УДК 66.047

КІНЕТИКА ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ШЛАКУ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Атаманюк В. М., д.т.н., професор, Барна І. Р., аспірант
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

У роботі наведені результати експериментальних та теоретичних досліджень кінетики та динаміки фільтраційного сушіння шлаку теплових електростанцій.

Experimental and theoretical investigation of kinetics and dynamics during filtration drying of slag of thermal power plants is shown in work.

Ключові слова: шлак, стаціонарний шар, кінетика, динаміка, тепловий агент, фільтраційне сушіння.

Постановка проблеми. Екологічна ситуація, що склалася в Україні є досить напруженою та в основному пов'язана із багаторічним нагромадженням великої кількості золошлакових відходів діяльності теплових електростанцій (ТЕС). Згідно статистичних даних про роботу ТЕС на 1 кВт виробленої потужності щорічно утворюється в середньому 500 кг золошлакових відходів, внаслідок чого техногенне навантаження на території України в 6–7 разів вище, ніж у розвинених країнах Європи [1]. Як свідчить досвід ведучих країн світу, зокрема США та Росії, зменшення негативного впливу відходів ТЕС на довкілля можна досягнути, використовуючи їх як вторинну сировину у промисловості будівельних матеріалів [2]. Це особливо актуально в наш час, коли сировинна база будівельної промисловості України забезпечується в основному за рахунок вичерпних природних мінеральних ресурсів.

Одним з перспективних напрямків утилізації золошлакових відходів є виробництво з них пористого наповнювача – шлакового гравію. Аналіз технологічного процесу виробництва шлакового гравію показав, що одним із найбільш затратних етапів виробництва шлакового гравію є сушіння сировинних матеріалів (шлаку, глини) та сирцевих гранул. Як відомо, існуючі методи сушіння характеризуються значними енергетичними затратами, що відповідно впливає на собівартість отриманих будівельних виробів, тому дослідження процесу сушіння цих матеріалів з метою зменшення енергетичних затрат є актуальною задачею.

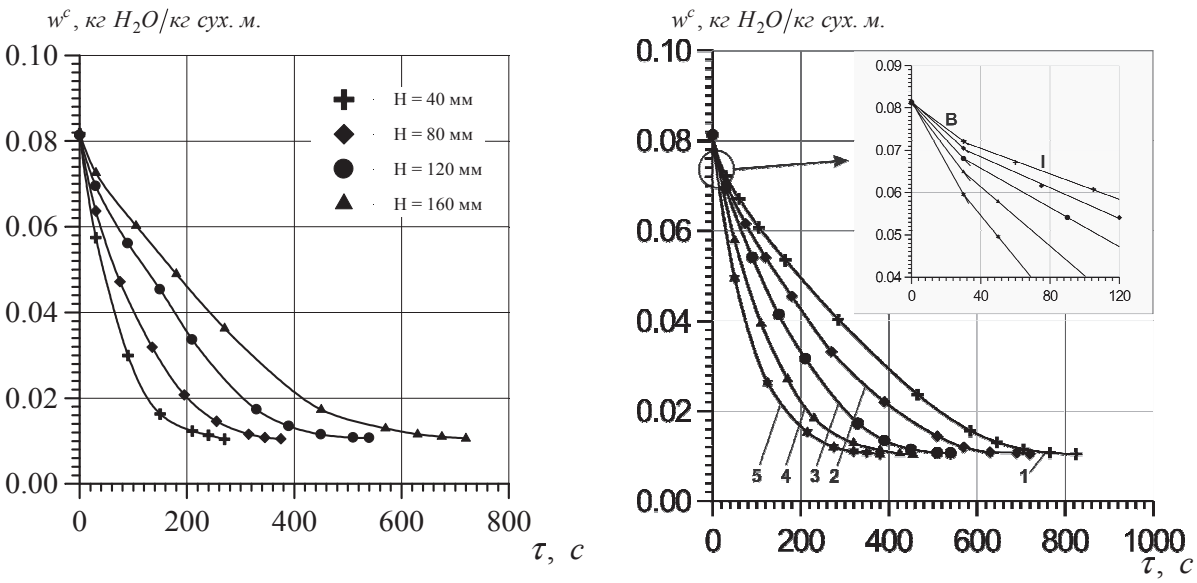
Метою роботи є теоретичне та експериментальне дослідження фільтраційного сушіння шлаку ТЕС.

Аналіз джерел літератури. Дослідженню процесу фільтраційного сушіння присвячено ряд наукових робіт, зокрема [3-9]. В цих роботах наведено, що фільтраційне сушіння є одним із високоефективних методів, суть якого полягає у профільтровуванні теплового агенту в напрямку "вологий матеріал – перфорована перегородка" за рахунок перепаду тисків. В роботі [8], автором досліджена кінетика фільтраційного сушіння кеку глиноземистого і піритних недогарків та встановлено, що температура теплового агенту по висоті шару змінюється, внаслідок нагрівання шару, що призводить до зменшення інтенсивності сушіння вологих частинок. Встановлено, що швидкість сушіння є тим вищою, чим вища температура і об'ємна витрата теплового агенту. Авторами роботи [9], визначено коефіцієнт внутрішньої дифузії залежно від температури теплового агента під час фільтраційного сушіння "енергетичної" верби. Проте наведені в цих роботах дослідження стосуються конкретних матеріалів та режимів масообміну і застосувати їх для інших матеріалів є неможливо.

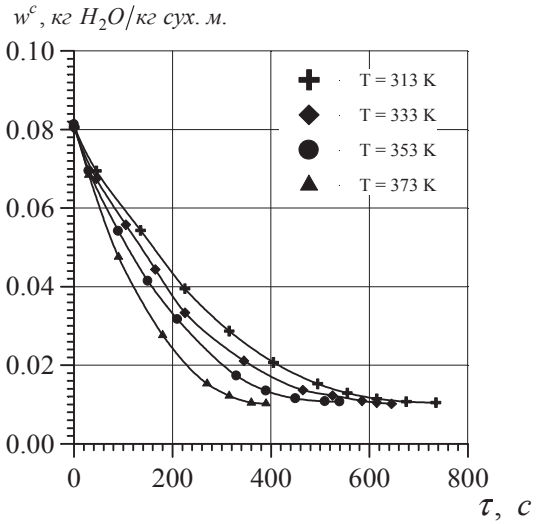
Аналіз джерел літератури також показав, що кінетиці сушіння шлаку ТЕС на сьогодні практично не приділяється уваги, тому теоретичні та експериментальні дослідження процесів його висушування мають актуальне значення.

Експериментальна частина. Шлак ТЕС – це щільні гранули у вигляді механічно подрібнених склистих зерен неправильної форми. На більшості діючих ТЕС застосовують систему гідротранспорту золошлакових сумішей у відвали. Початкова вологість шлаку є не високою та становить приблизно 7 – 10%, що пояснюється склоподібною будовою шлаку і відсутністю відкритих пор. Основна кількість вологи матеріалу міститься у міжзерновому просторі шару і на поверхні частинок.

Кінетика сушіння описує зміну вологості матеріалу на протязі процесу сушіння, залежно від властивостей висушуваного матеріалу, та найпростіше її дослідження є експериментальне. Експериментальні дослідження кінетики фільтраційного сушіння шлаку проводились на експериментальній установці та за методикою наведеною в роботі [10]. Нами досліджувався вплив температури T, швидкості фільтрування теплового агенту υ_0 і висоти шару матеріалу h на кінетику фільтраційного сушіння. Експериментальні дослідження наведені на рис. 1 у вигляді кінетичних кривих зміни вологовмісту w^c в часі τ.



а) б)



в)

а) за різних висот шару $(\upsilon_0 = 1{,}33 м/с,\ T = 353K)$;

б) за різної швидкості руху теплового агенту $(T = 353K, H = 120 мм)$;

$(1 - \upsilon_0 = 0{,}63\ м/с,\ 2 - \upsilon_0 = 0{,}98 м/с,\ 3 - \upsilon_0 = 1{,}33 м/с,\ 4 - \upsilon_0 = 1{,}67 м/с,\ 5 - \upsilon_0 = 2{,}02\ м/с)$;

в) за різної температури теплового агенту $(\upsilon_0 = 1{,}33 м/с,\ H = 120 мм)$

Рис. 1 – Зміна вологості шару шлаку в часі

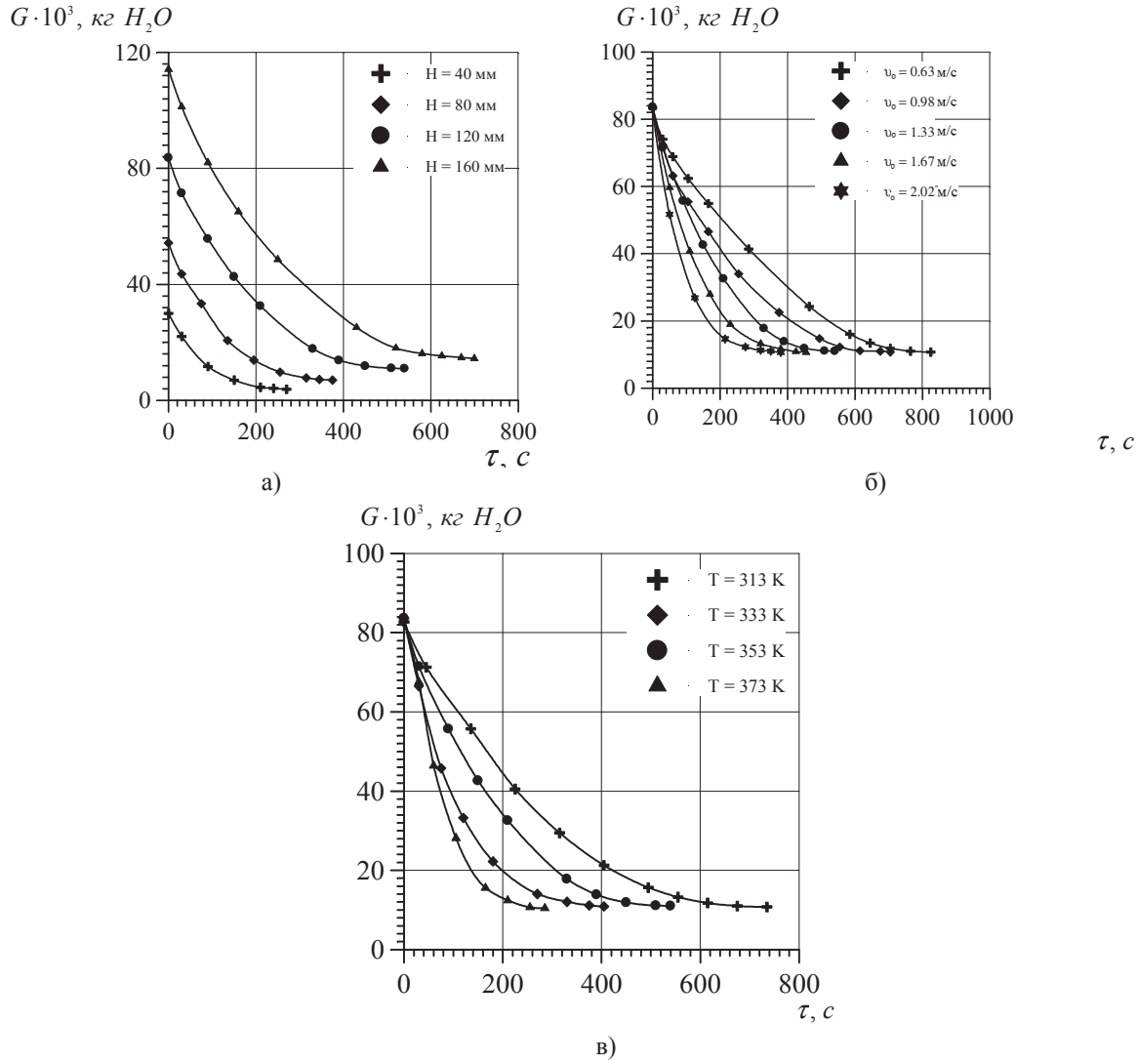
З графічної залежності рис. 1а видно, що за однакової температури та швидкості теплового агенту (однакового сушильного потенціалу), тангенс кута нахилу прямолінійних ділянок кінетичних кривих зменшується, тобто чим менша висота шару шлаку тим менший шлях фронту масоперенесення до перфорованої перегородки [5].

Аналіз рис. 1 б показує, що збільшення швидкості фільтрування теплового агенту дає змогу внести в шар більше теплоти, і відповідно випарувати більше вологи, тому тангенс кута нахилу прямолінійної ділянки кінетичних кривих до осі абсцис зростає. Аналогічно і у випадку, коли зростає температура теплового агенту (див. рис. 1в).

Аналізуючи кінетичні криві сушіння шлаку (див. рис. 1 б) можна зробити висновок, що фільтраційне сушіння шлаку характеризується трьома основними етапами видалення вологи: механічне винесення

вологи, період повного насичення та період часткового насичення теплового агенту вологою [11]. Існування механічного винесення вологи пояснюється наявністю вільної вологи, яка механічно утримується між частинками шлаку, які формують шар. Як видно з рис. 1 б протягом короткого проміжку часу 30 с спостерігаємо механічне винесення приблизно 10 % вологи, що пояснюється незначною кількістю вологи, яка утримується частинками шару за рахунок сил поверхневого натягу.

На рис. 2 наведена динаміка видалення вологи під час фільтраційного сушіння шлаку у вигляді графічної залежності залишкової кількості вологи у шарі в часі залежно від параметрів теплового агенту та висоти шару.



а) за різних висот шару $(\upsilon_0 = 1{,}33 м/с,\ T = 353K)$;

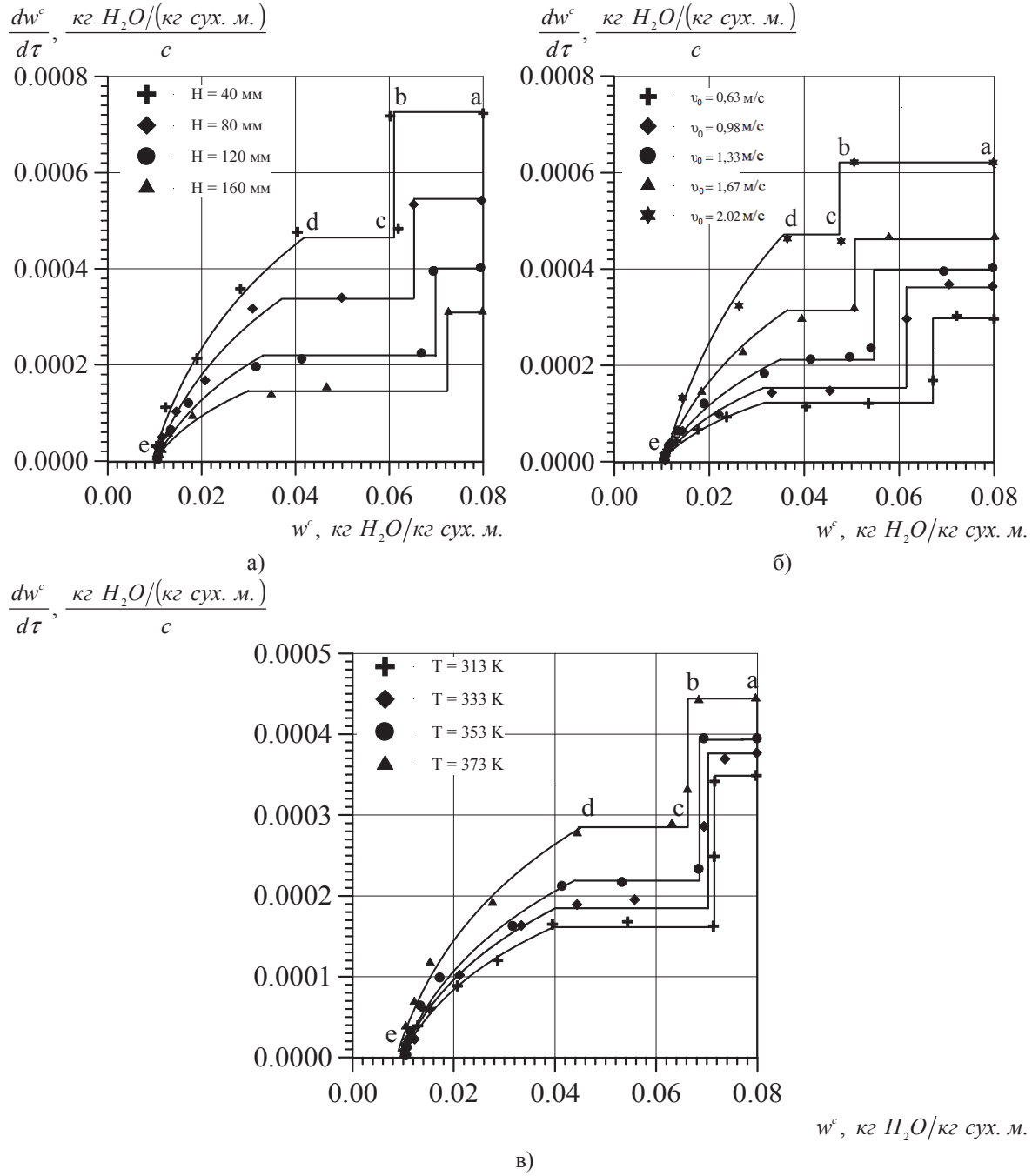
б) за різної швидкості руху теплового агенту $(T = 353K, H = 120 мм)$;

в) за різної температури теплового агенту $(\upsilon_0 = 1{,}33 м/с,\ H = 120 мм)$

Рис. 2 – Динаміка видалення вологи із шару шлаку:

Аналіз рис. 2 а показує, що кількість вологи, яка виноситься тепловим агентом із шару не залежить від висоти шару, про що свідчить паралельність прямолінійних ділянок кривих. На рис. 2 б і 2 в спостерігаємо, що зростання видалення кількості вологи із шару шлаку залежить від об'ємної витрати і температури теплового агенту, тобто динаміка видалення вологи визначається величиною сушильного потенціалу теплового агенту.

На рис. 3 показана залежність швидкості сушіння шлаку ТЕС залежно від його вологості.



а) за різних висот шару $(\upsilon_0 = 1{,}33 м/с,\ T = 353K)$;

б) за різної швидкості руху теплового агенту $(T = 353K, H = 120 мм)$;

в) за різної температури теплового агенту $(\upsilon_0 = 1{,}33 м/с,\ H = 120 мм)$.

Рис. 3 – Швидкість фільтраційного сушіння шлаку

Аналіз рис. 3 а показує, що швидкість фільтраційного сушіння шлаку зростає із зменшенням висоти шару, це пояснюється тим, що зміну вологовмісту шару визначали ваговим методом в розрахунку на масу сухого матеріалу. Лінія “a – b” характеризує перший етап фільтраційного сушіння – механічне винесення вологи. Тепловий агент фільтруючись крізь шар насичується вологою на певній висоті, а дальше участі в масообміні не приймає. До тих пір, поки зона масообміну не досягне перфорованої перегородки, тепловий агент повністю насичується вологою і цей період називають періодом повного насичення теплового агента вологою (лінія “c – d”). Тобто, з шару за одиницю часу виділяється однакова кількість во-

логи, яка визначається сушильним потенціалом теплового агенту (прямолінійні ділянки на рис. 3). У зв'язку з тим, що швидкість фільтрування теплового агенту змінюється в межах $\upsilon_0 = 0{,}63 - 2{,}02\ м/с$, швидкість сушіння також відповідно зростає $\frac{dw^c}{d\tau} = 0{,}0003 - 0{,}0006,\ \frac{кг\ H_2O/(кг\ сух.\ м.)}{с}$, що пояснюється зростанням коефіцієнтів тепло- і масоперенесення. Аналогічно, зростання температури теплового агенту (рис. 3в,) приводить до росту швидкості сушіння.

Лінія "d – e" характеризує третій етап фільтраційного сушіння – період часткового насичення теплового агенту, який наступає після досягнення кормовою частиною фронту масообміну перфорованої перегородки.

Висновки. Досліджено кінетику та динаміку фільтраційного сушіння шлаку теплових електростанцій. Обгрунтовано існування трьох етапів фільтраційного сушіння шлаку. Проаналізовано залежність фільтраційного сушіння від технологічних параметрів теплового агенту (сушильного потенціалу) і висоти шару матеріалу.

Література

1. Малахов Ю.В. О стратегии развития электроэнергетики Украины [Текст] / Ю.В. Малахов, Н.Е. Шевченко, И.Е. Воробьев // Энергетика и электрификация. – 2001. – № 7. – С. 8 – 14.
2. Чернецкая Н.Б. Современные аспекты золошлакоудаления на предприятиях энергетики Украины [Текст] / Н.Б. Чернецкая, Д.А. Капустин // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2010 – № 5 (147) – Частина 2 – С. 216-219.
3. Гузьова І.О. Гідродинаміка та тепломасообмін при фільтраційному сушінні матеріалів кристалічної та аморфної структури [Текст]: Автореф. дис…канд. техн. наук: 05.17.08 / І.О. Гузьова; [НУ Львівська політехніка]. –Львів: 2001, - 19 с.
4. Кіндзера Д.П. Сушіння паливних матеріалів різнодисперсного складу у щільному шарі [Текст]: Автореф. дис…канд. техн. наук: 05.17.08 / Д.П. Кіндзера; [НУ Львівська політехніка]. –Львів: 2003, - 20 с.
5. Атаманюк В.М. Гідродинаміка і тепломасообмін під час фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів [Текст]: Автореф. дис...докт. техн. наук: 05.17.08. / В.М. Атаманюк; [НУ Львівська політехніка]. –Львів, 2007. – 36с.
6. Станіславчук О.В. Сушіння пастоподібних матеріалів у нерухомому шарі [Текст]: автореф. дис...канд. техн. наук: 05.17.08 / О.В. Станіславчук; [НУ Львівська політехніка]. –Львів, 2007. – 20с.
7. Римар Т.І. Сушіння глини у нерухомому шарі [Текст]: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.17.08. / Т.І. Римар; [НУ Львівська політехніка]. –Львів, 2008. – 19с.
8. Атаманюк В.М. Масовіддача у першому періоді фільтраційного сушіння дрібнодисперсних матеріалів [Текст] /Д.М. Симак, В.М. Атаманюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий // Харків: –2011, – 6/6 (54), – С. 14-22.
9. Атаманюк В.М. Кінетика внутрішньодифузійного процесу сушіння подрібненої "енергетичної" верби [Текст] /В.М. Атаманюк, М.І. Мосюк, Я.М. Гумницький // Науковий вісник ЛНТУ України: збірник наукових праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2001. – Вип. 21.14. – С.95-101.
10. Атаманюк В.М. Дисперсні матеріали. Механізм і кінетика фільтраційного сушіння [Текст] /В.М. Атаманюк // Хімічна промисловість України. К.: –2007. –№4, –С.24-29.
11. Мосюк М.І. Гідродинаміка і тепломасообмін під час сушіння подрібненої "енергетичної" верби в стаціонарному шарі [Текст]: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.17.08. / М.І. Мосюк; [НУ Львівська політехніка]. –Львів, 2012. – 22с.