ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

VII Міжнародної науково-практичної конференції

«ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»

9-13 вересня 2019 р.

НТБ ОНАХТ

ОДЕСА
2019

УДК 663 / 664

Публікуються доповіді, представлені на XVIII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (9 – 13 вересня 2019 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

НТБ ОНАХТ

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор О.Г. Бурдо
Кандидат техн. наук Ю.О. Левтринська
Я.О. Масельська

Одеська національна академія харчових технологій, 2019 р. ©

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

Єгоров *Богдан Вікторович*	–	голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
Бурдо *Олег Григорович*	–	вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
Атаманюк *Володимир Михайлович*	–	Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
Васильєв *Леонард Леонідович*	–	Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н, професор
Гавва *Олександр Миколайович*	–	Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Гумницький *Ярослав Михайлович*	–	Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
Долинський *Анатолій Андрійович*	–	Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАН України
Зав’ялов *Владимир Леонідович*	–	Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Сукманов *Валерій Олександрович*	–	Полтавський університет економіки і торгівлі, д.т.н., професор
Колтун *Павло Семенович*	–	Technident Pty. Ltd., Australia, Dr
Корнієнко *Ярослав Микитович*	–	Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
Малежик *Іван Федорович*	–	Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Михайлов *Валерій Михайлович*	–	Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н, професор
Паламарчук *Ігор Павлович*	–	Національний університет біоресурсів та природокористування України, д.т.н., професор
Снежкін *Юрій Федорович*	–	Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., академик. НАН України
Сорока *Петро Гнатович*	–	Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
Сухий *Константин Михайлович*	–	ДВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет", д.хім.н., професор
Тасімов *Юрій Миколайович*	–	Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
Товажнянський *Леонід Леонідович*	–	Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України
Ткаченко *Станіслав Йосифович*	–	Вінницький національний технічний університет, д.т.н., професор
Черевко *Олександр Іванович*	–	Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н, професор
Шит *Михаїл Львович*	–	Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с

НТБ ОНАХТ

СЕКЦІЯ 4.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОТЕХОЛОГІЙ

НТБ ОНАХТ

УДК 641.78:664

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ПІД ДІЄЮ ПІДВИЩЕНОГО ТИСКУ НА МОДЕЛІ КОЛОЇДНОГО КАПІЛЯРНО ПОРИСТОГО ТІЛА

Потапов В.О., професор, доктор технічних наук, Гриценко О.Ю.
Харківський Державний Університет Харчування та Торгівлі, м. Харків

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE KINETICS OF THE FILTRATION DRYING UNDER THE INFLUENCE OF HIGH PRESSURE ON THE MODEL OF COLLOIDAL CAPILLARY POROUS BODY

Potapov V.O., Hrytsenko O.Y,
Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Ukraine

Анотація. Проведено експериментальні дослідження процесу сушіння вологого матеріалу в тепло-масообмінних модулі при фільтрації сушильного агента під дією підвищеного тиску. Показано, що запропонований спосіб сушіння призводить до збільшення енергоефективності процесу сушіння. Встановлено, що з підвищенням тиску в 1,5 рази швидкість сушіння зростає в 2 рази, що відповідає збільшенню енергоефективності процесу сушіння в 1,3 рази. Підвищення тиску нагнітання з 2 до 3 атм призводить до зменшення температури матеріалу в масообмінних модулі приблизно на 15%, що свідчить про високий ккд використання сушильного агента при його фільтрації через пори вологого матеріалу.

Abstract. Experimental investigations of the process of drying wet material in a heat-mass-exchange module during filtration of a drying agent under the influence of high pressure are carried out. It is shown that the proposed method of drying leads to an increase in the energy efficiency of the drying process. It was established that with the increase of pressure in 1,5 times the rate of drying increases in 2 times that corresponds to an increase in the energy efficiency of the drying process in 1,3 times. Increasing the injection pressure from 2 to 3 atm. leads to a decrease in the temperature of the material in the mass exchange modules by about 15%, which indicates high efficiency of the use of the drying agent when it is filtered through the pores of the wet material..

Ключові слова: фільтраційне сушіння, підвищений тиск, тепло-масообмінний модуль, енергоефективність.

Keywords: filtration drying, overpressure, heat-mass transfer module, energy efficiency.

Переважна кількість сучасних робіт в області техніки сушіння розглядають питання енергозбереження. Відзначимо, що часто для підвищення економічності обладнання використовують інтенсифікацію сушіння шляхом збільшення температури сушильного агента. Однак простий аналіз показує, що збільшення продуктивності сушарки за рахунок збільшення температури непропорційно збільшує теплові втрати, знижуючи загальний ККД [1]. У роботах [2], [3] теоретично показано, що для необоротних процесів найвищим ККД мають процеси з мінімумом виробництва ентропії. Подальшим розвитком цього напрямку стало використання підвищеного тиску для фільтрації сушильного агенту крізь шар волого матеріалу у ТМОМ Згідно цього способу процес сушіння включає попередню підготовку сировини, її подрібнення, заповнення ТМОМ сировиною та сушіння шляхом фільтрації сушильного агента крізь матеріал під дією підвищеного тиску [4].

Спосіб сушіння харчових продуктів в тепломасообмінному модулі під дією підвищеного тиску має такі переваги: підвищення енергоефективності процесу сушіння за рахунок здійснення нагрівання та переміщення сушильного агента в одному пристрої – компресорі, повне використання ентальпії сушильного агенту не тільки на нагрівання та випаровування, але здійснення роботи на подолання гідродинамічного опору шару матеріалу, високі коефіцієнти тепло та масовіддачі, оскільки сушильний агент безпосередньо доставляється до кожної дисперсної частинки за рахунок високого тиску та тертя, зниження температури на виході із сушарки теоретично нижче температури оточуючого середовища, тобто повна відсутність втрат з відпрацьованим сушильним агентом.

У зв'язку з цим метою даної роботи є експериментальне дослідження впливу основних параметрів сушильного процесу на кінетику фільтраційного сушіння під дією підвищеного тиску із застосуванням математичного моделювання тепло-масоперенесення на різних етапах процесу сушіння.

Для дослідження кінетики процесу фільтраційного сушіння під дією підвищеного тиску розроблено й виготовлено експериментальну установку, яка зображена на рис .1.

НТБ ОНАХТ

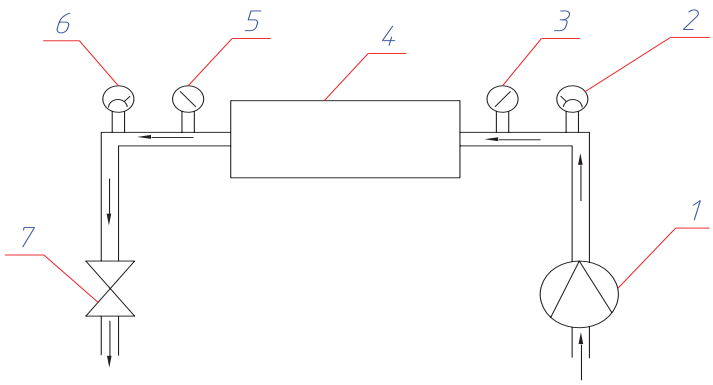

Рисунок 1. Схема експериментальної установки: 1 – компресор; 2,6 – датчики температури; 3,5 – датчики тиску; 4 - тепломасообмінний модуль; 7 – дросель;

Експерименти проводились на моделі колоїдного капілярно пористого тіла у якості якого була обрана попередньо підготовлена дерев'яна тирса. Початковий вологовміст тирси регулювався наступним чином: завантажений тирсою сітчастий контейнер, занурювали на певний час у воду, далі надлишкам води давали витікати та залишали для вирівнювання вологовмісту за об'ємом контейнеру. Заповнений матеріалом контейнер розміщали у ТМОМ експериментальної сушильної установки. Після під єднання ТМОМ до лінії нагнітання та лінії дроселювання, у ТМОМ створювався надлишковий тиск за допомогою зовнішнього компресора. Оскільки температура на вході в ТМОМ повністю визначається тиском нагнітання в компресорі, то тиск на вході в ТМОМ підтримувався постійним протягом всього процесу сушіння регулюванням дроселя.

Кінетика сушіння вимірювалась безпосереднім зважуванням сушильної камери на електронних вагах. Процес вимірювання зупиняли коли припинявся процес випаровування вологи з матеріалу. Тиск та температури на вході та виході із ТМОМ вимірювались датчиками на лінії нагнітання та дроселювання. Температура матеріалу вимірювалась за допомогою термопар розташованих за товщиною шару з регульованим шагом.

На рис. 1 наведена кінетика вологовмісту модельного ККПТ при фільтраційному сушінні при різному тиску нагнітання для мінімально дослідженої товщини фільтраційного шару 0,03 м. Як випливає з отриманих графіків криві сушіння мають два періоди сушіння – період прогрівання матеріалу, коли швидкість сушіння поступово збільшується, та період постійної швидкості сушіння практично до кінцевого вологовмісту. Це на нашу думку пов'язано з тим, що процес сушіння відбувається за схемою поширення зони випаровування від входу до виходу із шару волого матеріалу і ця швидкість постійна за умов тонкого шару, як показано у теоретичній моделі кінетики сушіння.

Наведені дані свідчать проте, що підвищення тиску від 0,2 МПа до 0,5 МПа збільшує тривалість сушіння в 2 рази. При цьому це збільшення відбувається при тисках стиснення більше 0,3 МПа. Це може бути пов'язано з тим, що зі збільшенням тиску зменшується об'ємна продуктивність компресора, а разом з цим витрата сушильного агенту у ТМОМ, яка прямо пропорційна продуктивності сушарки за випареною вологою.

Це пояснюється тим, що при збільшенні тиску нагнітання від 0,2 МПа до 0,5 МПа об'ємна продуктивність компресора експериментальної установки зменшується в 1.3 рази. Тому, щоб порівнювати кінетичні криві отриманих для різного початкового вологовмісту та різної об'ємної продуктивності компресора, всі отримані криві сушіння побудовано у безрозмірних координатах.

Безрозмірний вологовміст розраховувався за формулою

$$w^* = \frac{w - w_к}{w_0 - w_к}, \qquad (1)$$

де $w_к$ – кінцевий вологовміст, кг/(кг сух.реч).

w_0 – початковий вологовміст, кг/(кг сух.реч).

НТБ ОНАХТ

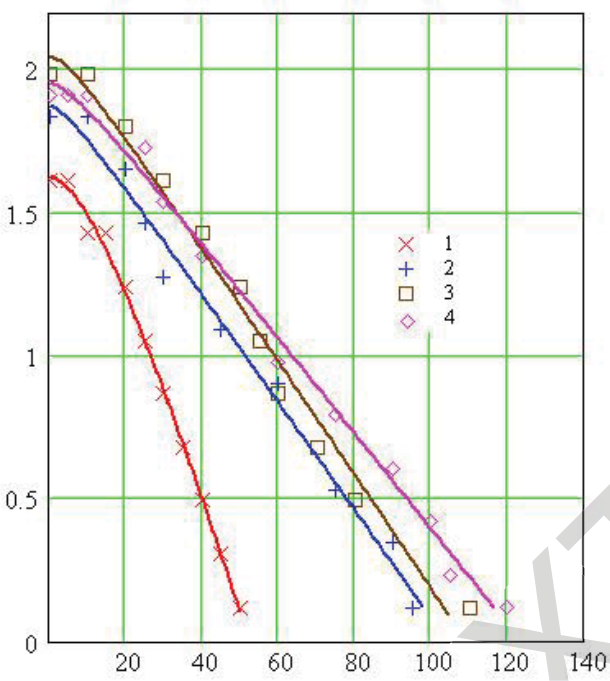

Рисунок 2. Кінетика сушіння модельного ККПТ при товщині шару $l_{ТМ}$=0,015 м:

1 – p_1=0,2 МПа; 2 – p_1=0,3 МПа 3 – p_1=0,4 МПа; 4 – p_1=0,5 МПа

Щоб позбавитись впливу на кінетичні криві змінної об'ємної витрати сушильного агенту зі змінюванням тиску La(p) було запроваджено безрозмірний час

$$\tau^* = \frac{\tau}{\tau_0} = \frac{L_a}{\Pi S_{TM} l_{TM}} \tau \quad , \qquad (2)$$

де La – об'ємна витрата сушильного агенту, П - внутрішня пористість шару, STM - площа перерізу TMOM, lTM - товщина шару дорівнює

Запроваджений таким чином безрозмірний час враховує не тільки вплив об'ємної витрати сушильного агенту, але й товщину фільтраційного шару.

У результаті статистичної обробки експериментальних даних встановлено, що всі криві сушіння з відносною похибкою 2…3% описуються наступним регресійним рівнянням

$$w^* = a_1 - \frac{\left(\tau^*\right)^2}{a_2 + a_3 \cdot \tau^*}, \qquad (3)$$

де a_1, a_2, a_3 – емпіричні коефіцієнти, які залежать від товщини фільтраційного шару та тиску.

На підставі отриманої кореляції знайдено середню швидкість фільтраційного сушіння під дією підвищеного тиску.

$$\frac{\Delta w}{\Delta \tau} = \frac{w_0 - w_к}{\tau_к} = \frac{w_0 - w_к}{637 + 994\left(\frac{p_1 - p_0}{p_0}\right)^{0.633}} \cdot \left(\frac{L_a}{\Pi S_{TM} l_{TM}}\right), \qquad (4)$$

де $\Delta w/\Delta\tau$- середня швидкість фільтраційного сушіння під дією підвищеного тиску.

Таким чином отримана математична модель дозволяє проводити розрахунки процесу фільтраційного сушіння під дією підвищеного тиску.

Висновки.

Розроблено та виготовлено експериментальну установку для фільтраційного сушіння під дією підвищеного тиску. Отримано експериментальні данні про тривалість процесу сушіння під дією підвищеного тиску залежно від тиску нагнітання в діапазоні 0,2...0,5 МПа та товщини фільтраційного шару 0,03...0,12 м. Отримано математичну модель тривалості фільтраційного сушіння під дією підвищеного тиску та середньої швидкості сушіння залежно від тиску нагнітання, габаритів ТМОМ та товщини шару продукту і його пористості. Експериментально доведено, що при збільшенні тиску нагнітання в діапазоні 0,2...0,5 МПа тривалість сушіння збільшується за ступеневою залежністю з показником 0,6. Перспективою подальших досліджень є вивчення кінетичних закономірностей процесу фільтраційного сушіння під дією підвищеного тиску для асортименту харчової сировини.

НТБ ОНАХТ

Література

1. Kudra, T. Energy aspects in drying// Drying Technology. 2004. Vol.22, №5. P. 917-932..
2. Погожих Н. И. Научные основы теории и техники сушки пищевого сырья в массообменных модулях : дис. … д-ра техн. наук спец. 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств» / Н. И. Погожих. – Х., 2002. – 331 с.
3. Потапов В. А. Научные основы анализа и управления кинетикой сушки пищевого сырья : дис. ... д-ра техн. наук спец. 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств» / Потапов В. А. – Х., 2007. – 348 с.
4. Патент на корисну модель № 108135 «Спосіб сушіння харчових продуктів в тепломасообмінному модулі під дією підвищеного тиску» (автори: Потапов В.О., Петренко О.В., Гриценко О.Ю.); Опубліковано 11.07.2016, бюл. № 13/2016, 4.с

УДК 621.577.311

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ПРОЦЕССОВ ГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ В КОММУНАЛЬНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ СУШКИ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ КОГЕНЕРАЦИОННО-ТЕПЛОНАСОСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Билека Б.Д., доктор технических наук, Гаркуша Л.К.
Институт технической теплофизики НАН Украины, г.Киев

THE EFFICIENCY IMPROVEMENT OF HEAT GENERATION PROCESSES IN MUNICIPAL HEAT-ENERGY AND DRYING TECHNOLOGIES ON THE BASIS OF COMBINED COGENERATION-HEAT PUMP TECHNOLOGIES

Bileka B.D., Doctor of Technical Sciences, Garkusha L.K.
Institute of Engineering Thermophysics, NAS of Ukraine, Kiev

Аннотация. Наиболее эффективной технологией генерации электрической и тепловой энергии для нужд коммунальной теплоэнергетики и теплотехнологий является комбинированная выработка энергии с использованием современных когенерационных установок на основе газопоршневых двигателей и газотурбинных установок, работающих на природном газе или биогазе. Комбинированная выработка энергии на такой базе существенно снижает затраты топлива в сравнении с традиционной раздельной выработкой электроэнергии на тепловых конденсационных электростанциях или на теплоэлектроцентралях и тепловой на котельных установках.

Дальнейшее заметное повышение энергоэффективности процессов генерации теплоты для рассматриваемых нужд может быть достигнуто путем включения в процесс теплонасосных установок, т.е. создание комбинированных когенерационно-теплонасосных установок. Они будут иметь наивысшую топливную экономичность в сравнении со всеми существующими в традиционной теплоэнергетике. Это обусловлено целым рядом факторов. Современные КГУ на базе ГПД и ГТУ имеют электрический к.п.д. выше, чем ТЕС или ТЭЦ – 30…45 % и 28…35 %, соответственно. В котлах-утилизаторах более эффективно используется высокотемпературная сбросная теплота двигателей, в результате чего суммарный к.п.д. установок достигает 85…88 %. Такие установки обеспечивают децентрализацию производства электрической и тепловой энергии, поэтому на автономных КГУ существенно ниже, а иногда практически отсутствуют потери в электрических и тепловых сетях, достигающие в централизованных системах 8…12 % и 15…30%, соответственно. Немаловажным является и то, что они повышают надежность работы всего объекта, делая его независимым от внешних сетей. Включение в процесс генерации теплоты ТНУ вызывает заметное повышение энергоэффективности, увеличивая топливную экономичность, благодаря использованию практически даровой низкопотенциальной теплоты природного, промышленного или бытового происхождения, а также высокой эффективности преобразования в ТНУ этой теплоты в теплоту более высокого потенциала с использованием электрической энергии КГУ.

Целью работы является оценка перспектив применения комбинированных когенерационно-теплонасосных установок на базе ГПД и ГТУ для повышения энергоэффективности и энергосбережения при генерации теплоты в коммунальной теплоэнергетике и теплотехнологиях, в частности, в процессах сушки.

Abstract. The most effective technology for electric and heat energy generation for the needs of municipal heatpower and heat technologies is combined power generation (CPG) using modern cogeneration plants based on gas piston engines (GPE) and gas turbine plants (GTP) which work on natural gas or biogas. CPG on such a base

НТБОНАХТ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ПІД ДІЄЮ ПІДВИЩЕНОГО ТИСКУ НА МОДЕЛІ КОЛОЇДНОГО КАПІЛЯРНО ПОРИСТОГО ТІЛА
Потапов В.О., Гриценко О.Ю...... 185
ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ПРОЦЕССОВ ГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ В КОММУНАЛЬНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ СУШКИ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ КОГЕНЕРАЦИОННО-ТЕПЛОНАСОСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Билека Б.Д., Гаркуша Л.К...... 188

НТБ ОНАХТ