

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

XVII Міжнародної наукової конференції
**«УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І
ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ТА
ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ»**

3-8 вересня 2018 р.



**ОДЕСА
2018**

Публікуються доповіді, представлені на XVII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (3 – 8 вересня 2018 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.

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо
Ю.О. Левтринська

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

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

СЕКЦІЯ 1.

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ
ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ,
ТЕПЛОВИХ, МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ**

1. Вєдь В. С., Миронов А. М. Дослідження зв'язку між структурою деревини та кінетикою процесу її сушки / Вісник Національного технічного університету «ХПІ», 2015. № 44 (1153). С. 47–51.
2. Литовченко Ю. К. Теплопроводность пористых тел. / Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. Том 9. Днепропетровск: НМетАУ, 2003. 197 с.
3. Юрьев Ю. Л. Совершенствование производства углеродных материалов на основе берёзовой древесины: диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук: специальность 05.21.03 «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины». Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2014. 256 с.
4. Myronov A., Ved V. Determination of rational parameters for energy efficient drying process of different wood species / Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції Computer Aided Process Engineering (CAPE). Paderborn, Germany: CAPE Forum 2015, 2015. PP. 67–69.
5. Тайц Н. Ю. Технология нагрева стали/ М.: Металлургиздат, 1962. 567 с.

УДК 621.565.94

ТЕПЛООБМІННИКИ КРІОМОДУЛІВ НА БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СУМІШАХ

Postgraduate Lytvynenko M.P., scientific supervisor Tuz V.O., D.Sc., professor
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv

HEAT EXCHANGERS OF MIXED MULTI-COMPONENT CRYOCOOLERS

Аспірант Литвиненко М.П., науковий керівник Туз В.О., д.т.н., професор
Національний Технічний Університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ

Анотація. В роботі проаналізовано типові приклади конструкцій рекуперативних мікротеплообмінників, які застосовуються в криогенній техніці. Наведено аналіз теплообмінних і гідравлічних характеристик мікротеплообмінників витого типу та області їх застосування. Показано можливість застосування багатокомпонентних холодоносіїв на основі інертних газів та вуглеводнів, які використовуються в дросельному циклі Джоуля-Томпсона. Дані холодоагенти відповідають вимогам Монреальського і Кіотського протоколів. Використання криокулерів на комбінованому робочому тілі дозволяє забезпечити рівень криостаткування до 73 К. Пропонується розробка нових методів інтенсифікації процесів теплообміну і конструкцій мікротеплообмінників.

Ключові слова: мікротеплообмінники, багатокомпонентні теплоносії, криокулери, нові методи інтенсифікації процесів теплообміну, конструкції мікротеплообмінників.

Abstract. In this work typical examples of designs of recuperative micro-heat exchangers, which are used in cryogenic technique, are analyzed. The analysis of heat exchanging and hydraulic characteristics of twisted type micro-heat exchangers and their application area is presented. The possibility of using multi-component coolants based on inert gases and hydrocarbons used in the Joule-Thompson throttle cycle is shown. These refrigerants meet the requirements of the Montreal and Kyoto protocols. The use of cryocoolers on a combined working medium provides a temperature range up to 73 K. It is proposed to develop new methods for intensifying heat transfer processes and micro-heat exchanger designs.

Keywords: micro-heat exchangers, multicomponent heat transfer agents, cryocoolers, new methods of intensification of processes of heat exchange, engineering design of micro-heat exchangers.

За останні десятиліття в багатьох галузях науки, техніки та в промисловості зріс інтерес до використання криогенних температур в діапазоні від 120 К до 73 К. Зокрема, вони застосовуються в медицині і біології, вакуумній техніці і технології для охолодження пасток, очищення газів від вологи та інших домішок криогенного відкачування, у радіоелектроніці та оптиці. Особливу значимість набуло використання низьких температур у електронній промисловості, зокрема в вимірвальній техніці для охолодження джерел випромінювання у видимій та інфрачервоній області спектру, особливістю яких є наявність чіткої залежності параметрів кристалу від рівня охолодження.

Для охолодження вказаних пристроїв найчастіше використовуються дросельні системи охолодження розімкненого або замкненого циклу з використанням ефекту Джоуля-Томпсона (криокулери).

Системи замкненого типу, які працюють на стисненому азоті до тиску 10,0-20,0 МПа потребують підвищеної потужності компресорів.

Відповідно до Монреальського і Кіотського протоколів озоноруйнуючий потенціал (ODP) і потенціал глобального потепління (GWP) стали важливими віхами в розвитку холодильного обладнання, що привело до перегляду холодоагентів, які раніше використовувались. Багато дослідників сповіщають, що використання багатокомпонентних теплоносіїв являються енергетично ефективними і оправдовують їх застосування в кріокулерах.

Досягнення низьких температур є можливим з використанням системи охолодження на основі пароконпресійного циклу Лінде з рекуперативним теплообмінником. Робочим тілом виступає холодильний агент, який складається з сумішей вуглеводнів та інертних газів. Дані холодоагенти відповідають вимогам Монреальського і Кіотського протоколів. Використання багатокомпонентних холодоагентів дозволяє отримати необхідну термодинамічну ефективність циклу охолодження на рівні каскадних холодильних машин і газових кріогенних машин, при значно нижчому тиску дроселювання в 1,5-2,0 МПа. Даний ефект стає можливим завдяки введенню в склад робочого тіла компонентів, які мають вищу температуру кипіння, вони конденсуються в прямому потоці і випаровуються в зворотному. Фазові переходи при цьому відбуваються в широкому інтервалі температур $T_{\text{вс}} \geq T \geq T_{\text{о}}$. В зв'язку з цим для кожного компонента повинна виконуватись умова $r_m > r_n$, де $r_m; r_n$ – відповідно теплота фазових переходів в прямому і зворотному потоках. Застосування багатокомпонентного холодоагента покращує енергетичні характеристики дросельного циклу, підвищує надійність і ресурс обладнання.

Одним із основних елементів мікрокріогенної техніки, без якого було б неможливим досягнення низьких температур на рівень кріостатування до 73 К при робочому тиску не більше 2,0 МПа, є рекуперативний мікротеплообмінник. Тому конструкція цих теплообмінників має вирішальне значення. Проте розрахункові дані про теплообмін, пов'язані з такими теплообмінниками, суперечливі. Ефективність теплообмінника аналізується коефіцієнтом теплопередачі та гідравлічним опором. Було виявлено, що більш високі значення загального коефіцієнта теплопередачі призводять до зменшення часу охолодження кріокулера. Дослідження показують, що загальне зниження тиску для випаровуючого холодного потоку має вирішальне значення, яке суттєво залежить від складу багатокомпонентного холодоносія та умов експлуатації.

Мікротеплообмінники, які застосовуються в мікрокріогенній техніці, є апаратами рекуперативного типу з протитечієм рухом. Прямий потік рухається в капілярних трубах, а зворотній потік в міжтрубному просторі. Для збільшення теплообмінної поверхні, а також для забезпечення регульованих зазорів між витками та турбулізації процесу теплообміну застосовується оребрення капілярних трубок. В якості оребрення найчастіше застосовується мідна проволочка круглого перерізу різного діаметра.

Розрізняють декілька видів мікротеплообмінників:

- 1) типу Лінде “Труба в трубі”;
- 2) типу “Паркінсон”;
- 3) типу “Хемпсон”.

Наведені приклади теплообмінників мають достатньо високі коефіцієнти тепловіддачі як в прямому так в зворотному потоках, які обумовлені турбулентним рухом газу в трубках та в міжтрубному просторі. Це дає змогу зменшити втрати холоду за рахунок малого значення недорекуперації. Але в теплообміннику типу Лінде досить високі втрати тиску на тертя, тому при нормальних умовах отримати температуру охолодження близьку до температури кипіння азоту практично неможливо. Цей недолік відсутній в мікротеплообмінниках 2-го і 3-го типу. В таких теплообмінниках зворотній рух теплоносія проходить через розвинену поверхню теплообміну з великою площею прохідного перерізу. Теплообмінник типу “Паркінсон” має найбільше значення площі вільного перерізу і відповідно дуже малим гідравлічним опором має найбільшу величину недорекуперації і втрат холоду із усіх трьох розглянутих типів теплообмінників.

Найбільш ефективним теплообмінником, який можна застосовувати в мікрокріогенній техніці є теплообмінник типу “Хемпсона”. Він має:

- відносно високу ефективність, і як наслідок малі втрати холоду;
- простоту у виготовленні;
- велику розвинену теплообмінну поверхню в зоні зворотніх течій.

Застосування мікротеплообмінника типу “Хемпсон” та багатокомпонентне робоче тіло дає можливість конструювати кріогенні системи, використовуючи серійні компресори, що дозволяє розробити ефективний, компактний, недорогий кріомодуль з температурою кріостатування до -200°C. Слід зазначити, що в процесі експлуатації системи не потребують постійного або періодичного поповнення стиснутого або скрапленого азоту.

В рекуперативних теплообмінниках витого типу прямий потік рухається в трубці, зворотній потік – у міжтрубному просторі. У зв'язку з цим задача теплообміну між потоками може бути розділена на дві – внутрішню і зовнішню, які відрізняються постановкою питання.

Вирішення поставленої задачі зводиться до розрахунку тепловіддачі і гідравлічного опору при вимушеному неізотермічному русі газу в витій циліндричній трубці малого діаметра.

У витих теплообмінниках дросельних установок на температурний рівень 20-80 К і дросельних контурів установок з використанням газових холодильних машин гідродинамічні, теплофізичні та геометричні умови характеризуються наступними величинами: $Re = 1 \cdot 10^4 \div 1 \cdot 10^5$; $\lambda = 1,3$; $d_{тр} = 0,3 \div 0,7$ мм (в окремих випадках $d_{тр} = 0,2$ мм і 1 мм); $L_{тр}/d_{тр} = 1000 \div 2000$; $d_{тр}/R_{зм} = 0,03 \div 0,05$.

Приведений діапазон чисел Re свідчить про, те що в трубках різних мікротеплообмінників має місце три гідродинамічних режима: ламінарний, турбулентний та перехідний. Статистичний аналіз даних вказує на те, що в більшості випадків спостерігається розвинений турбулентний режим (теплообмінники високого і середнього тисків), і тільки в апаратах низького тиску спостерігається ламінарний і перехідний. Турбулентний режим в цих апаратах спостерігається при $T < 50$ К.

ВИСНОВКИ

Для досягнення низьких температур необхідно застосовувати багатокомпонентні робочі тіла на основі інертних газів та вуглеводнів в циклі Джоуля-Томпсона. Дані сумішеві холодоагенти відповідають Монреальському і Кіотському протоколам. Використання багатокомпонентних холодоагентів дозволяє отримати необхідну термодинамічну ефективність циклу охолодження на рівні каскадних холодильних машин і газових криогенних машин, при значно нижчому тиску дроселювання в 1,5-2,0 МПа.

Використання традиційних для мікротеплообмінників конструкцій не завжди вирішує вимоги, яким повинно відповідати обладнання спеціального призначення. Тому актуальним є розробка нових методів інтенсифікації процесів тепломасообміну і конструкцій мікротеплообмінників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дилевская Е.В. Криогенные микротеплообменники. – М.: Машиностроение, 1978.
2. Перспективы использования дросельных циклов на смесях в криогенных системах / В.М. Бродянский, В.М. Ягодин, В.Н. Никольский и др. – Химич. и нефт. Машиностроение, 1976, № 1, с. 21-23.
3. Ягодин В.М., Никольский В.А., Бродянский В.М. Основные свойства и классификация многокомпонентных смесей, используемых в качестве рабочих тел дросельных криогенных систем с уровнем теплоотвода в интервале 65-100 К. – Промышленные теплоэнергетические и криогенные установки, – Тр. МЭИ, 1973 вып. 155. 82 с.
4. Little, W.A., 2008. Heat transfer efficiency of Klimenko cycle heat exchangers, Adv. Cryo.Eng. 53, 606–613.

УДК 664.8.047

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ФІТОЕСТРОГЕННОЇ СИРОВИНИ

Петрова Ж.О., д.т.н, головний науковий співробітник
Слободянюк К.С., аспірант
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

ENHANCEMENT OF THE EFFICIENCY OF THE PHYTOSHROGENIC RAW DRYING PROCESS

Petrova Zh.O., Doctor of Engenering., Chief researcher
Slobodyanyuk K.S., post-graduate student
Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Анотація. Постійний попит на сою і соєві продукти як на внутрішньому, так і зовнішньому ринках України зумовив розширення площі посівів під цією рослиною і вона стала одною з найприбутковіших культур, які вирощуються у сільськогосподарських підприємствах. Полінасічені жирні кислоти, які входять до складу клітинних мембран сої та інших структурних елементів рослинних тканин, виконують в організмі низку важливих функцій, зокрема забезпечують нормальний ріст та обмін речовин, еластичність судин. У зв'язку з існуючою проблемою дефіциту білка в харчуванні людей все більшої актуальності набувають для України дослідження шляхів підвищення економічної ефективності виробництва сої, формування та функціонування ринку сої та продуктів її переробки.

Тепловий вплив – одна з найбільш широко розповсюджених теплотехнологічних операцій в процесах обробки рослинної сировини, а тепловий нагрів з метою зменшення початкового вологовмісту сировини, що обробляється (сушіння) – один із найбільш розповсюджених способів консервування, підготовки і полуфабрикування харчових продуктів. На ряду з перевагами процесу сушіння виникає ряд недоліків процесу,

ЗМІСТ

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ, ТЕПЛОВИХ, МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

ВПЛИВ МЕТОДИКИ РОЗМІЩЕННЯ СИРОВИННИХ ПОЛІН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ДЕРЕВНОГО ВУГЛЛЯ ПІРОЛІЗНИМ СПОСОБОМ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ	
Товажнянский Л.Л., Вель В.Є., Миронов А.М.	5
ТЕПЛООБМІННИКИ КРІОМОДУЛІВ НА БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СУМІШАХ	
Литвиненко М.П., Туз В.О.	10
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ФІТОЕСТРОГЕННОЇ СИРОВИНИ	
Петрова Ж.О., Слободянюк К.С.	12
ЗВ'ЯЗОК ЯВИЩА ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ ТА ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ ВОДИ	
Авдєєва Л.Ю., Жукотський Е.К., Макаренко А.А.	17
КОНВЕКТИВНО-ТЕРМОРАДІАЦІЙНЕ СУШІННЯ ЯБЛУЧНИХ СНЕКІВ ЗА УМОВ РУХУ ПОВІТРЯ	
Малежик І. Ф., Дубковецький І. В., Стрельченко Л. В.	20
ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ЕКСТРАГУВАННЯ СІРЧАНОКИСЛОЇ МІДІ ЗА УМОВ ВАКУУМУВАННЯ	
Симак Д.М. Склабінський В.І.	24
ВПЛИВ РОЗЧИННИХ РЕЧОВИН НА СТАН ВОДИ В РОСЛИННИХ ТКАНИНАХ ТА КІНЕТИКУ ЇХ СУШІННЯ	
Дмитренко Н.В.	30
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДІОКСИДУ СУЛЬФУРУ ТА НІТРОГЕНУ НА ПРОЦЕС ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ХЛОРОФІЛСИНТЕЗУЮЧИМИ МІКРОВОДОРОСТЯМИ	
Дячок В.В., Катишева К.В., Гуглич С.І., Мандрик С.Т.	35
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АБСОРБЦІЇ КИСНЮ В РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНОМУ АПАРАТІ	
Ободович О.М., Сидоренко В.В.	41
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА БАКТЕРИАЛЬНОГО ПРЕПАРАТА «БИФАЦИЛ» НА ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАСПЫЛИТЕЛЬНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНЕЧНОГО ПРОДУКТА	
Переяславцева Е.А.	44
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
Рябова І.Б., Петухова О.А., Горносталя С.А., Щербак С.М.	50
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СУСПЕНЗОВАНОГО ГРИБА ШИЇТАКЕ В СИСТЕМІ «КРАПЛЯ-ПАРОГАЗОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ»	
Шаркова Н.О., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Костянець Л.О.	55
КОНВЕКТИВНЕ ЗНЕВОДНЕННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ БАТАТУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	
Шапар Р.О., Гусарова О.В.	58
ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ БУРЯКОВОГО ЖОМУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОКОРМІВ	
Гнатів З.Я., Мосюк М.І., Дулеба В.П.	62
ПРОЦЕС ЕКСТРАГУВАННЯ З ПЛОДІВ ШИПШИНИ У ВАКУУМНОМУ МІКРОХВИЛЬОВОМУ АПАРАТІ	
Левтринська Ю.О., Альхурі Юсеф, Голінська Я.А., Терзієв С.Г.	66

МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНОСУ. ОПТИМІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ І СИСТЕМ

ТЕПЛООБМІН ПРИ ПЛАВЛЕННІ ТА КРИСТАЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ	
Корінчевська Т.В., Снежкін Ю.Ф., Михайлик В.А.	73