

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ ДЕТРИТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ

В. О. Кремньов, зав. лабораторією

Н. С. Корбут, молодший науковий співробітник

О. В. Шеліманова, кандидат технічних наук, доцент

В. В. Вовчак, студент магістратури

E-mail: shelemanova@ukr.net

Анотація. *В Україні існує проблема утилізації осаду стічних вод. З кожним роком об'єм осаду зростає, а наявні мулові майданчики водоканалів не в змозі прийняти весь їх об'єм. У той же час експерти переконують, що мул на очисних спорудах - це не проблема, а актив, який може допомогти аграріям вирощувати екологічно безпечну продукцію, адже ці добрива матимуть ряд переваг порівняно із хімічними: вони можуть бути дешевшими, кориснішими і ефективнішими.*

Водночас переробка так званого детриту (вологої суміші мінеральних і частково розкладених біологічних компонентів) ускладнюється високою вихідною вологістю продукту. А як свідчать результати попередніх досліджень, якщо вологість вихідної сировини знаходиться в діапазоні 45...80 %, переробні технології можуть стати економічно доцільними лише за умови інтенсифікації процесів її сушіння – як найбільш енергоємного з технологічних процесів.

Мета роботи – дослідження можливості використання відновлюваних джерел енергії, зокрема енергії Сонця, для зменшення енергозатрат при попередньому підсушуванні вологого матеріалу – одного з найважливіших процесів при виготовленні гранульованих мінеральних добрив із відходів очисних споруд.

У роботі для сушіння мулових осадів використовувалась теплиця з покриттям із полікарбонату. Подовжена сторона теплиці розташована у напрямі схід-захід і має кут нахилу до горизонту 30°. Північна сторона покриття даху є світлонепроникною і теплоізованою. З внутрішньої сторони вона має світловідзеркалююче покриття, яке спрямовує промені на матеріал.

Досліди проводились влітку без підводу додаткової теплоти, крім теплоти сонця. В експериментах змінювались: погодні умови, товщина шару матеріалу, кількість перемішувань, початкова вологість матеріалу.

Визначені фактори:

- які призводять до найпомітніших змін питомої продуктивності лабораторної сушарки: температура в доквіллі, ясність-хмарність; відносна вологість в доквіллі, кількість перемішувань, підігрівання підлоги;

- які не призводять до істотного впливу: товщина шару матеріалу, початкова вологість матеріалу.

Ключові слова: *біомінеральні добрива, детрит, сонячна сушарка*

Актуальність. За Водним кодексом України, стічна вода – вода, яка утворилася в процесі господарсько-побутової і виробничої діяльності (крім шахтної, кар'єрної і дренажної води), а також відведена з забудованої території, на якій вона утворилася внаслідок випадання атмосферних опадів.

Як правило, стічні води з територій виробничих об'єктів та населених пунктів видаляються системами каналізації. Стічні води забруднені різними домішками – мінеральними, органічними, а також містять патогенні (хвороботворні) мікроорганізми і тому потребують очищення [1].

У той же час, аналіз світової практики виробництва біомінеральних добрив з мулових відкладень свідчить, що внаслідок підвищеної енергоємності, відомі переробні технології не можна вважати економічно доцільними [2]. Тому актуальним є пошук нових інноваційних та екологічно орієнтованих технічних рішень задля інтенсифікації процесів сушіння мулових відкладень [9,10].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Так званий детрит – волога суміш мінеральних і частково розкладених біологічних компонентів – має надто високу вихідну вологість (яка може сягати 60 % і вище). А як відомо [2, 9], технології гранулювання можуть бути ефективними тільки за вологості вихідної сировини менше 35 %. Одним із можливих шляхів зменшення енергозатрат при попередньому підсушуванні вологого матеріалу є використання відновлюваних джерел енергії, зокрема – енергії Сонця [8].

Геліосушарка – це пристрій, в якому відбувається висушування певної речовини природним методом за допомогою повітря, нагрітого сонячним промінням. Розрізняють сонячні сушарки з прямою та непрямою дією сонячної енергії.

В установках першого типу сонячна енергія поглинається безпосередньо самим продуктом та внутрішніми стінками камери (чорного кольору), в якій знаходиться матеріал, що сушиться. Такі установки ще називають сушарками пасивного типу. Незважаючи на уявну простоту процесу сушіння на таких сушарках, на практиці виникає цілий ряд технологічних і технічних проблем [4, 5].

Більш ефективними є сушарки непрямої дії на базі сонячних колекторів [6, 7].
Схема роботи такої установки, яка містить сонячний повітрянагрівач і камерну або тунельну сушарку, наведена на рис.1.

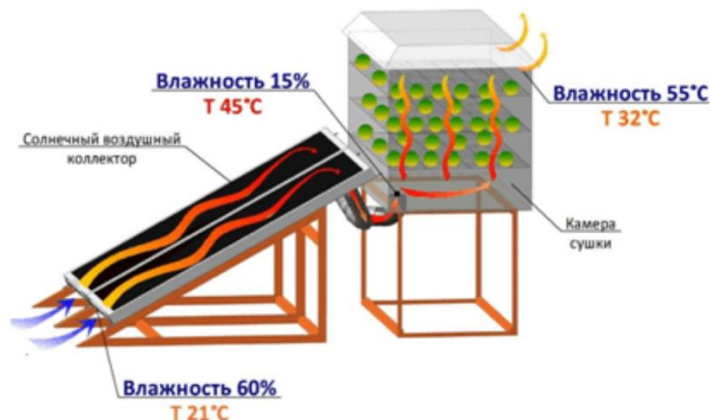


Рис.1. Схема роботи сонячних повітряних колекторів і сонячної сушарки

У сушарку розміщують на сітках чи ситах, або підвішують на рейки продукцію. Свіже повітря потрапляє в колектор з вулиці через спеціальні отвори з низу, проходить всередину колектора і, отримуючи від нього тепло, виходить з іншого боку по повітроводу в сушильну камеру.

Вбудований у колектор вентилятор, що працює на сонячній енергії, прискорює циркуляцію повітря, виштовхуючи зволожене повітря із сушильної камери в атмосферу через отвори у верхній частині сушильної камери. Повітряні сонячні колектори підходять для сушильних камер будь-якої моделі, в тому числі для саморобної конструкції. Сушарки та колектори можна транспортувати до місця виготовлення продукції, а там, на сонячному місці, встановити сонячний блок. Після закінчення сушильного сезону, восени, можна розібрати сушильний комплекс і віднести на зберігання до наступного року. Використовуючи кілька сушильних агрегатів різної потужності, можна сушити продукти швидко та у великих кількостях.

Мета дослідження – визначення можливості використання відновлюваних джерел енергії, зокрема енергії Сонця, для зменшення енергозатрат при попередньому підсушуванні детриту.

Матеріали та методи дослідження. Як засвідчив огляд літературних даних, сонячна енергія може успішно застосовуватись в процесах сушіння різноманітних речовин. Тому було прийнято рішення в якості експериментальної установки для дослідження особливостей сушіння мулових відкладень використати теплицю з покриттям із полікарбонату (рис.2).



Рис. 2. Експериментальна установка комбінованого сушіння мулових відкладень:

1 – рама, 2 – стіл, 3 – піддон, 4 – дах

Технічні характеристики

Розміри шару мулових відкладень, м $0,56 \times 0,95$

Висота шару, мм $20 \div 300$

Габаритні розміри установки:

довжина, мм	1396
ширина, мм	1000
висота, мм	1450

Світлопроникна камера складається із вертикальних світлопроникних стінок із полікарбонату з дверима на одній стороні для експлуатації стенда комбінованої сушки.

Камера з дахом виконана із полікарбонату під кутом 30° до горизонту. Одна з сторін орієнтована на північ, виконана світлонепроникною і теплоізованою. Камера оснащена регульованою системою вентиляції.

Для видалення водяної пари на непрозорій стороні виконані ділянки у вигляді нетканого матеріалу - плівки типу «гідробар'єр». Через ці ділянки видаляється пара під дією концентраційної дифузії.

Стінки і нахилені покриття виконані з полікарбонату двошарового, з внутрішньою повітряною порожниною, є теплоізоляційним огороженням для камери. На вертикальній ділянці огороження камери передбачені двері, що відкриваються. Горизонтальна ділянка оснащена боковою пасивною теплоізоляцією.

Результати досліджень та їх обговорення.

Досліди виконувалися в Інституті технічної теплофізики НАН України з метою визначення факторів, які впливають на питому продуктивність сушарки.

Нижче докладно описано один (перший) з дослідів

Період проведення експерименту 30.05.18 – 4.06.18 (5 діб)

Продукт – осади

Висота шару продукту – 0,05 м

Площа всієї рамки – $0,344 \text{ м}^2$

Рамка з торцевою ізоляцією поділена на дві секції.

Площа однієї секції – $0,172 \text{ м}^2$

Об'єм кожної секції – $0,0086 \text{ м}^3$ ($0,172 \times 0,05$)

Початкова вологість продукту – 62,8 %

Початкова маса завантаженого продукту у секцію – 6,0 кг

Насипна вага початкового продукту 800 кг/м^3

Завдання дослідів – накопичення статистичних даних щодо процесу сушіння осадів та вивчення впливу кількості перемішувань продукту на питому продуктивність, щодо відведеної від матеріалу вологи (кг/м^2 за добу).

У секції № 1 здійснювали 2 перемішування продукту за добу.

У секції № 2 здійснювали 1 перемішування продукту за добу.

Продукт перемішували: зранку в обох секціях рамки, о 14.00 – в одній секції. Відбирали проби на визначення вологості продукту з кожної секції і виставляли камеру в навколишнє середовище за межі приміщення.

Інформацію про погоду в м. Києві за даний проміжок часу отримано з інтернет-ресурсу Sinoptik.ua (<https://sinoptik.ua/>) (рис.7, 8).

Вивантаження продукту проводили 4.06.2018 о 9.00. Насипна вага продукту після висушування: не ущільнена – 579 кг/м^3 , ущільнена – 653 кг/м^3 .

На рис.3 - 5 наведено графіки зміни температури і вологостей повітря в камері, продукті і в навколишньому середовищі.

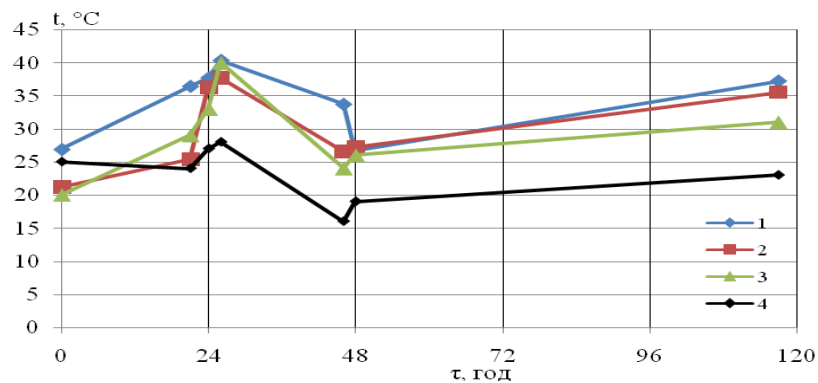


Рис. 3. Зміна температури продукту, повітря в камері і в навколишньому середовищі:

1 - в камері; 2 - продукт у секції № 1; 3 – продукт у секції №2; 4 - у навколишньому середовищі.

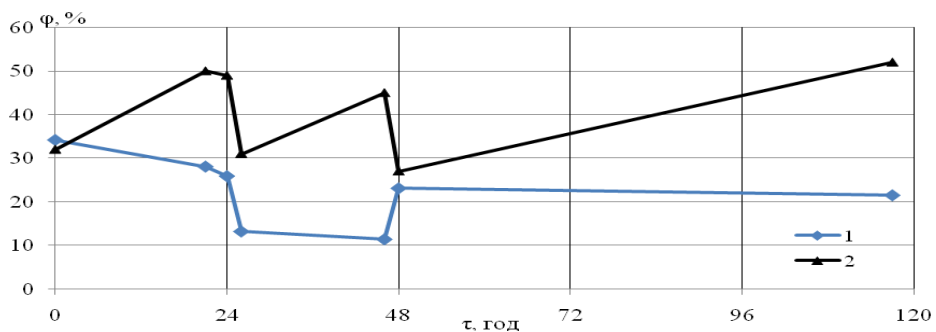


Рис. 4. Зміна відносної вологості повітря в камері (1) і в навколишньому середовищі (2)

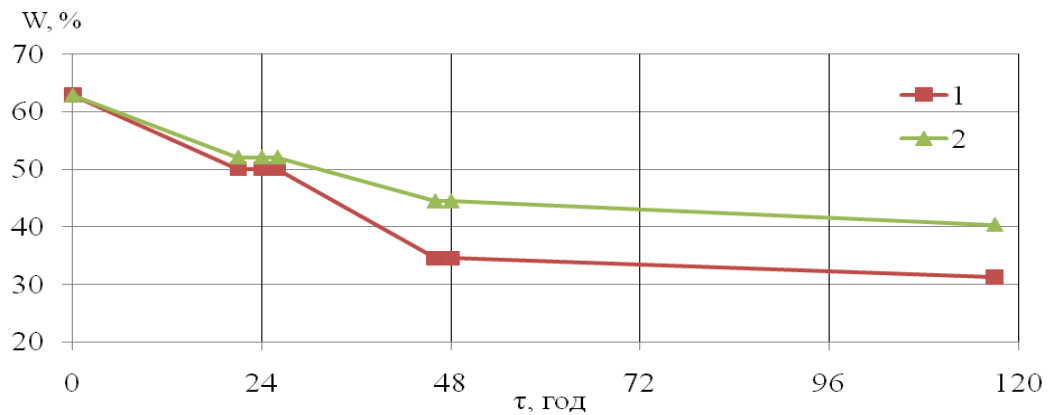


Рис. 5. Зміна вологості продукту:

1- продукт у секції №1; 2- продукт у секції №2

Загалом протягом літніх місяців було реалізовано 5 циклів сушіння.

Висновки і перспективи. За результати дослідів визначено, що :

- фактори, які призводять до найпомітніших змін питомої продуктивності лабораторної сушарки, – це параметри довкілля: температура, «ясність-хмарність»; відносна вологість; а також кількість перемішувань продукту;

- фактори, які не призводять до істотного впливу на питому продуктивність: товщина шару матеріалу та його початкова вологість.

Середньодобова питома продуктивність, щодо маси води, яка випарувалась протягом доби становила за літній період $3,3 \text{ кг/м}^2$ за добу.

На наш погляд, отримані результати не є несподіваними. Той факт, що найдієвішим є вплив такого показника, як «ясність-хмарність» пояснюється саме провідним впливом сонячного випромінювання на підведення теплоти до матеріалу, який піддається сушінню. Саме через це при хмарній погоді навіть при досить високій температурі повітря, інтенсивність процесу значно знижується.

Вплив кількості перемішувань, які проводилися протягом сонячної частини доби і змінювались від одного до трьох, призвів до збільшення питомої кількості води, що відводилась від матеріалу на 30 %; можливе подальше зростання цього показника при збільшенні кількості перемішувань, тобто при перенесенні процесу у виробничі умови можлива деяка інтенсифікація процесу (тобто є певний резерв).

Незначний вплив такого параметру, як вологість матеріалу свідчить про те, що через порівняно малу швидкість процесу в цілому швидкість сушіння визначається в

першу чергу зовнішнім процесом тепломасобміну, а внутрішній масоперенос у частках матеріалу, що зазнає випромінювання, який є вельми залежним від вологості матеріалу сам по собі, в умовах малого теплопідводу не складає відчутного опору і тому істотна зміна вологості матеріалу не призводить до відчутних змін процесу сушіння.

Відсутність відчутного впливу на швидкість сушіння з боку такого фактору, як товщина шару матеріалу не є несподіваною через те, що теплова енергія підводиться до шару через зовнішню поверхню, а вона не залежить від товщини шару.

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. Данилов О. Л., Леончик. Б. И. Экономия энергии при тепловой сушке. М.: Энергоатомиздат, 1986. 136 с.
4. URL: <https://mehanik-ua.ru/solnechnye-gelio-sushilki/1808-gelioustanovka-dlya-sushki-selskokhozyajstvennykh-produktov.html>.
5. URL: <https://mehanik-ua.ru/solnechnye-gelio-sushilki/1807-plenochnayageliofrukto-sushilnaya-ustanovka.html>.
6. URL: <https://mehanik-ua.ru/solnechnye-gelio-sushilki/1713-solnechnye-sushilnye-ustanovki-gvinei.html>.
7. URL: <https://www.solarbox.com.ua/tpost/7uzgn6pyr2-sonyachnii-kolektor-solarbox-dlya-sushki>.
8. Шеліманова О, В. Використання енергії сонця для сушіння сільськогосподарської продукції. Енергетика і автоматика. 2015. № 3. С. 85 – 90.
9. Шеліманова О.В., Гур'єва А. О. Особливості процесу сушіння гранульованого матеріалу. Енергетика і автоматика. 2011. №3(9). http://www.nbuy.gov.ua/e-journals/eia/2011_3/11sovhgm.pdf
10. 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-evropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohyi, Vol. 3, 6 (75), 43-47.

3. Danylov, O. L., Leonchyk, B. Y. (1986). Ekonomyia enerhyy pry teplovoi sushke [Energy saving with heat drying]. Moskow: Enerhoatomyzdat, 136.
4. Available at: <https://mehanik-ua.ru/solnechnye-gelio-sushilki/1808-gelioustanovka-dlya-sushki-selskokhozyajstvennykh-produktov.html>.
5. Available at: <https://mehanik-ua.ru/solnechnye-gelio-sushilki/1807-plenochnayageliofrukto-sushilnaya-ustanovka.html>.
6. Available at: <https://mehanik-ua.ru/solnechnye-gelio-sushilki/1713-solnechnye-sushilnye-ustanovki-gvinei.html>.
7. Available at: <https://www.solarbox.com.ua/tpost/7uzgn6pyr2-sonyachnii-kolektor-solarbox-dlya-sushki>.
8. Shelemanova, O. V. (2015). Vykorystannia enerhii sontsia dlia sushinnia silskohospodarskoi produktsii [The use of solar energy for drying of agricultural production]. Enerhetyka i avtomatyka, 3, 85 - 90.
9. Shelemanova, O. V., Guryeva, A. O. (2011). Osoblyvosti protsesu sushinnia hranulovanoho materialu [Features of the process of drying granulated material]. Enerhetyka i avtomatyka, 3(9).
10. Kremnov V. O., Korbut N. S., Pianykh K. Ie., Shelimanova O. V. (2020). Doslidzhennia protsesu sushinnia mulovykh vidkladen stichnykh vod za rakhunok enerhii sontsia [Investigation of the process of drying sewage sludge due to solar energy]. Enerhetyka i avtomatyka, 2, 51-61.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ ДЕТРИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА

В. А. Кремнев, Н. С. Корбут, Е. В. Шелиманова, В. В. Вовчак

Аннотация. *В Украине существует проблема утилизации осадка сточных вод. С каждым годом объем осадка растет, а имеющиеся иловые площадки водоканалов не в состоянии принять все их объем. В то же время эксперты утверждают, что ил на очистных сооружениях - это не проблема, а актив, который может помочь аграриям выращивать экологически безопасную продукцию, ведь эти удобрения имеют ряд преимуществ по сравнению с химическими: они могут быть дешевле, полезнее и эффективнее.*

В то же время переработка так называемого детрита (влажной смеси минеральных и частично разложенных биологических компонентов) осложняется высокой исходной влажностью продукта. А как свидетельствуют результаты предыдущих исследований, если влажность исходного сырья находится в диапазоне 45...80 %, перерабатывающие технологии могут стать экономически целесообразными только при условии интенсификации процессов его сушки - как наиболее энергоемкого из технологических процессов.

Цель работы - исследование возможности использования возобновляемых источников энергии, в частности энергии Солнца, для уменьшения энергозатрат при предыдущем подсушивании влажного материала - одного из важнейших процессов при изготовлении гранулированных минеральных удобрений из отходов очистных сооружений.

В работе для сушки иловых осадков использовалась теплица с покрытием из поликарбоната. Удлиненная сторона теплицы расположена в направлении восток-

запад и имеет угол наклона к горизонту 30°. Северная сторона покрытия крыши является светонепроницаемой и теплоизолированной. С внутренней стороны она имеет светоотражающее покрытие, которое направляет лучи на материал.

Опыты проводились летом без подвода дополнительной теплоты, кроме теплоты солнца. В экспериментах изменялись: погодные условия, толщина слоя материала, количество перемешиваний, начальная влажность материала.

Определены факторы:

- которые приводят к наиболее заметным изменениям удельной производительности лабораторной сушилки: температура в окружающей среде, ясность-облачность; относительная влажность в окружающей среде, количество перемешиваний, подогрев пола;

- которые не приводят к существенному воздействию: толщина слоя материала, начальная влажность материала.

Ключевые слова: биоминеральные удобрения, детрит, солнечная сушилка

IMPROVING THE EFFICIENCY OF DETRITUS DRYING WITH THE USE OF SOLAR ENERGY

V. Kremnyov, N. Korbuto, O. Shelimanova, V. Vovchak

Abstract. In Ukraine, there is a problem of sewage sludge disposal. The volume of sediment is growing every year, and the existing silt sites of water supply systems are not able to accept their entire volume. At the same time, experts say that sludge in sewage treatment plants is not a problem, but an asset that can help farmers grow environmentally friendly products, because these fertilizers will have a number of advantages over chemicals: they can be cheaper, more useful and more efficient.

At the same time, the processing of the so-called detritus (wet mixture of mineral and partially decomposed biological components) is complicated by the high initial humidity of the product. And according to the results of previous studies, if the humidity of the raw material is in the range of 45... 80 %, processing technologies can become economically feasible only if the intensification of its drying processes - as the most energy-intensive of technological processes.

The aim of the work is to study the possibility of using renewable energy sources, in particular solar energy, to reduce energy consumption during pre-drying of wet material - one of the most important processes in the manufacture of granular fertilizers from waste treatment plants.

A polycarbonate-coated greenhouse was used for sludge drying. The elongated side of the greenhouse is located in the east-west direction and has an angle of inclination to the horizon of 30°. The northern side of the roof covering is opaque and insulated. On the inside, it has a light-reflecting coating that directs rays at the material.

The experiments were carried out in summer without additional heat, except for the heat of the sun. The experiments changed: weather conditions, the thickness of the material layer, the amount of mixing, the initial humidity of the material.

Main results: Identified factors:

- which lead to the most noticeable changes in the specific productivity of the laboratory dryer: ambient temperature, clarity-cloudiness; relative humidity in the environment, the amount of stirring, floor heating;

- which do not lead to a significant impact: the thickness of the material layer, the initial humidity of the material.

Key words: *biomineral fertilizers, detritus, solar dryer*