doslidzhennia protsesu sushinnia mulovykh vidkladen stichnykh vod za rakhunok enerhii sentsia [Investigation of the process of drying sludge sewage due to solar energy]. Enerhetyka i avtomatyka, 2, 51-61.

ОСОБЕННОСТИ СУШКИ ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В. А. Кремнев, Н. С. Корбут, К. Е. Пьяных, Е. В. Шелиманова

Аннотация. Анализ иловых отложений, образующихся при очистке сточных вод, дает основания оценивать их как ценное сырье для получения биоминеральных удобрений. Усилия исследователей направлены на поиск новых инновационных технических решений и экологически ориентированных подходов для того, чтобы сделать эти технологии экономически целесообразными.

Цель данного исследования - получение надежных экспериментальных данных, которые будут положены в основу многостадийной технологии утилизации иловых отложений.

Предложен способ комбинированной сушки, при котором одновременно используются как энергия окружающей среды (энергия Солнца), так и энергия вторичных энергетических ресурсов: теплоты, отведенной охладителем от камер газификации, и энтальпии отработанных газов газопоршневых двигателей.

Реальная установка оборудована «теплым полом» из труб, во внутреннем пространстве которых циркулирует подогретая оборотная вода из системы охлаждения газогенераторов. В экспериментальной установке «теплый пол» моделируется с помощью специального плоского управляемого нагревателя с электроподогревом.

Опыты, проведенные с круглосуточным подводом теплоты от оборотной воды при её температуре 40 °С, свидетельствуют, что использование «теплого пола» способно повысить удельный количество отводимой влаги от материала в течение суток, почти вдвое.

При сооружении опытно-промышленной сушилки целесообразно оборудовать ее «теплым полом» с дополнительным источником тепловой энергии, в качестве которого можно использовать теплоту грунта, а также теплоту высокотемпературных отходящих газов двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: *иловые отложения, биоминеральные удобрения, солнечная сушилка, «теплый пол»*

FEATURES OF DRYING OF MULL SEWERAGE DEPOSITS WITH THE HELP OF ENVIRONMENTAL ENERGY

V. Kremnyov, N. Korbut, K. Pianykh, O. Shelimanova

Abstract. *Analysis of sludge deposits formed during wastewater treatment gives grounds to evaluate them as a valuable raw material for obtaining biomineral fertilizers. Researcher's efforts are focused on finding new innovative technical solutions and environmentally friendly approaches in order to make these technologies economically viable.*

The purpose of this study is to obtain reliable experimental data that will form the basis for a multi-stage technology for the disposal of sludge deposits.

A method of combined drying is proposed, in which both the energy of the environment (solar energy) and the energy of secondary energy resources: the heat removed by the cooler from the gasification chambers and the enthalpy of the exhaust gases of gas piston engines - are simultaneously used.

The real installation is equipped with a "warm floor" of pipes, in the inner space of which heated circulating water circulates from the cooling system of gas generators. In the experimental setup, the "warm floor" is modeled using a special flat, controlled electric heater.

Experiments carried out with a round-the-clock supply of heat from circulating water at a temperature of 40 °C indicate that the use of a "warm floor" can increase the specific amount of moisture removed from the material during the day, almost twice.

When constructing a pilot industrial dryer, it is advisable to equip it with a "warm floor" with an additional source of thermal energy, which can be used as the heat of the

ground, as well as the heat of high-temperature exhaust gases of an internal combustion engine.

Key words: *sludge sediment, biomineral fertilizers, solar dryer, "warm floor"*