

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ ПТАХОВИРОБНИЦТВ

А. В. Ляшенко, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

E-mail: A.Lyashenko@ukr.net

Анотація. *В Україні вирощування птиці залишається однією з пріоритетних галузей харчової промисловості із забезпечення населення природнім білком. Наукові установи та комерційні організації постійно займаються дослідженнями та розробками енергоефективних технологій та обладнання з утилізації органічних відходів, що утворюються на птахофабриках для вирішення в першу чергу екологічних проблем.*

В інституті технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАНУ) тривалий час проводяться дослідження сумісних процесів подрібнення та сушіння, а також розробляються установки для термообробки мілкодисперсних лабільних матеріалів. Дослідження проводилися з сушіння та подрібнення зеленої рослинності, глини, картоплі, кісної муки, відходів шкіряних виробництв тощо. Дослідження показують перспективність використання цього методу сушіння, необхідність вдосконалення конструкцій установок для різних матеріалів, а також продовження дослідження процесів тепло- та масообміну в них. Розробка зазначених технологій вимагає досконалого вивчення також і теплофізичних властивостей органічних відходів (насамперед курячого посліду).

Мета дослідження полягає у експериментальному визначенні теплофізичних властивостей курячого посліду, які утворюється як органічні відходи птахопідприємств, що дозволить використовувати отримані значення для створення фізичних моделей при дослідженні процесів тепло- та масообміну в робочих камерах установок. Нині існує невелика кількість публікацій з визначення теплофізичних властивостей курячого посліду при різних режимах зміни його вологості. Використання дериватографічного аналізу в загальному не знайдено в літературі. У результаті проведених експериментів було отримано коефіцієнти зміни теплопровідності курячого посліду в межах зміни температури від 30 °С до 75 °С при зміні його вологості в межах від $W=5\%$ до $W=60\%$. За допомоги дериватографа Q-1000 виробництва фірми MOM (Угорщина) показана зміна фізичних властивостей курячого посліду при впливі на нього температури. Показано, що курячий послід є термостабільним матеріалом до 210 °С. При його нагріванні спочатку відбувається випаровування поверхневої вологи (від 40 °С), потім зв'язаної (від 150 °С), далі йде розкладення органічної складової (від 210 °С). Від 600 °С починається видалення мінеральної складової.

У перспективі отримані результати ляжуть в основу розробки нового обладнання та створення методики інженерного розрахунку установок сумісного

сушіння та подрібнення, що є основним завданням подальшої роботи та відповідає сучасним вимогам до сушильного обладнання.

Ключові слова: *органічні відходи, курячий послід, утилізація, дериватографічний аналіз, теплофізичні властивості, сумісний процес, сушка та подрібнення*

Актуальність. Птахопідприємства України нині є основним постачальником м'яса птиці та яєць для споживання населенням в середині країни. Разом з тим, як в Україні, так і в усьому світі протягом десятків років проводяться дослідження для створення енергоефективних технологій з утилізації органічних відходів птаховиробництв (курячого посліду). Існують різні підходи для вирішення цієї проблеми.

В інституті технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАНУ) тривалий час проводяться дослідження сумісних процесів подрібнення та сушіння, а також розробляються установки для термообробки мілкодисперсних лабільних матеріалів [1]. Дослідження проводились з сушіння та подрібнення зеленої рослинності, глини, картоплі, кісної муки, відходів шкіряного виробництва тощо.

Дослідження показують перспективність використання цього методу сушіння, необхідність вдосконалення конструкцій установок для різних матеріалів, а також продовження дослідження процесів тепло- та масообміну в них. Розробка зазначених технологій вимагає досконалого вивчення також і теплофізичних властивостей органічних відходів (насамперед курячого посліду).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Курячий послід є складною гетерогенною системою. Експериментальне визначення теплофізичних властивостей таких об'єктів обумовлює обґрунтований вибір моделей структури об'єктів і фізичних уявлень, що лежать в основі обраних методів вимірів. Так, наприклад, у залежності від методу і швидкості нагрівання (охолодження) об'єкта може змінюватися його структура, а для вологих матеріалів велике значення може мати взаємовплив процесів перенесення теплоти (енергії) і маси (вологи).

Таким чином, визначення й оцінка значень теплофізичних характеристик матеріалів варто погоджувати з іншими властивостями і характеристиками, тобто обумовлювати реальні ефективні характеристики матеріалів. Аналіз публікацій з

цієї проблеми показує недостатню кількість інформації з досліджуваної тематики, наприклад, приведемо найбільш представлені дослідження [2]. Недостатня кількість публікацій пояснюється відсутністю експериментальних стендів та достатньо складними фізичними властивостями досліджуваного матеріалу.

Мета дослідження - експериментальне визначення теплофізичних властивостей курячого посліду, що утворюється як органічні відходи на птахопідприємствах України. Це дозволить використовувати отримані значення для створення фізичних моделей при дослідженні процесів тепло- та масообміну в робочих камерах установок, що пропонується використовувати для енергоефективної утилізації органічних відходів птахопідприємств.

Матеріали і методи дослідження. Як матеріал для проведення експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту теплопровідності та проведення дериватографічного аналізу використовувався нативний курячий послід з птахофабрик Київської області.

Вимірювання коефіцієнтів теплопровідності зразків курячого посліду були здійснені методом пластини на установці, оснащений перетворювачами теплового потоку [3].

Метод полягає в створенні стаціонарної різниці температур між двома поверхнями плоского шару досліджуваного матеріалу; вимірюванні цієї різниці температур, густини теплового потоку крізь шар та товщини цього шару; обчисленні коефіцієнта теплопровідності зразка за результатами вимірювань. Застосування цього методу для будівельних матеріалів нормовано ДСТУ Б В.2.7-105-2000.

Для проведення вимірювань коефіцієнтів теплопровідності використана установка (рис. 1), в якій досліджуваний матеріал розташовується у робочій камері, що створюється двома плоскими перетворювачами теплового потоку (ПТП) та рамкою між ними. ПТП являють собою квадратні пластини 300×300 мм, товщиною 4 мм. Товщина рамки з пінополістиролу визначає товщину шару досліджуваного матеріалу і складає 30 мм. У центральній зоні ПТП розміщений чутливий елемент, що являє собою батарею термопар, електричний сигнал якого пропорційний густині теплового потоку. В центрах пластин ПТП розташовані також спаї термопар ПТ1 і

ПТ2, за допомогою яких визначають температури поверхонь зразка. Бокова поверхня робочої камери закривається шаром теплоізоляції для зменшення бокових тепловтрат. Робоча камера зі зразком розташовується між плоскими нагрівачем та повітряобмінним холодильником, що призначені для стабілізації температури, яка може підтримуватися на заданому значенні за допомогою регуляторів. Нагрівач, комірка та холодильник стискаються за допомогою струбцини з нормованим зусиллям.

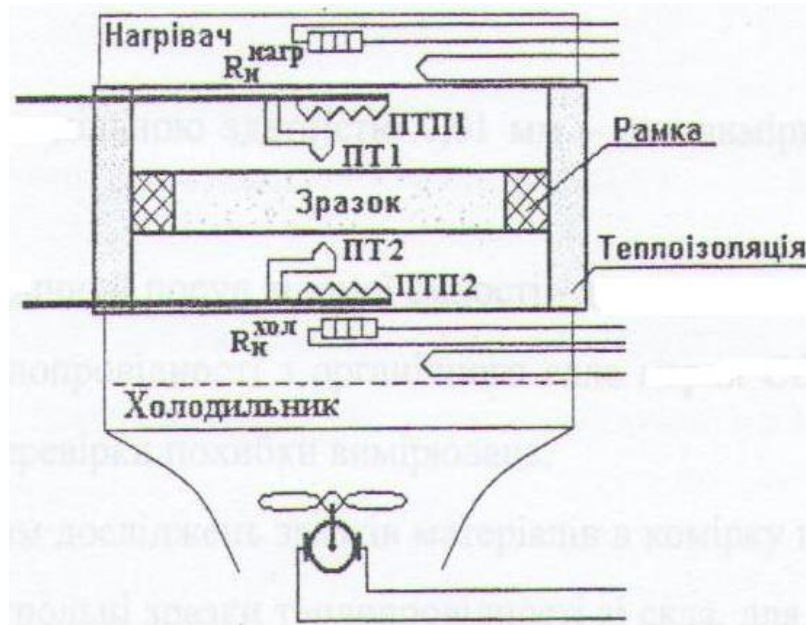


Рис. 1. Схема установки для дослідження теплопровідності

Електричні сигнали перетворювачів теплового потоку і температури вимірюються за допомогою модулів серії I-7000 та передаються на персональний комп'ютер для подальшої обробки. Коефіцієнт теплопровідності зразка λ визначають за формулами:

$$\lambda = \frac{\dot{I}}{\frac{2(\dot{O}_1 - \dot{O}_2) - R_A}{q_1 + q_2}}; \quad q_1 = K1 \cdot E_{ПТП1}; \quad q_2 = K2 \cdot E_{ПТП2}; \quad (1)$$

де, q_1, q_2 – густини теплового потоку крізь ПТП1 та ПТП2; $E_{ПТП1}, E_{ПТП2}$ – сигнали ПТП1 та ПТП2; $K1, K2$ – коефіцієнти перетворення ПТП1 та ПТП2; $T1, T2$ – температури, визначені перетворювачами ПТ1 та ПТ2; H – товщина зразка; R_B – баластний термічний опір між спаями ПТ1 та ПТ2 і поверхнями зразка.

Значення параметрів K_1 , K_2 та R_B визначаються при градуюванні приладу за стандартними зразками. Крім зазначених вище пристроїв та приладів при вимірюваннях використовуються:

- штангенциркуль з розподільною здатністю 0,1 мм – для вимірювання товщини зразка;
- ваги фірми «AXIS» AD 500 та циліндричний посуд відомої ємкості – для визначення густини;
- контрольні зразки теплопровідності з органічного скла марки СОЛ – $\lambda=(0,198\pm 3\%) \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- прецизійна металева лінійка для визначення лінійних габаритних розмірів зразка.

Перед проведенням досліджень зразків матеріалів в комірку пристрою почергово встановлюють контрольні зразки теплопровідності зі скла, для яких відомі значення коефіцієнта теплопровідності, проводять дослідження їх теплопровідності в робочому діапазоні температур та визначають похибки вимірювання.

За допомогою ваг фірми «AXIS» AD 500 та циліндричного посуду відомої ємкості визначають густину досліджуваної речовини. Завантажують речовину у вимірювальну комірку та закривають її. Встановлюють комірку між нагрівачем та холодильником та затискають її струбциною. У разі дослідження сипких, пастоподібних та рідких матеріалів встановлюють пристрій на бік так, щоб кут комірки з отвором та трубкою був зверху. При цьому забезпечується добре прилягання матеріалу до поверхні ПТП в центральній зоні біля чутливого елемента та термопар. За допомогою регуляторів задають необхідні температури нагрівача та холодильника, причому різниця температур між ними повинна складати $4\div 7 \text{ К}$. На екрані комп'ютера спостерігають графік зміни сигналів перетворювачів і після досягнення стаціонарного режиму проводять запис сигналів близько 30 хвилин. При обробці даних визначають середні вихідні напруги перетворювачів у стаціонарному режимі та за формулою (1) розраховують коефіцієнт теплопровідності речовини. Відповідну температуру віднесення визначають як середню між температурою

сторін комірки. Конструкція комірки та матеріали, з яких виготовлені її складові, дозволяють проводити вимірювання в діапазоні температур від кімнатних до 80 °С. При вимірюванні коефіцієнтів теплопровідності зразків курячого посліду дослідження проводилися у п'яти точках діапазону температур від +30 до 75 °С.

Розрахункова оцінка відносної похибки вимірювання коефіцієнтів теплопровідності складає $\pm 5\%$.

Для визначення термовластивостей курячого посліду застосовувався дериватограф Q-1000 виробництва MOM (Угорщина). В основу принципу роботи дериватографа закладено термографічне вимірювання маси (ТГ) та температури (Т) досліджуваного зразка при безперервному рівномірному програмованому підвищенні температури середовища, в якому знаходиться зразок. Конструктивно дериватограф дає змогу одночасно на стрічці самописця реєструвати швидкість зміни маси зразка (ДТГ) та за рахунок диференційно включених термопар вимірювання температури зразка та речовини шляхом порівняння – реєструвати теплові ефекти (ДТА), що супроводжують фізико-хімічні зміни в зразку при його нагріванні.

Вимірювання температури зразка дає можливість встановлювати дійсну температуру термічних перетворень. Причому, вимірювання температури зразка здійснюються термопарою через стінки в заглибленні тигля, який контактує з внутрішніми шарами зразка на великій поверхні, а стінки тигля з платини мають велику теплопровідність, сприймають і досить точно передають змінювання температури зразка. Повітряний простір між стінками заглиблення тигля і порцеляновим стрижнем, який підтримує термопару, завдяки незначній теплоємності сприймає температуру платинових стінок. Термопара заміряє температуру вказаного повітряного простору. Це дозволяє вирівнювати нерівномірності температури всередині зразка. Бо якщо спай термопару розміщений в самому зразку, то він вимірює лише температуру поблизу спаю, і якщо при наступних вимірюваннях термопара зсунеться вбік, або багатокomпонентна речовина є негомogенною, то досліди не дають відтворених результатів. При вимірюванні температури в заглибленні тиглю ця термопара завжди розміщена в

центрі заглиблення, яке має велику поверхню контакту з матеріалом, тому в даному випадку завжди заміряється середня температура внутрішнього шару матеріалу.

Дериватографія, як метод термічного аналізу дозволяє не тільки виявити теплові ефекти фазових переходів та структурні зміни в матеріали, а і кількісно оцінити процеси, які відбуваються при його нагріванні. Цей метод відомий і часто застосовується для вивчення неорганічних та органічних сполук та матеріалів [4].

Дослідження проводили в циліндричних платинових тиглях.

Умови проведення термічного аналізу були такими:

- швидкість нагрівання - 7,36 К/хв;
- інтервал нагрівання - від кімнатної до 1000 °С;
- чутливість ваг - 50 мг на всю шкалу;
- розмах шкали ДТА - 100 мкВ;
- розмах шкали ДТГ - 500 мкВ;
- швидкість стрічки самописця - 2,5 мм/хв.

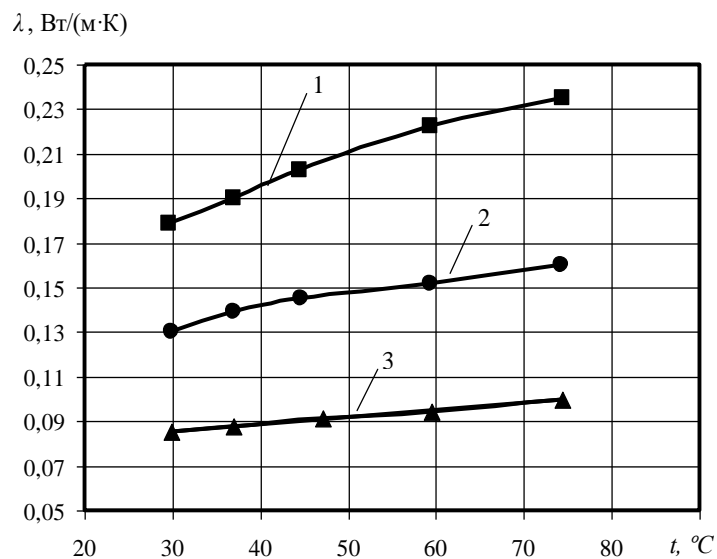


Рис. 2. Зміна коефіцієнта теплопровідності курячого посліду в залежності від його температури:

1 – курячий послід при $W=60\%$; 2 – курячий послід при $W=20\%$; 3 – курячий послід при $W=5\%$

Результати досліджень та їх обговорення. При дослідженні теплофізичних властивостей матеріалу проводились визначення коефіцієнту теплопровідності курячого посліду та дериватографічний аналіз. Величини коефіцієнту

теплопровідності визначались за наведеною вище методикою. Результати експериментальних досліджень представлені на рис. 2.

У таблиці наведені апроксимуючі залежності коефіцієнтів теплопровідності в діапазоні температур від 30 до 75 °С.

Апроксимуючі залежності для коефіцієнтів теплопровідності

Вид матеріалу	Вологість матеріалу W, %	Рівняння
Курячий послід	5	$\lambda = 0,0003 \cdot t + 0,0758$
Курячий послід	20	$\lambda = 0,0006 \cdot t + 0,114$
Курячий послід	60	$\lambda = 0,0013 \cdot t + 0,1434$

З рис. 2 видно, що коефіцієнт теплопровідності курячого посліду збільшується зі збільшенням його вологості. Так, при збільшенні вологості в 12 раз коефіцієнт теплопровідності при $t=30$ °С збільшується в 2,1 рази, а при $t=75$ °С збільшується в 2,35 рази.

На рис. 3 приведені дані дериватографічного дослідження курячого посліду, виконаного за методикою, описаною вище. Маса зразка 180,0 мг. Швидкість прогрівання 7,4 К/хв. Зразок поміщений в платиновий тигель без кришки.

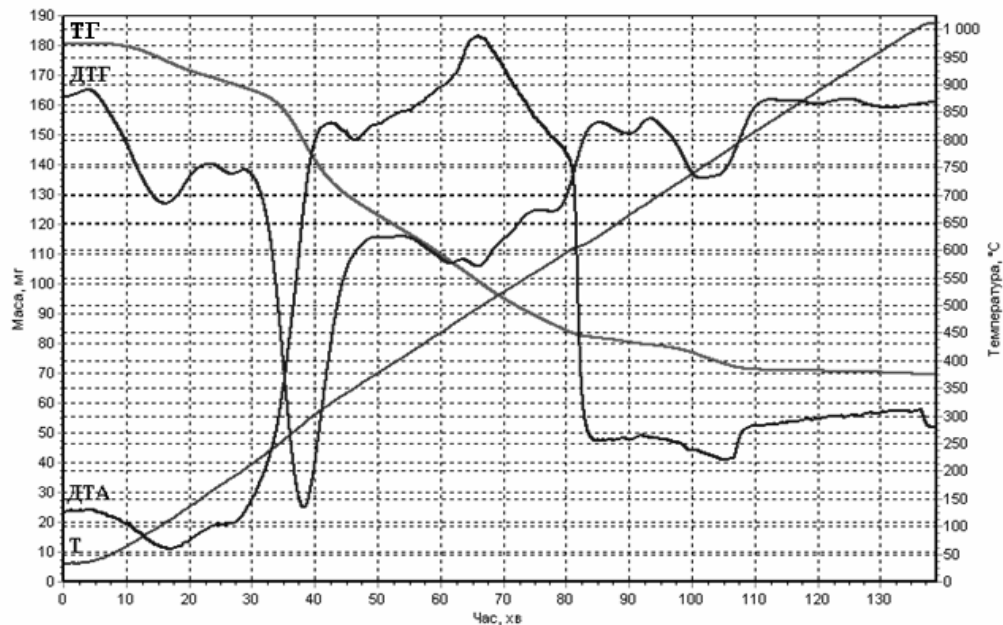


Рис. 3. Дериватограма тепломасообмінних параметрів при зневодненні образців курячого посліду

Умовні позначення: ТГ – зміна маси зразка; Т – зміна температури зразка; ДТГ – швидкість зміни маси зразка; ДТА – теплові ефекти.

З рис. 3 видно, що при нагріванні спочатку відбувається випаровування поверхневої вологи (від 40 °C), потім зв'язаної (від 150 °C), далі йде розкладення органічної складової (від 210 °C) (крива ДТА). Як видно з кривої ДТА, розкладення органічної складової курячого посліду закінчується при температурі $t=620\pm 5$ °C. Далі починається випалення мінеральної складової продукту (крива ДТА) від $t=675\pm 5$ °C і закінчується при $t=830\pm 5$ °C. Таким чином, дериватографічне дослідження показало, що з курячого посліду під час нагрівання спочатку випаровується вода та легко летючі компоненти у вигляді газів до $t=210\pm 5$ °C, а потім починається процес розкладання органічної складової досліджуваного матеріалу. Розкладення мінеральної складової в курячому посліді відбувається при температурах від 670 до 850 °C.

Висновки і перспективи. Визначені теплофізичні властивості (теплопровідність) досліджуваного матеріалу при вологості матеріалу від 5 % до 60 % та отримані апроксимуючі рівняння.

За допомоги дериватографа Q-1000 виробництва фірми МОМ (Угорщина) вивчені термовластивості курячого посліду. Показано, що курячий послід є термостабільним матеріалом до 210 °C. При його нагріванні спочатку відбувається випаровування поверхневої вологи (від 40 °C), потім зв'язаної (від 150 °C), далі йде розкладення органічної складової (від 210 °C). Від 600 °C починається видалення мінеральної складової.

Отримані теплофізичні властивості будуть використані при створенні експериментальних стендів, чисельному дослідженні процесу в робочій камері при створенні інженерного розрахунку установок сумісних процесів сушіння та подрібнення для енергоефективної утилізації термолабільних органічних відходів.

Список використаних джерел

1. Процышин Б. Н., Михалевич В. В. Роторно – вихревая сушилка для сушки с одновременным измельчением пастообразных и сыпучих материалов. Усовершенствование процессов и методов химических, пищевых и нефтехимических производств: тезисы докладов IX международной конференции (Одеса, 12 вер. 1996 р.). Одеса, 1996. С.125.

2. Єрмоленко В. О. Біологічно активні добрива: монографія. Київ: НВЦ СТ «Вибір», 2002. 151 с.

3. Федоров В. Г. Основы тепломассометрии: монография. Київ: Вища школа, 1987. 240 с.

4. Берг Л. Г. Введение в термографию. Второе дополнительное издание: монография. Москва: Наука, 1969. 395 с.

References

1. Protsyshin, B. N., Mikhalevich, V. V. (1996). Rotorno – vikhrevaya sushilka dlya sushki s odnovremennym izmel'cheniyem pastobraznykh i syuchikh materialov [Rotary - vortex dryer for drying with simultaneous grinding of pasty and bulk materials]. Tezisy dokladov IX mezhdunarodnoy konferentsii «Usovershenstvovaniye protsessov i metodov khimicheskikh, pishchevykh i neftekhimicheskikh proizvodstv». Odessa (Ukraine), 125.

2. Yermolenko, V. O. (2002). Biolohichno aktyvni dobryva [Biologically active fertilizers]. Vybir, 151.

3. Fedorov, V. G. (1987). Osnovy teplomassometrii [Fundamentals of heat and mass measurement]. Vishcha shkola, 240.

4. Berg, L. G. (1969). Vvedeniye v termografiyu [Introduction to thermography]. Nauka, 395.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПТИЦЕФАБРИК

А. В. Ляшенко

Аннотация. *В Украине выращивание птицы остается одной из приоритетных отраслей пищевой промышленности по обеспечению населения природным белком. Научные учреждения и коммерческие организации постоянно занимаются исследованиями и разработками энергоэффективных технологий и оборудования по утилизации органических отходов, которые образуются на птицефабриках для решения в первую очередь экологических проблем.*

В институте технической теплофизики НАН Украины (ИТТФ НАНУ) длительное время проводятся исследования совместимых процессов измельчения и сушки, а также разрабатываются установки для термообработки мелкодисперсных лабильных материалов. Исследования проводились по сушке и измельчению зеленой растительности, глины, картофеля, костной муки, отходов производства кожи и т.п. Исследования показывают перспективность использования этого метода сушки, необходимость усовершенствования конструкций установок для различных материалов, а также продолжение исследования процессов тепло- и массообмена в них. Разработка указанных технологий требует тщательного изучения также и теплофизических свойств органических отходов (прежде всего куриного помета).

Цель исследования состоит в экспериментальном определении теплофизических свойств образующегося куриного помета как органических отходы птицепредприятий, что позволит использовать полученные значения для создания физических моделей при исследовании процессов тепло- и массообмена в рабочих камерах установок. В настоящее время существует небольшое количество публикаций по определению теплофизических свойств куриного помета при различных режимах изменения его влажности. Использование дериватографического анализа в целом не найдено в литературе. В результате

проведенных экспериментов были получены коэффициенты изменения теплопроводности куриного помета в пределах изменения температуры от 30 до 75 °С при изменении его влажности в пределах от $W=5\%$ до $W=60\%$. При помощи дериватографа Q-1000 производства компании MOM (Венгрия) показано изменение физических параметров куриного помета при воздействии на него температуры. Показано, что куриный помет представляет собой термостабильный материал до 210 °С. При его нагреве сначала происходит испарение поверхностной влаги (от 40 °С), затем связанной (от 150 °С), далее следует разложение органической составляющей (от 210 °С). От 600 °С начинается удаление минеральной составляющей.

В перспективе полученные результаты лягут в основу разработки нового оборудования и создания методики инженерного расчета установок совместной сушки и измельчения, что является основной задачей дальнейшей работы и отвечает современным требованиям к сушильному оборудованию.

Ключевые слова: органические отходы, куриный помет, утилизация, дериватографический анализ, теплофизические свойства, процесс, сушка и измельчение

DETERMINATION OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF ORGANIC WASTE OF POULTRY FACTORIES

A. Liashenko

Abstract. *In Ukraine, poultry farming remains one of the priority sectors of the food industry in providing the population with natural protein. Scientific institutions and commercial organizations are constantly engaged in research and development of energy-efficient technologies and equipment for the disposal of organic waste generated in poultry farms to solve primarily environmental problems.*

The Institute of Technical Thermal Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine (ITTF NASU) has been conducting research on compatible grinding and drying processes for a long time, as well as developing installations for heat treatment of finely dispersed labile materials. Research was carried out on drying and grinding green vegetation, clay, potatoes, bone meal, waste leather from industries, etc. Studies show the promise of using this drying method, the need to improve the design of installations for various materials, as well as the continuation of the study of heat and mass transfer processes in them. The development of these technologies also requires a thorough study of the thermophysical properties of organic waste (primarily chicken manure).

The purpose of the study is to experimentally determine the thermophysical properties of the resulting chicken manure as organic waste from poultry enterprises, this will allow using the obtained values to create physical models in the study of heat and mass transfer processes in the working chambers of installations. Currently, there are a small number of publications on the determination of the thermophysical properties of chicken manure under various modes of change in its moisture content. The use of derivatographic analysis is generally not found in the literature. As a result of the experiments, the coefficients of change in the thermal conductivity of chicken manure were obtained within the temperature range from 30 to 75 °С with a change in its humidity in the range from $W=5\%$ to $W=60\%$. Using the Q-1000 derivatograph manufactured by

MOM (Hungary), the change in the physical parameters of chicken manure when exposed to temperature is shown. It is shown that chicken manure is a thermostable material up to 210 °C. When it is heated, the surface moisture first evaporates (from 40 °C), then the bound moisture (from 150 °C), followed by the decomposition of the organic component (from 210 °C). From 600 °C, the removal of the mineral component begins.

In the future, the results obtained will form the basis for the development of new equipment and the creation of a methodology for engineering calculation of co-drying and grinding plants, which is the main task of further work and meets modern requirements for drying equipment.

Key words: *organic waste, chicken manure, recycling, derivatographic analysis, thermophysical properties, process, drying and grinding*