

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ МУЛОВИХ ВІДКЛАДЕНЬ СТІЧНИХ ВОД ЗА РАХУНОК ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ

В. О. Кремньов, завідувач 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. Після очищення комунальних стічних вод осади в очисних спорудах не видаляються протягом декількох десятків років. Це призвело до накопичення на мулових майданчиках величезної кількості мулових осадів що є загрозою для довкілля.

Мета цього дослідження – накопичення статистичних даних щодо процесу сушіння мулових осадів та вивчення впливу кількості перемішувань продукту на питому продуктивність щодо відведеної від матеріалу вологи.

Досліди проводились за допомогою зменшеної за розмірами моделі сонячної промислової сушарки. Модель розташовувалася з орієнтацією подовженої горизонтальної осі в напрямі схід-захід і висувалася за межі споруди в довкілля за допомогою спеціальної системи.

Евакуація пари, що надходила із матеріалу, який піддавався сушінню, проводилася методом молекулярної дифузії через вікно, яке було розташоване на північній стінці моделі і закрите жалюзійною решіткою.

У експериментах змінювалися: пора року, погодні умови, товщина шару та початкова вологість матеріалу, кількість перемішувань.

Визначалися як умови в довкіллі (температура і відносна вологість повітря, «ясність-хмарність»), так і умови в сушильній камері (температура та відносна вологість повітря в об'ємі камери, температура та відносна вологість повітря в шарі матеріалу, вологість матеріалу, питома продуктивність моделі сушарки, щодо вологи, яка відводиться від матеріалу протягом доби [кг/м² доба]).

Визначено, що до найбільш помітних змін питомої продуктивності лабораторної сушарки призводять зміна температури в довкіллі, «ясність-хмарність», відносна вологість зовнішнього повітря та кількість перемішувань.

Не призводять до істотного впливу на питому продуктивність сушарки товщина шару та початкова вологість матеріалу.

Ключові слова: стічні води, мулові відкладення, сонячна сушарка

Актуальність. Окрім широковідомих проблем галузі очищення комунальних стічних вод – застарілості технологічного процесу та зношеності основних фондів, які як мінімум потребують ремонту, на всіх без виключення очисних спорудах практикується системне порушення організації технологічного процесу – осади стічних вод не видаляються протягом декількох десятків років. Це призвело до накопичення на мулових майданчиках величезної кількості мулових осадів. Мулові карти із технологічних споруд періодичної дії, як вони були запроєктовані [1] і раніше використовувалися, поступово перетворилися на своєрідні могильники – техногенні родовища так званого детриту (вологої суміші мінеральних і частково розкладених біологічних компонентів) [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При розробці інноваційних технічних рішень щодо методів та пристроїв, які планується застосувати на цій стадії, взято до уваги основні такі відомості:

- значний досвід, щодо випаровування вологи з мулових відкладень на відкритих мулових майданчиках [2];
- практичний досвід випаровування вологи із мулових відкладень на критих очисних спорудах у спеціалізованих скляних теплицях на очисних спорудах [4, 6];
- результати досліджень сонячного сушіння мулових відкладень Шанхайських очисних споруд в експериментальній установці [3];
- досвід проектування і експлуатації геліотеплиць з гальковими акумуляторами та циркуляційними вентиляторами [7];
- успішний світовий досвід у використанні для покриття геліотеплиць спеціалізованого двошарового матеріалу «полікарбонат», який має чарункову будову між двома пласкими шарами (зовнішнім і внутрішнім).

Мета дослідження – накопичення статистичних даних щодо процесу сушіння осадів та вивчення впливу кількості перемішувань продукту на питому продуктивність, щодо відведеної від матеріалу вологи (кг/м² за добу).

Матеріали та методи дослідження. Технічне комплексне рішення, яке планується використовувати для сушіння мулових відкладень за рахунок енергії довкілля у комбінації з ВЕР, полягає в такому.

Мулові відкладення після механічного відокремлення частини рідинно-плинної речовини з вологістю, яка залежить від результативності механічного відокремлення, розкладають у вигляді бурта в теплиці з покриттям із полікарбонату. Подовжна сторона теплиці розташована у напрямі схід-захід і має кут нахилу до горизонту 30°. Північна сторона покриття даху є світлонепроникною і теплоізолюваною. Із внутрішньої сторони вона має світловідзеркалююче покриття, яке спрямовує промені на матеріал.

Ширина споруди визначається кількістю паралельних буртів, а її висота – з умови просування механізмів для перемішування матеріалу, його розкладення, завантаження у транспортні засоби для підвезення і вивезення. Процес сушіння періодичний.

Модель розташовувалася з орієнтацією подовженої горизонтальної осі в напрямі «схід-захід» і висувалася за межі споруди в довкілля за допомогою спеціальної системи.

Евакуація пари, яка надходила із матеріалу, що піддавався сушінню, проводилася методом молекулярної дифузії через вікно, яке було розташоване на північній стінці моделі і закрито жалюзійною решіткою. Всі інші можливі щілини і отвори в огорожувальних конструкціях були максимально герметизовані. Дверцята були ущільнені спеціальним гумовим профілем. Співвідношення площі, що її займав матеріал, який піддавався сушінню, і отвору з жалюзійної решітки, через яку виходила пара, що надходила з матеріалу, становила 4 : 1. Це технічне рішення дозволяє видаляти зайву пару без втрат теплоти.

Перші досліди проводилися влітку без підводу додаткової теплоти, крім теплоти сонця. У експериментах змінювалися: погодні умови, товщина шару матеріалу, кількість перемішувань, початкова вологість матеріалу.

Визначалися:

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 [кг/м² доба].

Загальний вигляд установки наведено на рисунку 1., а основні технічні дані – в таблиці 1.

1. Технічні дані експериментальної установки

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення
Розміри шару мулових відкладень	м	0,56 × 0,95
Висота шару	мм	20...300
Габаритні розміри установки:		
довжина	мм	1396
ширина	мм	1000
висота	мм	1450



Рис. 1. Експериментальна установка комбінованого сушіння мулових відкладень

Результати досліджень та їх обговорення. У літній період проводились дослідження без підведення додаткової теплоти, крім теплоти сонця.

У кожному з 3-х циклів сушіння площа всієї рамки в кожному досліді складала 0,344 м². Рамка з торцевою ізоляцією була поділена на 3 секції, кожна з яких мала площ 0,1146 м², а об'єм – 1,146 м³.

Основні характеристики досліджуваного матеріалу наведено у таблиці 2.

2. Основні характеристики циклів сушіння

Цикл сушіння	Період	Висота шару, м	Початкові параметри		
			вологість, %	маса, кг	насіпна вага, кг/м ³
1	11.06.18 – 15.06.18 (4 доби)	0,1	48	6,05	750
2	7.08.18 – 9.08.18 (2 доби)	0,05	32	3,2	700
3	7.08.18 – 9.08.18 р. (2 доби)	0,07, 0,052 та 0,035 (посекційно)	60		1170

Під час першого та другого циклів сушіння перемішування продукту в секції №1 здійснювалося три рази на день, у секції №2 - два рази, а у секції №3 - один раз на день.

Продукт перемішували зранку у всіх трьох секціях рамки, о 12.00 – у першій та другій, о 14.00 – тільки у першій.

На рис. 2 - 4 наведено графіки зміни температури, вологості продукту та відносної вологості повітря в камері та в навколишньому середовищі для другого циклу сушіння.

Експериментальні дані для другого циклу мали аналогічний характер.

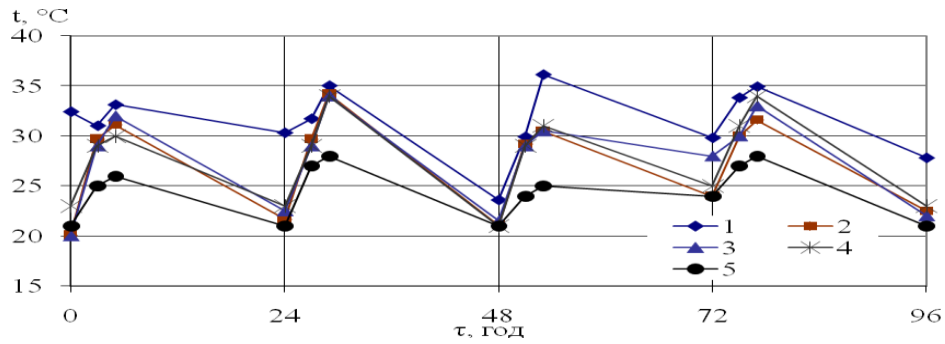


Рис. 2. Зміна температури продукту, повітря в камері і в навколишньому середовищі:

1- у камері, 2 - продукт 1 секція, 3 – продукт 2 секція, 4 - продукт 3 секція, 5 - у навколишньому середовищі

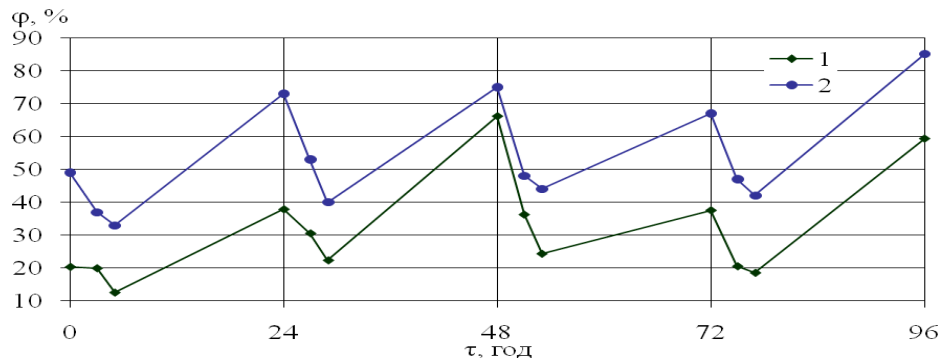


Рис. 3. Зміна відносної вологості повітря в камері (1) та в навколишньому середовищі (2)

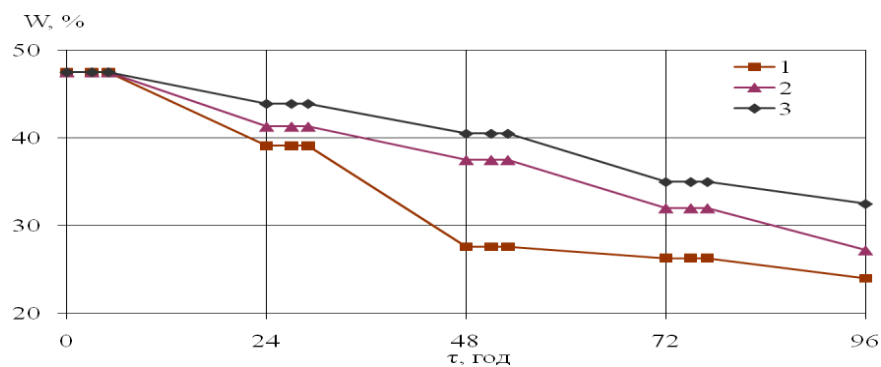


Рис. 4. Зміна вологості продукту:

1 - продукт у секції №1, 2 - продукт у секції №2, 3 - продукт у секції №3

У 3 циклі сушіння як початковий продукт використовувались осадки з очисних споруд м. Фастова. Продукт був без грудочок, пливкий, з нього попередньо видалили пачки цигарок, плівку, кришки від пляшок, палки. Продукт перемішували

один раз у день. Продукт усереднювався один раз на добу о 9.00 год, відбиралася проба на вологість.

Дані дослідів наведено на рис. 5 -7.

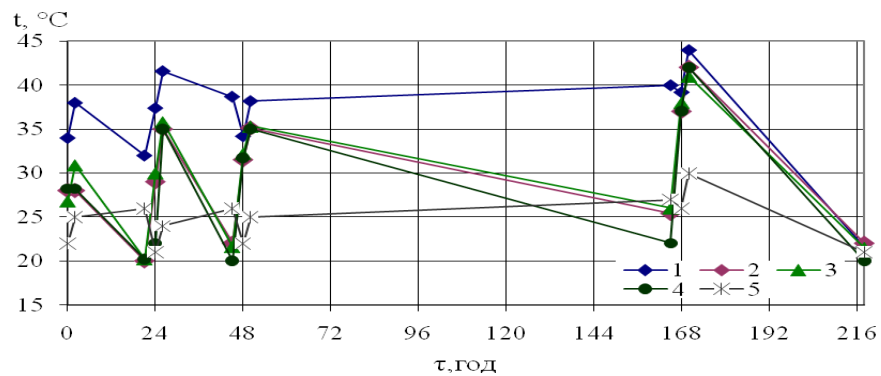


Рис. 5. Зміна температури продукту, повітря в камері та в навколишньому середовищі:

1 – у камері, 2 – продукт 1, 3 – продукт 2 секція, 4 - продукт 3 секція, 5 – у навколишньому середовищі

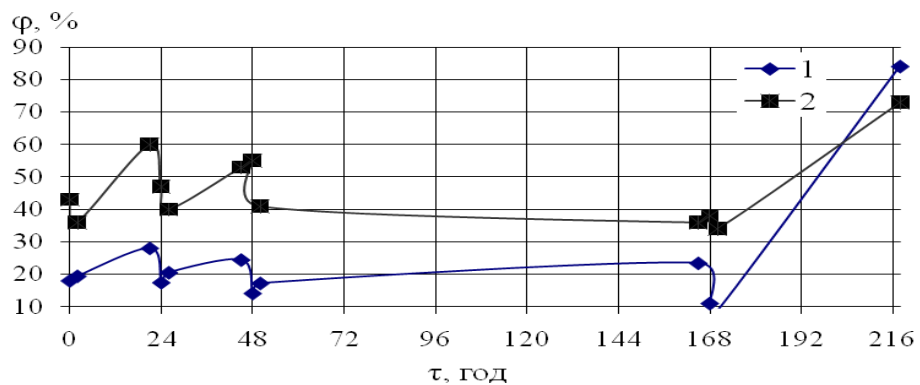


Рис. 6. Зміна відносної вологості повітря в камері (1) та в навколишньому середовищі (2)

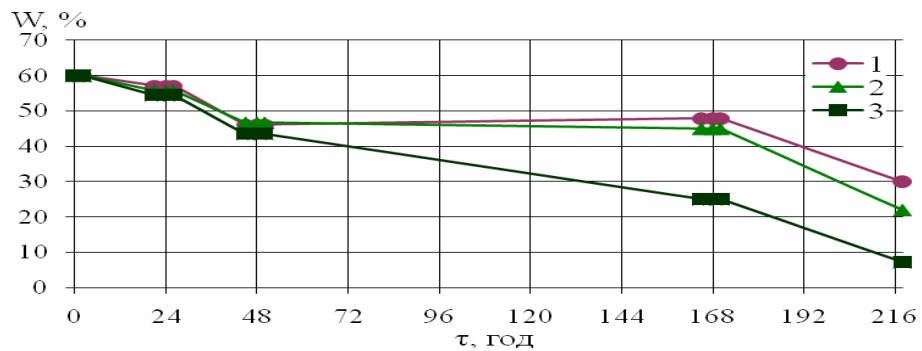


Рис. 7. Зміна вологості продукту:

1 - продукт у секції №1, 2 - продукт у секції №2, 3 - продукт у секції №3

Аналіз даних експериментів свідчить, що найбільш дієвим є вплив такого показника, як «ясність-хмарність». Це пояснюється саме провідним впливом сонячного випромінювання на підведення теплоти до матеріалу, який піддається сушінню. Тому при хмарній погоді навіть при досить високій температурі повітря інтенсивність процесу значно знижується.

Збільшення кількості перемішувань, які проводилися протягом сонячної частини доби, від одного до трьох призводить до збільшення питомої кількості відведеної від матеріалу вологи на 30 %.

Оскільки внутрішній масоперенос у частках матеріалу, який піддається випромінюванню, в умовах малого теплопідводу не зазнає відчутного опору, тому істотна зміна вологості матеріалу не призводить до відчутних змін процесу сушіння.

Відсутність відчутного впливу на швидкість сушіння товщини шару матеріалу не є несподіваною через те, що теплова енергія підводиться до шару через зовнішню поверхню, а вона не є залежною від товщини шару.

Розглядаючи параметри повітря в моделі сушарки, можна дійти висновку про те, що такий пристрій має властивості теплової «пастки»; про це свідчить значне перевищення температури у внутрішньому просторі над температурою у довкіллі, попри витрати теплової енергії на випаровування вологи.

Висновки і перспективи. За результатами експериментальних досліджень процесу сушіння під впливом сонячного випромінювання за допомогою зменшеної за розмірами моделі сонячної промислової сушарки визначено:

1. До факторів, які призводять до найбільш помітних змін питомої продуктивності лабораторної сушарки належать температура в довкіллі, «ясність-хмарність»; відносна вологість у довкіллі, кількість перемішувань, підігрівання підлоги.

2. Не призводять до істотного впливу на питому продуктивність сушарки товщина шару та початкова вологість матеріалу.

3. Застосований у моделі метод евакуації вологи дифузиею, а не повітрообміном, як це є загальноприйнятим, є достатньо ефективним, про що

свідчать вимірювання відносної вологості повітря в камері. Такий метод дозволяє мінімізувати втрати теплової енергії при повітрообміні.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 7369:2013 Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування і удобрювання. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=67921

2. Справочник наилучших доступных технологий для очистки сточных вод на предприятиях отраслей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства России. Книги 1-3. – М.: ООО «Деловые Медиа», 2014.

3. Zhao Lei, Chen Dezhen, Xie Jinlong. Sewage sludge solar drying practice and characteristic study. Available at: <http://www.researchgate.net/publication/251886141> (China, 2009).

4. Коханенко М.С Переробка мулу міських органічних стоків /Коханенко М.С, Шпільберг Л.Ю., Михалевич В.В. // XI Міжнародна конференція «Проблеми теплофізики та теплоенергетики» 21-22 травня 2019 р., м. Київ. Теплофізика та теплоенергетика. – 2019. – Т. 41, №5. – С. 60.

5. Кремньов В. О. Проблема утилізації осадів комунальних стічних вод і нові альтернативні комплексні біо- і теплотехнології / Кремньов В. О., Беляєв Г. В., Беляєва І. П., Корбут Н. С. // XI Міжнародна конференція «Проблеми теплофізики та теплоенергетики» 21-22 травня 2019 р., м. Київ. Теплофізика та теплоенергетика. – 2019. – Т. 41, №5. – С. 61.

6. Стецюк В. Г. Проблема механічного зневоднення застарілих осадів комунальних стічних вод і перспективи застосування флокулянтів перед їх сепарацією / Стецюк В.Г., Шпільберг Л.Ю., Корбут Н. С., Коханенко М.С. // XI Міжнародна конференція «Проблеми теплофізики та теплоенергетики» 21-22 травня 2019 р., м. Київ. Теплофізика та теплоенергетика.- 2019. – Т. 41, №5. – С. 62.

7. Шеліманова О. В. Використання енергії сонця для сушіння сільськогосподарської продукції // Енергетика і автоматика. – 2015. – № 3. – С.85 – 90.

References

1. DSTU 7369:2013 STICHNI VODY. Vymohy do stichnykh vod i yiknykh osadiv dlia zroshuvannya i udobriuvannya [Sewage. Requirements for wastewater and its sediments for irrigation and fertilization]. Available at: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=67921

2. Spravochnik nailuchshikh dostupnykh tekhnologiy dlya ochistki stochnykh vod na predpriyatiyakh otrasley promyshlennosti i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva Rossii Knyhy 1-3 (2014). [Directory of the best available technologies for wastewater treatment at enterprises of industries and housing and communal services of Russia. Books 1-3.]. Moskow: ООО «Delovyye Media».

3. Zhao Lei, Chen Dezhen, Xie Jinlong (2009). Sewage sludge solar drying practice and characteristic study. - <http://www.researchgate.net/publication/251886141/>

4. Kokhanenko M. S., Shpilberh L. I., 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, Kyiv. Teplofizyka ta teploenerhetyka, 41 (5), 60.

5. 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 municipal sewage sludge utilization and new alternative integrated bio- and heat technologies]. XI Mizhnarodna konferentsiia «Problemy teplofizyky ta teploenerhetyky» 21-22 travnia 2019, Kyiv. Teplofizyka ta teploenerhetyka, 41 (5), 61.

6. Stetsiuk V. H., Shpilberh L. Iu., Korbut N. S., Kokhanenko M. S. (2019). Problema mekhanichnoho znevodnennia zastarylykh osadiv komunalnykh stichnykh vod i perspektyvy zastosuvannia flokuliantiv pered yikh separatsiieiu [The problem of mechanical dehydration of obsolete municipal sewage sludge and prospects for the use of flocculants before their separation]. XI Mizhnarodna konferentsiia «Problemy teplofizyky ta teploenerhetyky» 21-22 travnia 2019, Kyiv. Teplofizyka ta teploenerhetyka, 41 (5), 62.

7. Shelimanova O. V. (2015). Vykorystannia enerhii sentsia dlia sushinnia silskohospodarskoI produktsii [Using solar energy to dry agricultural products]. Enerhetyka i avtomatyka, 3, 85 – 90.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД ЗА СЧЕТ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА

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

***Аннотация.** После очистки коммунальных сточных вод отложения в очистных сооружениях не удаляются в течение нескольких десятков лет. Это привело к накоплению на иловых площадках огромного количества иловых обложений, что является угрозой для окружающей среды.*

Цель данного исследования - накопление статистических данных о процессе сушки иловых отложений и изучение влияния количества перемешиваний продукта на удельную производительность по отведенной от материала влаге.

Опыты проводились с помощью уменьшенной в размерах модели солнечной промышленной сушилки. Модель располагалась с ориентацией удлиненной горизонтальной оси в направления восток-запад и выдвигалась за пределы сооружения в окружающую среду с помощью специальной системы.

Эвакуация пара, поступающего из высушиваемого материала, проводилась методом молекулярной диффузии через окно, которое было расположено на северной стенке модели и закрыто жалюзийной решеткой.

В экспериментах изменялись: время года, погодные условия, толщина слоя и начальная влажность материала и количество перемешиваний.

Определялись как условия в окружающей среде (температура и относительная влажность воздуха, «ясность-облачность»), так и условия в сушильной камере (температура и относительная влажность воздуха в объеме

камеры и в слое материала, влажность материала, удельная производительность модели сушилки по отводимой от материала влаге в течение суток).

Определено, что к наиболее заметным изменениям удельной производительности лабораторной сушилки приводят изменение температуры в окружающей среде, «ясность-облачность», относительная влажность наружного воздуха и количество перемешиваний.

Не приводят к существенного влияния на удельную производительность сушилки толщина слоя и начальная влажность материала.

Ключевые слова: *сточные воды, иловые отложения, солнечная сушилка*

STUDY OF THE PROCESS OF SLUDGE SEDIMENT DRYING DUE TO SOLAR ENERGY

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

Abstract. *After treatment of municipal wastewater sludge in treatment plants is not removed for several decades. This has led to the accumulation of huge amounts of sludge on sludge sites, which is a threat to the environment.*

The purpose of this study is to accumulate statistical data on the process of drying sludge and to study the effect of the amount of product mixing on the specific productivity relative to the moisture removed from the material.

The experiments were performed using a reduced model of a solar industrial dryer. The model was located with the orientation of the elongated horizontal axis in the east-west direction and was extended outside the building into the environment using a special system.

Evacuation of steam coming from the material to be dried was performed by molecular diffusion through a window, which was located on the north wall of the model and closed by a louver.

The experiments changed: season, weather conditions, layer thickness and initial moisture content of the material, the amount of mixing.

Both ambient conditions were determined: temperature and relative humidity, "clarity-cloudiness", and conditions in the drying chamber: temperature and relative humidity in the chamber volume and in the material layer, material humidity, specific productivity of the dryer model, in relation to the moisture removed from the material during the day.

It is determined that the most noticeable changes in the specific productivity of the laboratory dryer are caused by changes in ambient temperature, "clarity-cloudiness"; relative humidity of the outside air and the amount of mixing.

The layer thickness and the initial humidity of the material do not significantly affect the specific productivity of the dryer.

Key words: *waste water, sludge sediment, solar dryer*