

ФІЗИЧНИЙ АСПЕКТ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ШЛАМІВ ТЕС У ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ У БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

А. В. Пасенко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: pasenko2000@ukr.net

При моделюванні фізичного процесу сушки шламових відходів водоочищення теплоелектростанцій за умов низькотемпературного режиму основну увагу приділено процесу масопереносу. Рівняння теплопереносу при експериментально визначеному коефіцієнті дифузії і фіксованій температурі не вирішували, тому що конвективна складова перенесення теплоти під час сушки мала порівняна із кондуктивною складовою. Теоретичний аналіз фізичного процесу сушки шламових відходів встановив, що час висушування матеріалу не залежить від геометричної форми тіла і визначається його характерними параметрами (товщиною шару матеріалу, радіусом тіла) і фізичними параметрами (коефіцієнтом дифузії вологи, концентраціями вологи у матеріалі та в сушильному агенті). Одержані при моделюванні фізики процесу термічного зневоднення шламу водоочищення теплоелектростанцій аналітичні вирази можуть бути використані для інженерних оцінок часу сушки матеріалу без урахування технічних параметрів сушильного апарату.

Ключові слова: шламові відходи водоочищення теплоелектростанцій, утилізація, сушка, тепло-масоперенос, час, геометрична форма тіла.

ФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ШЛАМОВ ТЭС В ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

А. В. Пасенко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: pasenko2000@ukr.net

При моделировании физического процесса сушки шламовых отходов водоочистки теплоэлектростанций при условиях низкотемпературного режима основное внимание уделено процессу массопереноса. Уравнение теплопереноса при экспериментально определенном коэффициенте диффузии и фиксированной температуре не решали, потому что конвективная составляющая переноса теплоты во время сушки мала по сравнению с кондуктивной составляющей. Теоретический анализ физического процесса сушки шламовых отходов установил, что время высушивания материала не зависит от геометрической формы тела и определяется его характерными параметрами (толщиной слоя материала, радиусом тела) и физическими параметрами (коэффициентом диффузии влаги, концентрациями влаги в материале и в сушительном агенте). Полученные при моделировании физики процесса термического обезвоживания шлама водоочистки теплоэлектростанций аналитические выражения могут быть использованы для инженерных оценок времени сушки материала без учета технических параметров сушительного аппарата.

Ключевые слова: шламовые отходы водоочистки теплоэлектростанций, утилизация, сушка, тепло-массоперенос, время, геометрическая форма тела.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Головним напрямком розвитку промислового виробництва на початку третього тисячоліття є створення керованого техногенного обігу речовин в межах територіально-виробничих комплексів, а в перспективі – перехід усього промислового господарства на безвідходний або екологічно чистий спосіб виробництва з метою зниження антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище й забезпечення сталого функціонування біосфери в цілому. Тому актуальним питанням є докорінна реконструкція існуючих підприємств та організація й побудова нових промислових комплексів за умов дотримання вимог щодо ресурсо- й енергозбереження при реалізації виробничих процесів. При цьому значну увагу приділяють питанню збереження невідновлювальних природних ресурсів, у тому числі сировинних.

Сучасне суспільство нераціонально використовує природні ресурси, виробляючи споживчі товари з коротким терміном експлуатації при застосуванні ресурсо- й енергонеєфективних технологій, що супроводжуються утворенням значних обсягів відхо-

дів. Масштаб і характер використання природних ресурсів набувають катастрофічних розмірів і призводять до деградації навколишнього середовища. Не є винятком і матеріалоемна будівельна галузь.

Будівництво споживає біля третини усієї маси продукції матеріального виробництва, тому матеріальні ресурси складають більше половини усіх витрат на виробництво будівельно-монтажних робіт. Найважливіший резерв ресурсозбереження у будівництві – це широке використання вторинних матеріальних ресурсів, а саме відходів виробництва і споживання [1–6]. Вирішення проблеми ресурсозбереження у будівництві шляхом використання промислових відходів забезпечить виробництво на 40 % джерелом дешевої й, у більшості випадків, підготовленої сировини; призведе до 35–50 % економії капіталовкладень при добуванні й переробці природної сировини; підвищить їх рентабельність – на 10–30 % знизяться витрати на виготовлення будівельних матеріалів у порівнянні з виробництвом їх із природної сировини; попередить відчуження значних земельних площ для промислових зон і забезпе-

чить зниження рівня забруднення довкілля [7–9]. Застосування промислових відходів надає можливість отримати нові ефективні будівельні матеріали, що мають комплекс кращих технічних властивостей у порівнянні з традиційними, і в той же час характеризуються меншими показниками ресурсоемності на етапах як виробництва, так і застосування [10–14].

У роботі запропоновано застосовувати відходи промислових об'єктів теплоенергетики – шлами водоочищення теплоелектростанцій (ТЕС) як карбонатвмісний наповнювач бетонної суміші при виробництві тротуарної плитки [15, 16].

На попередніх етапах роботи було розроблено технологічну схему переробки шламових відходів водоочищення теплових електростанцій з позицій ресурсо- й енергозбереження для їх подальшої утилізації в будівельній галузі [17].

Схема переробки вказаних відходів за умов мінімізації енерговитратності технології передбачає екологічно й економічно доцільний спосіб їх зневоднення із застосуванням вторинних енергоресурсів підприємства – теплоти відпрацьованих димових газів в процесі термічного глибокого видалення вологи зі шламу. За схемою термічний спосіб сушки для отримання матеріалу з 5 – 10% вологістю здійснюють конвективним способом за умов низькотемпературного режиму [18].

Технологічний процес сушки супроводжується фізичними явищами перенесення тепла і маси: теплообміном між поверхнею матеріалу і навколишнім середовищем, випаровуванням вологи з поверхні матеріалу у навколишнє середовище, переміщенням тепла усередині матеріалу, переміщенням вологи усередині матеріалу. Теоретичне обґрунтування фізичних процесів тепломасопереносу при термічній обробці матеріалу – важливий етап для визначення технологічних умов сушки. Для експериментального визначення параметрів технологічних режимів сушки шламу необхідно провести їх попередній детальний аналіз з теоретичним обґрунтуванням домінуючих фізичних явищ.

Таким чином, теоретичне обґрунтування фізики термічного процесу при реалізації технологічної схеми утилізації шламових відходів водоочищення ТЕС є актуальним науково-прикладним завданням.

Метою роботи було теоретичне дослідження фізичних закономірностей тепло-масопереносу за заданих умов в процесі конвективної сушки шламових відходів ТЕС.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати фізичні процеси тепло-масопереносу під час сушки шламових відходів;
- провести аналіз тепломасопереносу в процесі сушки залежно від геометричної форми частинок шламового матеріалу;
- отримати аналітичний математичний вираз щодо визначення часу сушки шламового матеріалу залежно від геометричної форми тіла.

У процесі термічної сушки вологий матеріал наближається до фазової рівноваги, при якій спостері-

гається рівність хімічних потенціалів рідини і пари. Досягши цієї рівноваги, сушка припиняється. Технологічно це складний процес.

При висушуванні частинок шламу виникають два процеси, що йдуть у протилежних напрямках. Перший процес, або період постійних умов, продовжується до тих пір, поки випаровування відбувається вільно і на всіх частинках шламу ще залишається плівка води. Протягом цього періоду температура висушуваного матеріалу не піднімається вище за точку роси газів, які видаляються й виносять воду, що випарувалася. Другий період, який перебігає зі швидкістю, що зменшується, починається у той момент, коли зовнішня волога випаровується настільки, що не покриває суцільно всю поверхню частинок шламу. Сухі поверхні частинок починають стикатися із повітряним шаром, і швидкість випаровування зменшується. Швидкість випаровування залежить від того, наскільки швидко волога переміщається з внутрішніх частин шламових частинок на поверхню. Як тільки вода з поверхні видалена, випаровування відбувається у тих шарах частинки, які лежать усередині, під поверхнею. За цих умов поверхня може сильно нагрітися, тоді як усередині ще присутня значна кількість вологи.

Інтенсивність термічної сушки матеріалу залежить від багатьох чинників, головними з яких є: опірність матеріалу перенесенню вологи усередині нього і з його поверхні у навколишнє середовище; сила зв'язку вологи з матеріалом; здатність матеріалу сприймати тепло, що підводиться. В умовах реалізації технології на швидкість сушки частинок шламу впливають: вміст зовнішньої вологи у вихідному шламі; температура відпрацьованих газів ТЕС; температура нагрітого повітря, що поступає в сушарку; середня крупність твердих частинок шламу; вміст зовнішньої вологи у висушеному шламі. Але емпіричні дані свідчать, що визначальним чинником є внутрішня структура матеріалу, що підлягає висушуванню.

При проведенні кількісного модельного аналізу процесу сушки з реально вимірюваними параметрами необхідно приймати до уваги внутрішню структуру матеріалу, його теплофізичні властивості, розміри, форму й стан поверхні, інтервал зміни вологовмісту матеріалу. Аналітична модель повинна враховувати вплив на процес сушки стану сушильного агенту: його температуру; відносну вологість; поле швидкостей руху щодо висушуваного матеріалу.

Процес сушки є типовим нестационарним процесом тепломасопереносу, який може бути описаний найбільш загальною системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial(U\rho)}{\partial t} = -\text{div}(\vec{J}_{\text{диф}} + J_{\text{моль}}) + G; \\ C_T \rho \frac{\partial T}{\partial t} = -\text{div}[j_q + q(\vec{J}_{\text{диф}} + J_{\text{моль}})] + qG, \end{cases} \quad (1)$$

де U – відносна концентрація вологи (по відношенню до маси сухої речовини), $[U]$ – безрозмірні величини; ρ – щільність абсолютно сухого тіла (при нехтуванні усадкою), $[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $J_{\text{диф}}$, $J_{\text{моль}}$ – щільність дифузійного і молярного потоків, відповідно, $[j] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек}}$; G – об'ємна швидкість генерації потоку за рахунок фазових переходів, $[G] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{сек}}$; C_T – приведена питома теплоємність тіла, $[C] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{K}}$; t – час, $[t] = \text{сек}$; j_q – щільність потоку теплоти за рахунок теплопровідності, $[j_q] = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек}}$; q – питома ентальпія тіла, $[q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

У капілярно-пористих вологих тілах в процесі сушки конвективна складова перенесення теплоти мала порівняно із кондуктивною складовою (сумарний коефіцієнт теплопровідності в дисперсних середовищах дорівнює коефіцієнту молекулярної теплопровідності). Тому система диференціальних рівнянь тепловологопереносу за відсутності градієнта спільного тиску матиме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial t} = D \nabla^2 U + D_T \frac{\nabla^2 T}{T}; \\ \frac{\partial T}{\partial t} = a_\Sigma \cdot \nabla^2 T + D_{II} \frac{r_1}{C_o} \nabla^2 U, \end{cases} \quad (2)$$

де D , D_T – коефіцієнти дифузії і термодифузії вологи відповідно, $[D] = \frac{\text{м}^2}{\text{сек}}$, $[D_T] = \frac{\text{м}^2}{\text{сек}}$; D_{II} – коефіцієнт дифузії пари, $[D_{II}] = \frac{\text{м}^2}{\text{сек}}$; a_Σ – сумарний коефіцієнт температуропровідності, $[a_\Sigma] = \frac{\text{м}^2}{\text{сек}}$; r_1 – питома теплота конденсації пари, $[r_1] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; C_o – питома теплоємність вологого тіла, $[C_o] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{K}}$.

У процесі сушки в капілярно-пористих вологих тілах конвективна складова перенесення теплоти мала у порівнянні з кондуктивною складовою (сумарний коефіцієнт теплопровідності в дисперсних середовищах дорівнює коефіцієнту молекулярної теплопровідності). Більш того, при створенні у сушильній камері стаціонарного рівноважного стану (відносно теплового поля і тиску) концентраційна складова ($D \cdot \nabla C$) стає переважаною, і основним механізмом впливу температури на масоперенос

вологи буде збільшення коефіцієнту дифузії $D(T(x, y, z))$ із зростанням температури, що підтверджується формулою Ареніуса:

$$D = D_o \cdot e^{-\frac{Q}{kT(x,y,z)}}, \quad (3)$$

де D_o , Q – постійні, що визначаються природою дифундуєчої речовини; k – стала Больцмана.

У таких умовах при експериментально визначеному коефіцієнту дифузії D при фіксованій температурі немає необхідності у додатковому вирішенні рівняння теплопереносу.

Проаналізуємо вплив геометричної форми тіла, що підлягає сушці, на час видалення вологи до заданої величини. У разі значної площини стикання робочого матеріалу з сушильним агентом найбільш простою математичною моделлю вологовидалення в рамках комплексного завдання може бути одновимірною моделлю масо переносу (рис. 1).

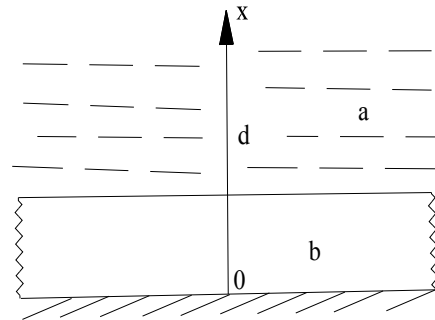


Рисунок 1 – Схема одновимірної моделі масо переносу вологи: а – сушильний агент; б – вологовмісний матеріал

У цьому випадку математичне формулювання часової залежності загальної кількості вологи, що залишається у всьому об'ємі матеріалу під час сушки, у розмірних одиницях при використанні методу розділення змінних має вигляд:

$$\bar{C}(t) = C_c + 2(C_o - C_c) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin^2 \mu_n}{\mu_n (\mu_n + \sin \mu_n \cdot \cos \mu_n)} \cdot e^{-\mu_n^2 \frac{D}{d^2} t}, \quad (4)$$

де C_c – концентрація вологи в сушильному агенті; C_o – початкова концентрація вологи у матеріалі; D – коефіцієнтом дифузії вологи; d – товщина шару; t – час; μ_n – корені трансцендентного рівняння $\mu \cdot \text{tg} \mu = h$.

Для знаходження речових коренів рівняння $\mu \cdot \text{tg} \mu = h$ досить побудувати графіки функцій

$y = \text{ctg} \mu$, $y = \frac{\mu}{h}$ і потім визначити абсциси точок

перетину цих кривих (рис. 2). Точні чисельні значення μ_n можна знайти за допомогою ЕОМ при відомій величині h .

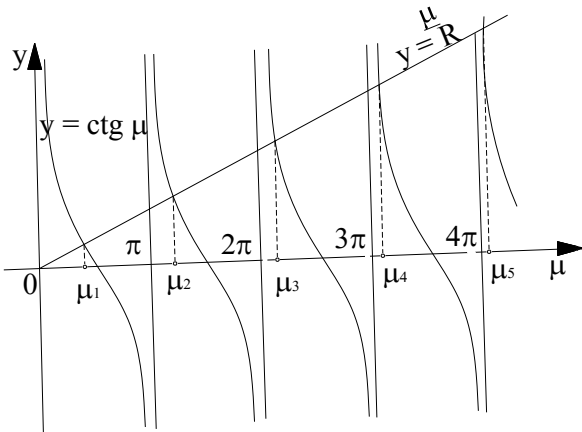


Рисунок 2 – Графічний спосіб визначення коренів характеристичного рівняння для випадку одновимірної моделі

Для отримання аналітичного виразу щодо визначення часу сушки τ_k , який необхідний для досягнення кінцевої концентрації вологи у матеріалі \bar{C}_k , що висушують, у виразі (4) обмежимося найбільш важливим першим членом ряду збігається)

$$\bar{C}_k(t) \approx C_c + 2(C_o - C_c) \cdot \frac{\sin^2 \mu_1}{\mu_1 \cdot (\mu_1 + \sin \mu_1 \cdot \cos \mu_1)} \cdot e^{-\mu_1^2 \frac{D}{d^2} \tau_k},$$

звідки логарифмуванням одержуємо:

$$\tau_k \approx \frac{d^2}{\mu_1^2 \cdot D} \cdot \ln \frac{2(C_o - C_c) \cdot \sin^2 \mu_1}{(\bar{C}_k - C_c) \cdot \mu_1 \cdot (\mu_1 + \sin \mu_1 \cdot \cos \mu_1)}. \quad (5)$$

Якщо концентрація вологи біля поверхні тіла і в потоці C_c , що оточує тіло, дорівнює нулю, то аналітичний вираз (5) спрощується і набуває вигляду:

$$\tau_k \approx \frac{d^2}{\mu_1^2 \cdot D} \cdot \ln \frac{2C_o \cdot \sin^2 \mu_1}{C_k \cdot \mu_1 \cdot (\mu_1 + \sin \mu_1 \cdot \cos \mu_1)}. \quad (6)$$

Як видно з отриманої залежності, реально зменшити час сушки матеріалу можна або зменшенням шару d матеріалу (шламу) або збільшенням коефіцієнту дифузії D , тобто згідно з формулою Ареніуса – збільшенням температури сушки T .

При використанні сушильної камери циліндричної форми викликає інтерес дослідження масопереносу матеріалу, що висушується, який у разі щільної упаковки, набуде циліндричної форми камери сушки.

Розглянемо необмежене за віссю Z циліндричне тіло радіусом r_o . Масоперенос, який у цьому випадку нас цікавить, має радіальний характер з радіус-вектором r і не залежить від азимутального кута ϕ .

За час τ_k у всьому об'ємі тіла вологи залишиться \bar{C}_k (усереднено за r):

$$\bar{C}_k = C_c + 4(C_o - C_c) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{G_1^2(\mu_n)}{\mu_n^2 [G_o^2(\mu_n) + G_1^2(\mu_n)]} \cdot e^{-\mu_n^2 \frac{D}{r_o^2} \tau_k}, \quad (7)$$

де $G_o(\mu_n)$, $G_1(\mu_n)$ – функції Бесселя першого роду нульового і першого порядків, відповідно; μ_n

– рішення рівняння
$$\frac{G_o(\mu_n)}{G_1(\mu_n)} = \frac{\mu_n}{h}.$$

Для визначення τ_k , як і раніше отримуємо логарифмуванням виразу (7), обмежуючись першим членом ряду,

$$\tau_k \approx \frac{r_o^2}{\mu_1^2 D} \cdot \ln \left\{ \frac{4(C_o - C_c)}{C_k - C_c} \cdot \frac{G_1^2(\mu_1)}{\mu_1^2 [G_o^2(\mu_1) + G_1^2(\mu_1)]} \right\}. \quad (8)$$

Проаналізуємо залежності τ_k від значень розв'язку μ_1 для лінійної та циліндричної форми тіла, що висушується. В області малих значень μ_1 ($\mu_1 \ll 1$) маємо для лінійної моделі і циліндричної моделей відповідно:

$$\tau_k \approx \frac{d^2}{\mu_1^2 D} \ln \frac{C_o - C_c}{\bar{C}_k - C_c}, \quad (9)$$

$$\tau_k \approx \frac{r_o^2}{\mu_1^2 D} \ln \frac{C_o - C_c}{\bar{C}_k - C_c}. \quad (10)$$

При величинах $\mu_1 \gg 1$ маємо для лінійної і циліндричної моделей відповідно:

$$\tau_k \approx \frac{d^2}{\mu_1^2 D} \ln \frac{2(C_o - C_c)}{(\bar{C}_k - C_c) \mu_1^2}, \quad (11)$$

$$\tau_k \approx \frac{r_o^2}{\mu_1^2 D} \ln \frac{2(C_o - C_c)}{(\bar{C}_k - C_c) \mu_1^2}. \quad (12)$$

З виразів (9), (10), (11), (12) видно, що характер залежності τ_k від μ_1 не змінюється при переході від лінійної до об'ємної циліндричної форми тіла, яке підлягає висушуванню.

ВИСНОВКИ. 1. У процесі сушки шламового матеріалу конвективна складова перенесення теплоти мала у порівнянні з кондуктивною складовою і при експериментально визначеному коефіцієнту дифузії

D при фіксованій температурі немає необхідності у вирішенні рівняння теплопереносу. Тому увагу необхідно концентрувати на фізичному процесі масо-переносу під час сушки шламу.

2. Теоретичний аналіз процесу сушки встановив, що лінійна та циліндрична форми тіла, що висушують, не мають переваги один перед одним за швидкістю процесу сушки.

3. Теоретично доведено, що час висушування у розглянутих моделях незалежно від геометричної форми визначається характерними параметрами тіла d , r_0 (товщиною шару матеріалу, радіусом тіла) та фізичними параметрами D , C_0 , \bar{C}_k , C_c (відповідно коефіцієнтом дифузії вологи, початковою і кінцевою концентраціями вологи у матеріалі, що висушується, концентрацією вологи в сушильному агенті).

4. Одержані аналітичні вирази можуть бути використані для інженерних оцінок часу сушки матеріалу без врахування технічних параметрів сушильного апарату.

5. Для подальшого моделювання процесу сушки дослідного матеріалу об'єктом обрана структурна одиниця шламу – гранула, тому що представлені моделі не враховують гранулометричних характеристик досліджуваного матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гусев А.Д. Эффективные строительные материалы с использованием техногенных отходов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Гусев Алексей Дмитриевич. – Пенза, 2012. – 187 с.

2. Алиев С.А. Бетонные композиты на основе техногенного сырья для условий сухого жаркого климата: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Алиев Саламбек Алимбекович. – Махачкала, 2011. – 187 с.

3. Бондаренко Г.В. Метод разработки состава многокомпонентного минерального вяжущего на основе техногенного сырья: дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.05 / Бондаренко Галина Викторовна. – Череповец, 2012. – 202 с.

4. Обогащение и комплексное использование минеральных ресурсов / Н.И. Березовский, С.Н. Березовский, Б.В. Лесун. – Минск: БИП, 2012. – 91 с.

5. Ресурсосберегающая комплексная переработка минерального техногенного сырья в производстве строительных материалов / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Бердов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 1. – С. 46–53.

6. Ресурсосберегающие технологии строительства асфальтобетонных дорожных покрытий с использованием отходов производства / К.Г. Пугин, Е.В. Калинина, А.Р. Халитов // Вестник Пермского нацио-

нального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2011. – № 2. – С. 60–69.

7. Строительные материалы из отходов промышленности / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 357 с.

8. Ничкасов А. И. Энерго- и ресурсосбережение - инновационный путь развития строительной отрасли // Энергоэффективность. – 2011. – № 11. – С. 16–19.

9. Экологические, материаловедческие и технологические аспекты применения зол ТЭС в бетоне / Ж.С. Белякова, Е.Г. Величко, А.Г. Комар // Строительные материалы. – 2001. – № 3. – С. 46–48.

10. Костин В.В. Применение зол и шлаков ТЭС в производстве бетонов. – Новосибирск: НГАСУ, 2001. – 174 с.

11. Пористые заполнители из шлаков тепловых электростанций для однослойных стеновых панелей / В.П. Петров, С.Ф. Коренькова, Б.А. Максимов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – № 9. – С. 14–15.

12. Костин В. В. Эффективные строительные материалы на основе зол ТЭС // Известия вузов. Строительство. – 2006. – № 5. – С. 37–41.

13. Утилизация золы-уноса ТЭС в производстве строительных материалов / В.Г. Лемешев, С.В. Петров // Известия вузов. Строительство. – 2002. – № 5. – С. 46–49.

14. Мелкозернистый бетон на основе отходов добычи и сжигания углей / Н. И. Буравчук, О.В. Гурьянова, Е.П. Окороков, Л.Н. Павлова // Экологический вестник России. – 2009. – № 11. – С. 27–31.

15. Пасенко А.В. Шлам водоочистения теплоелектростанцій як кальційвмісний наповнювач у виробництві будматеріалів // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – Вип. 3/2013 (80). – С. 160–165.

16. Пасенко А.В. Застосування шламових відходів водоочистения теплоелектростанцій у виробництві тротуарної плитки // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2011. – Вип. 6/2011 (71). – С. 157–160.

17. Пасенко А.В. Зневоднення шламу водоочистения теплоелектростанцій // Неделя экологов – 2010. Экологические проблемы горно-металлургических регионов. Прогрессивные информационные и технологические решения: Материалы междунар. симпозиума, 12–15 октября 2010 г.: тезисы докладов. – Днепропетровск, 2010. – С. 128–130.

18. Пасенко А.В. Технологічне забезпечення процесу переробки відходів водоочистения теплоелектростанцій на етапі зневоднення шламової пульпи // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – Вип. 2/2013 (79). – С. 133–138.

PHYSICAL ASPECT OF SLUDGE THERMAL TREATMENT AT A THERMAL POWER PLANT IN WASTE MANAGEMENT TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION ENGINEERING

A. Pasenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: pasenko2000@ukr.net

The author has considered the physics modeling of the sewage sludge drying treatment at a thermal power plant in conditions of low-temperature mode operation, and with much attention paid to the mass transfer. The heat transfer

equation was not considered for the observable diffusion coefficient and constant temperature as a convection component of heat transfer while sewage sludge drying is much lower than the conductive one. Theoretical study of physics of sewage sludge drying has shown that substance drying time does not depend on the geometrical configuration of the object treated but on its peculiar features (material layer thickness, radius) and physical parameters (the moisture diffusion coefficient, the moisture concentration in the material and in the drying agent). The analytical expressions obtained through the physics modeling of thermal dewatering of sewage sludge at a thermal power plant can be used in practice of engineering assessment of substance drying time with no technical parameters of the dryers factored in.

Key words: sewage sludge of thermal power plants, utilization, drying, heat and mass transfer, time, geometrical configuration of an object.

REFERENCES

1. Gusev, A.D. (2012), "Effective construction materials using technogenic wastes", Thesis, Cand. Sci., engineering, 05.23.05, Penza, Russia.
2. Aliev, S.A. (2011), Concrete composites based on the technogenic raw materials in the conditions of hot and dry climate", Thesis, Cand. Sci., engineering, Makhachkala, Russia.
3. Bondarenko, G.V. (2012), "The development method of composition of multi-component mineral bounding material based on technogenic raw material", Thesis, Cand. Sci., engineering, 05.23.05, Cherepovets, Russia.
4. Berezovskii, N.I., Berezovskii, S.N., Lesun B.V. (2012), *Obogashchenie i kompleksnoe ispolzovanie mineralnykh resursov* [Enrichment and complex use of mineral resources], BIP, Minsk, Belarus.
5. Stolboushkin, A.Yu., Berdov, G.I. (2011), "Resource-saving complex treatment of mineral technogenic raw materials in construction materials production", *Izv. Vuzov. Stroitelstvo*, no.1, pp. 46–53.
6. Pugin, K.G., Kalinina, E.V., Khalitov, A.R. (2011), "Resource-saving technologies for building of asphaltic concrete using industrial wastes", *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Urbanistika*, no. 2, pp. 60–69.
7. Dvorkin, L.I., Dvorkin, O.L. (2007), *Stroitelnye materialy iz otkhodov promyshlennosti* [Construction materials made from industrial wastes], Pheniks, Rostov-na-Donu, Russia.
8. Nichkasov, A.I. (2011), "Energy and resource saving: innovative development of construction engineering, *Energoeffektivnost*, no. 11, pp. 16–19.
9. Belyakova, Zh.S., Velichko, E.G., Komar, A.G. (2001), Ecological, materials research, and technological aspects of use of ashes from thermal power plants for making concrete, *Stroitelnye materialy*, no. 3, pp. 46–48.
10. Kostin, V.V. (2001), *Primenenie zol i shlakov TES v proizvodstve betonov* [Using ash and sludge from TPP for concrete manufacturing], NGASU, Novosibirsk, Russia.
11. Petrov, V.P., Korenkova, S.F., Maksimov, B.A. (2002), "Using porous aggregates made from sludge of thermal power plants for single-wall panels", *Construction materials, the equipment, technologies of XXI century*, no. 9, pp. 14–15.
12. Kostin, V.V. (2006), "Effective construction materials based on the TTP ashes", *Izv. Vuzov, Stroitelstvo*, no. 5, pp. 37–41.
13. Lemeshev, V.G., Petrov, S.V. (2002), "Utilization of TTP fly-ash in construction materials manufacturing", *Izv. Vuzov, Stroitelstvo*, no. 5, pp. 46–49.
14. Buravchuk, N.I., Guryanova, O.V., Okorokov, E.P., Pavlova, L.N. (2009), "Fine concrete based on the coal production and combustion", *Ekologicheskii vestnik Rossii*, no. 11, pp. 27–31.
15. Pasenko, A.V. (2013), "Sewage sludge of thermal power plants as a calciferous filler in construction materials production", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, iss. 3(80), pp. 160–165.
16. Pasenko, A.V. (2011), "Using of water treatment sludge waste from thermal power plants in paving slabs production", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, iss. 6 (71), pp. 157–160.
17. Pasenko, A.V. (2010), "Dehydration of sewage sludge of thermal power plants", *Proc. Int. Symp. Ecological problems of mining and metallurgical regions. Advanced information and technological solutions. Ecological week – 2010.*, 12–15 Oct, 2010, Dneprodzержinsk, Ukraine, pp. 128–130.
18. Pasenko, A.V. (2013), "Engineering support of wastewater treatment at thermal power plants on the stage of slime pulp dehydrating", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, iss. 2 (79), pp. 133–138.

Стаття надійшла 24.10.2013.