

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СУШАРКИ ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ, РОЗРОБЛЕНІ В ІТТФ НАН УКРАЇНИ

Снесжкін Ю.Ф. доктор технічних наук, академік НАН України
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

Анотація. Стаття присвячена актуальній для України проблемі ефективного зневоднення вологих матеріалів в харчовій промисловості. Зневоднення колоїдних капілярно-пористих матеріалів біологічної природи є складним та енергоємним процесом. Як показують останні статистичні дані, на процеси зневоднення в світі припадає близько 12 % усієї енергії. Зокрема, для України цей показник становить 10 %, в промисловості – 28 %. Додатковою проблемою в процесах сушіння є випаровування вологи, що відноситься до парникових газів, та потребує термінового вирішення, враховуючи екологічну ситуацію в світі. Тому є екологічно та енергетично доцільним постійно розробляти нові та вдосконалювати існуючі теплотехнології і обладнання для зневоднення колоїдних капілярно-пористих матеріалів, які б дали можливість зменшити витрати на процес, зберегти якісні показники сушеної продукції.

Ефективність теплотехнологій залежить, певною мірою, як від властивостей досліджуваного матеріалу, так і від характеристик та можливостей сушильного обладнання. В статті представлені ефективні розпилювальні, тунельні, камерні, однострічкові і багатострічкові, вакуумні, роторно-дискові, шнекові сушарки, а також сушильні установки, які для нагріву теплоносія використовують альтернативні джерела енергії (теплові насоси, геотермальна і сонячна енергія).

Загалом, в Інституті технічної теплофізики НАН України розроблено біля 30 таких сушарок, які впроваджені на підприємствах харчової промисловості.

Наведені схеми і конструктивні особливості сушарок, характерних для кожного з розроблених видів і їх технічні характеристики. Стиль викладення матеріалу – логічний, стислий, зрозумілий для спеціалістів даного напрямку та більш широкого кола читачів. Представлений в статті матеріал має наукову і інформаційну новизну та може бути цікавим для технологів виробництва переробки харчової рослинної сировини на сушений продукт, при сушінні зернових культур, за розробки технологій біопалива, палива з твердих побутових відходів та інше.

Ключові слова: сушильні установки, альтернативні джерела енергії, енергоефективність, теплоносії, тепловий насос.

В Інституті технічної теплофізики НАН України (ІТТФ) на основі багаторічних аналітичних та експериментальних досліджень було розроблено основи процесів тепломасопереносу при сушінні різноматієних колоїдних капілярно-пористих матеріалів. Розвинені концепція і методологічні принципи аналітичного і експериментального дослідження процесів тепловологопереносу в складних аеродинамічних і температурно-вологісних умовах в сушильних камерах. Розроблені нові методи управління кінетичними характеристиками системи матеріал-парогазове середовище.

В результаті розроблено понад 140 нових конструкцій сушильних установок в тому числі понад 30 сушарок для харчової промисловості, створено 10 типів обладнання, яке використовують при роботі сушарок (теплогенератори, циклони, озонатори та інше). Вся конструкторська документація на це обладнання зберігається в архіві ІТТФ.

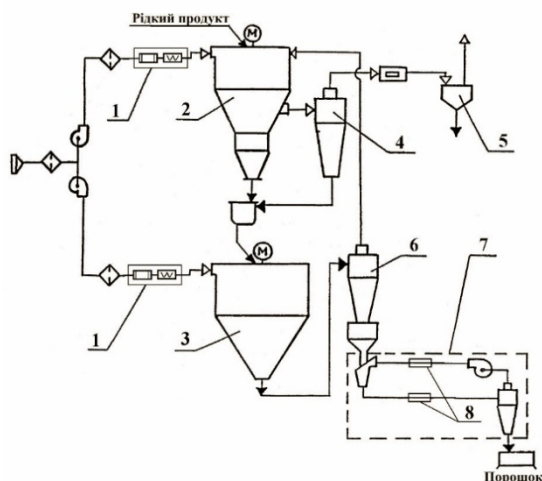
Всі розроблені установки захищені авторськими свідоцтвами і патентами, а також більшість з них впроваджені на виробництві, загальна кількість яких понад 300.

Розпилювальні сушильні установки.

Одним із сучасних способів конвективного сушіння матеріалів у рідкому стані є сушіння розпилюванням. Цей спосіб широко застосовується для зневоднення істинних і колоїдних розчинів, суспензій, емульсій, пульпи та «рухомих паст» в харчовій та інших галузях промисловості.

Випарювально-сушильний агрегат АРС-Х-200.

Призначений для одержання порошкової форми рідких харчових продуктів таких, як фруктові та овочеві соки, водні екстракти шипшини, крушини, яєць та інші.



1 – система нагріву повітря, які включає калорифери паровий та електричний; 2 – випарювальна камера з краплевлловачем, вмонтованим у нижній конусній її частині; 3 – сушильна камера; 4 – циклон «вологий»; 5 – спеціальний «вологий» вловлювач; 6 – циклон «сухий»; 7 – система охолодження порошку; 8 – теплообмінники.

Рис. 1 – Схема випарювально-сушильного агрегату APC-X-200

Таблиця 1

Технічні характеристики

Показники	
Продуктивність по випареній волозі, кг/год:	
випарювальної камери	140
сушильної камери	70
агрегату в цілому	210
Температура теплоносія на вході, °С:	
у випарювальну камеру	150-200
в сушильну камеру	150-200
Температура теплоносія на виході, °С:	
з випарювальної камери	40-50
з сушильної камери	85-95
Споживана потужність, кВт	200
Габаритні розміри (висота x ширина x довжина), м	9,0 x 6,0 x 12,5
Маса (матеріаломісткість) Агрегату, кг	13000

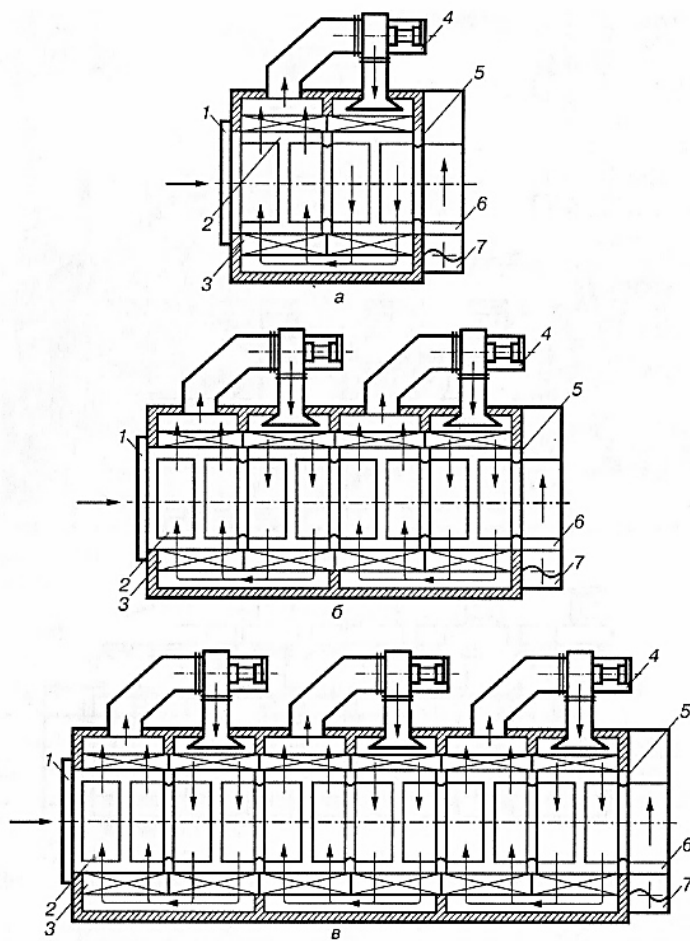
Агрегат заснований на двостадійному зневодненні методом розпилювання високовологих термолабільних продуктів в окремих апаратах, де випарювання основної маси вологи відбувається при температурі вологого термометру (40 – 55 °С), а завдяки короткочасному перебуванню в зоні термічної дії створюються умови для збереження біологічно активних речовин вихідного продукту [1].

Загалом розроблено 5 різних енергоєфективних розпилюючих сушарок, які використовують для отримання кавових напоїв на основі кави і цикорію, вітамінних комплексів натрієвих і кальцієвих солей, концентрату рекомбінованого тютюну та інші. Всі сушарки широко впроваджені.

Тунельні сушарки. Одним з сучасних способів конвективного сушіння твердих матеріалів є їх зневоднення в тунельних сушарках. Твердий матеріал може бути різноманітної форми, структури і різних розмірів. Теплоносій (нагріте повітря, продукти спалювання палива, газоповітряна суміш) обтікає матеріал в різних умовах і є одночасно теплопередатчиком та вологопоглиначем.

В тунельних сушарках ІТТФ НАН України використані розроблені в Інституті високотемпературні режими зневоднення. Відомо, що в першому періоді сушіння, коли перенос вологи не лімітує цей процес і температура матеріалу дорівнює температурі мокрого термометру, підвищення температури в цей час безпечно з точки зору збереження якості матеріалу і суттєво пришвидшує процес зневоднення.

Суттєвий ефект пришвидшення зневоднення відбувається при одночасно значному підвищенні температури теплоносія в 1,5 – 3 рази і його вологовмісту в 2 – 10 разів. Це дозволяє підвищити температуру матеріалу в процесі сушіння, пришвидшити процес переносу вологи в ньому, відділити або зовсім уникнути (особливо для тонких виробів) заглиблення зони випарювання. Використання високотемпературного високовологого теплоносія в сушарках дозволило в кілька разів пришвидшити зневоднення ряду рослинних, тваринних та інших матеріалів [2].



a – однозонна; *б* - двузонна; *в* – тризонна;

1 – ворота сушарки; *2* – вагонетка; *3* – калорифер; *4* – центробіжний вентилятор; *5* – ущільнювач;
б – зона охолодження; *7* – осьовий вентилятор

Рис. 2 – Схеми зонних парових тунельних сушарок

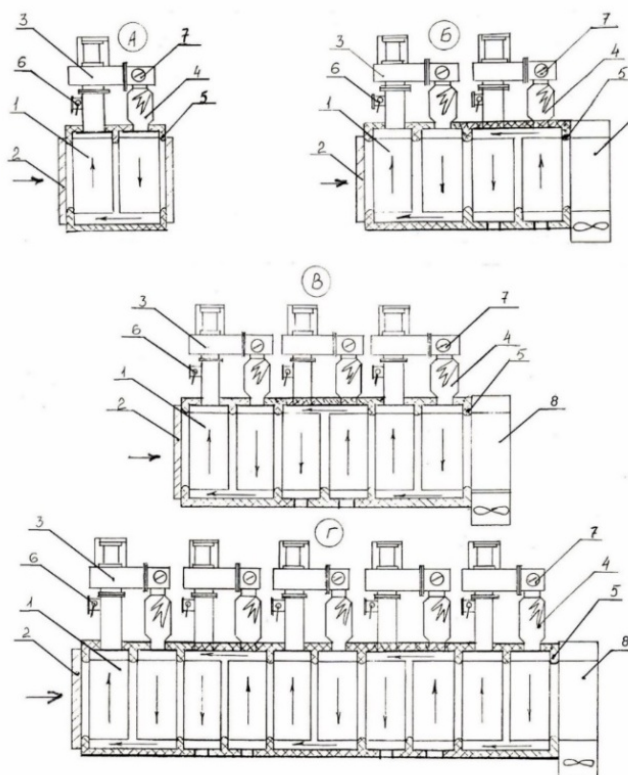
Тунельні зонні сушильні установки на парових калориферах СП-1, СП-2, СП-3 і теплогенераторах СО-1, СО-2, СО-3, СО-5. Сушарки призначені для зневоднення колоїдних капілярно-пористих матеріалів (деревина, фрукти та їх вичавки, овочі, ягоди, пряно-ароматичні трави, м'ясо, риба та інше)

Таблиця 2

Технічні характеристики сушарок СП-1; СП-2; СП-3

Показники	СП-1	СП-2	СП-3
Температура сушіння, °С	30-140	30-140	30-140
Продуктивність по випареній волозі, кг/год при зневодненні до $W \leq 6\%$	350-370	740-770	1150-1200
Випаровування волозі з одиниці поверхні, кг/м ²	1,4-1,48	1,48-1,54	1,54-1,6
Випаровування волозі з одиниці об'єму, кг/м ³	19,7-20,9	20,9-21,5	21,5-22,6
Коефіцієнт використання об'єму сушильної камери	0,24	0,24	0,24
Питомі витрати теплоти на 1 кг випареної волозі, кДж/кг	3768-4187	3768-4187	3768-4187
Габарити сушарки, (довжина x висота x ширина) м:	15x3x10	17x3x10	22x3x10
Матеріалоємність, т	16	24	32

Тунельна сушарка СП-3 у 1982 році була успішно здана Всесоюзній міжвідомчій комісії Укрконсерв-рому СРСР при зневодненні вичавок насінневих фруктів до низької кінцевої вологості і рекомендована для серійного виробництва, а також рекомендована до атестації на вищу категорію якості. Загалом розроблено 7 різних видів тунельних сушарок, які впроваджені в Україні та за кордоном.



*а – однозонна (СО-1), б – трizonна (СО-2), в – трьохзона (СО-3), г – п'ятизонна (СО-5);
1 – вагонетка, 2 – ворота сушарки, 3 – вентилятор, 4 – теплогенератор, 5 – ущільнення, 6 – заслінка з біофільтром; 7 – заслінка вихлопу; 8 – зона охолодження*

Рис. 3 – Схема зонних тунельних сушарок на теплогенераторах

Таблиця 3

Технічні характеристики сушарок СО-1; СО-2; СО-3; СО-5

Показники	СО-1	СО-2	СО-3	СО-5
Температура сушіння, °С	30-140	30-140	30-140	30-140
Продуктивність по випареній волозі, кг/год (при зневодненні до $W \leq 6\%$)	150-160	490-510	640-670	900-940
Випаровування волози з одиниці поверхні, кг/м ²	1,20-1,28	1,30-1,36	1,36-1,4	1,44-1,51
Випаровування волози з одиниці об'єму, кг/м ³	16,9-18,1	18,4-19,2	19,4-20,1	20,3-21,2
Коефіцієнт використання об'єму сушильної камери	0,24	0,24	0,24	0,24
Питомі витрати теплоти на 1 кг випареної волози, кДж/кг	4605-4815	4187-4605	4150-4170	3977-4187
Габарити сушарки, (довжина x висота x ширина), м:	10x3x5	15x4x10	20x4x10	35x4x10
Матеріалоємність	8	28,5	36	42

Камерні сушарки. Камерні сушарки є конвективними апаратами періодичної дії, які, в основному, працюють за атмосферного тиску. Використовуються головним чином в невеликих виробництвах для зневоднення різноманітних продуктів і матеріалів. Матеріал в цих сушарках сушиться на лотках (деках, піддонах), встановлених на стелажих, або вагонетках, які знаходяться в сушильній камері. Сушильну камеру завантажують і вивантажують матеріалом періодично. В цих сушарках матеріал під час зневоднення знаходиться в стані спокою.

Установка бездимного копчення риби. Установка призначена для процесу гарячого бездимного нагріву в парі копильних препаратів за рахунок нагріву риби високотемпературною пароповітряною сумішшю, рециркулюючою в замкнутому аеродинамічному контурі. Також вона використовується для термообробки рибних виробів.

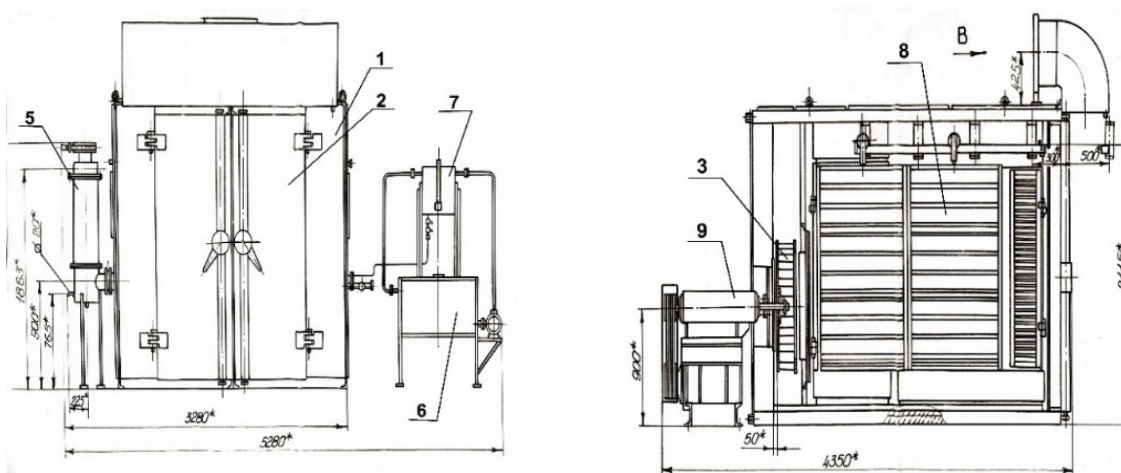
Установка працює наступним чином: після вмикання приводу аеродинамічного колеса (9, рис. 4) та групи тенів (4) установка виводиться на заданий температурний режим. Нагріте повітря рециркулює в камері (1), переміщується через бокові канали в камеру та на всмоктування колеса (3). Потім, в установку завантажуються дві клітини з рибою і вмикають подачу порції копильної рідини. Перед завантаженням в одну з

рибою вставляють термопару для виміру температури в тілі риби. Процес копчення проводиться або по часу, або по температурі в тілі риби. Загалом розроблено 2 типи камерних сушарок, які широко впроваджені в Україні.

Таблиця 4

Технічні характеристики

Показники	
Продуктивність, кг/год	200-400
Температура в камері, °С	120-180
Час обробки, год (не більш)	1,0
Встановлена потужність, кВт: електродвигуна електронагрівачів	30 120
Габаритні розміри (без короба відсмоктування та коптильної рідини) довжина x ширина x висота, м:	4,35x3,28x2,51
Маса (без клітей), т	4,5



1 – камера; 2 – двері; 3 – аеродинамічне колесо; 4 – електронагрівач; 5 – конденсатор; 6 – бак коптильної рідини; 7 – мірний бачок; 8 – кліть з піддонами; 9 – привід аеродинамічного колеса

Рис. 4 – Креслення установки копчення риби:

Однострічкові та багатострічкові сушарки. В однострічкових та багатострічкових сушарках зневоднення матеріалів здійснюється безперервно за атмосферного тиску [3]. В камері сушарки шар матеріалу, що зневоднюється, рухається по нескінченній стрічці, яку натягнуто між ведучим і відомим барабанами. Вологий матеріал подається на один кінець стрічки, а зневоднений відводиться з іншого кінця. Матеріал розміщують невеликим елементарним шаром або на перфорованих листах, або на ситах чи стрічках, які постійно перебувають у русі.

В інституті розроблено 4 однострічкових та багатострічкових сушарок які використовуються в харчовій промисловості для зневоднення фруктово-овочевої сировини та для отримання порошку із жому цукрового буряку і сушарка для отримання рекомбінованого тютюну.

Двосекційна багатозонна стрічкова сушарка АГСО. Сушарка призначена для зневоднення колоїдних капілярно-пористих матеріалів (фрукти, овочі, пряно-ароматичні трави та інше) .

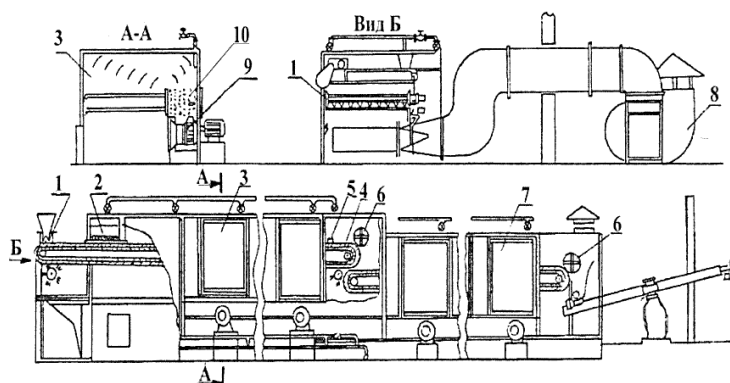
На рисунку 5 зображена схема агрегату гіротермічної обробки, ділянки зневоднення та охолодження (АГСО), що має вигляд двосекційної багатозонної стрічкової сушильної установки, в якій чисте повітря нагрівається у парових калориферах (10) [4].

Секції сушильної установки з'єднано загальним повітропроводом, а вихідна частина стрічкового конвеєра першої секції (4) розташована над прийомною частиною стрічкового конвеєра другої секції. На початковій частині стрічкового конвеєра встановлено шнек-розкладник (1), за допомогою якого регулюють висоту шару матеріалу на стрічці [4].

Останні дві зони другої секції сушильної установки є рекуператором-охолоджувачем, при цьому повітря нагрівається і надходить далі в сушильну зону, маючи температуру значно вищу за зовнішнє повітря. Протитечійний рух теплоносія здійснюється викидним вентилятором (8), розташованим на початку установки. Перехресний рух теплоносія відносно матеріалу, що знаходиться на стрічці, здійснюється вентиляторами сушильних зон і зони охолодження [4].

Технічні характеристики

Показники	
Температура сушіння, °С	30-140
Потужність по сировині, т/год	1,0-1,2
Потужність по сухому продукту (при кінцевій вологості $W \leq 6\%$)	0,16-0,20
Витрати пару, т/год	3,0-4,0
Витрати теплоти на 1 кг випареної вологи кДж/кг	3400-3800
Габарити сушарки (довжина x ширина x висота), м	45,0 x 2,5 x 2,2
Матеріалоємність, т	60,0



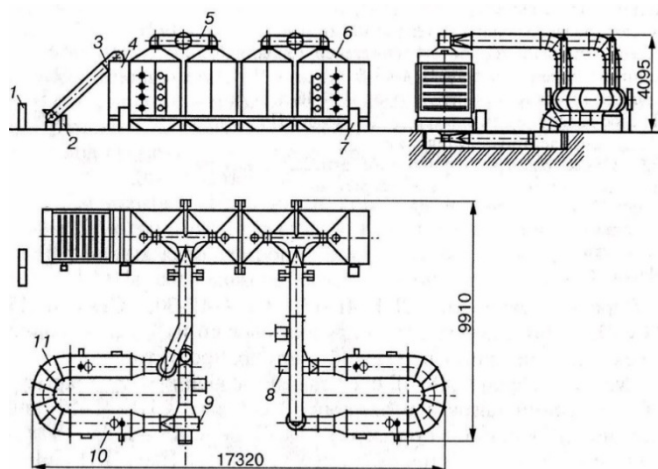
1 – шнек-розкладник; 2 – зона гіротермічної обробки; 3 – зона сушіння; 4 – сушильна стрічка; 5 – розпушувач; 6 – скидач; 7 – зона охолодження; 8 – викидний вентилятор; 9 – вентилятор сушильної зони; 10 – паровий калорифер

Рис 5 – Схема стрічкової сушильної установки АГСО

Особливістю цієї сушарки є поєднання кількох технологічних процесів – це гіротермічна обробка сировини, зневоднення та його детермопластифікація висушеного до низької вологості матеріалу і низькі витрати енергії на 1 кг випареної вологи [5].

Конвеєрна сушарка на теплогенераторах СКО-90. Конвеєрна сушарка на теплогенераторах СКО-90 призначена для сушіння рослинної сировини – фруктів та овочів. Особливістю даної моделі є можливість пересипання матеріалу із однієї стрічки конвеєру на іншу.

Сушарка має п'ять безмежних стрічкових конвеєрів, які здвигнуті один відносно іншого по довжині сушильної камери (4) які приводяться до руху приводом (7) (рис. 5). З метою загрузки продукту до сушарки та розміщення його на конвеєрній стрічці застосовується спеціальний загрузочний конвеєр (3), який підключений до автономної привідної станції (2). Над верхньою поверхнею трьох конвеєрів для перемішування матеріалу встановлені воружники, а стрічки очищуються від продукту, який налипнув, за рахунок щіток, для очищення поверхні барабанів застосовуються скребки.



1 – щит управління; 2 – привідна станція; 3 – загрузочний конвеєр; 4 – сушильна камера; 5 – колектор; 6 – витяжний короб; 7 – привод стрічок; 8, 9 – вентилятори; 10 – теплогенератор; 11 – повітропровід.

Рис. 6 – Сушарка СКО-90 на теплогенераторах

Таблиця 6

Технічні характеристики сушарки СКО-90

Показники	
Продуктивність по випареній волозі, кг/год	630
Питомі витрати теплоти на 1 кг випареної вологи кДж/ кг,	5577
Встановлена потужність електродвигунів, кВт	41,2
Кількість теплогенераторів ТГ-2,5А	4
Кількість вентиляторів у14-46-8	2
Робоча площа конвеєрних стрічок, м ²	90
Габарити сушарки (довжина x ширина x висота), мм:	17320 x 9910 x 4095
Матеріалоемність, кг	13700

Сушарка працює на підприємствах, де немає промислового пару, теплогенератор працює на дизельному,

підному паливі або газу; між продуктами спалювання палива та теплоносієм нема контакту. Сушарка СКО-90 успішно здана Міжвідомчий приймальній комісії в 1990 році при зневодненні насінних фруктів, винограду до рівноважної вологості і рекомендована в серійне виробництво, а також рекомендована к атестації на вищу категорію якості.

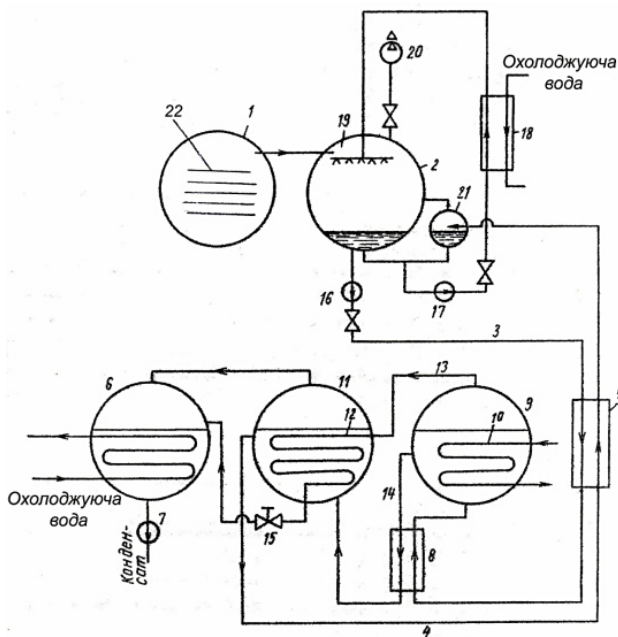
Вакуумні сушарки. Вакуум сушінню піддають матеріал в тому випадку, коли контакт з киснем повітря і нагрів до високих температур може призвести до погіршення його якості. Пари, які виходять з матеріалу шкідливі або мають цінність і повинні бути уловлені (наприклад, пара спирту).

В середньо і глибоко вакуумних сушарках волога видаляється під тиском нижче трійної точки (для водяної пари 0,61 кПа при температурі біля 0 °С). В цих умовах в матеріалі відбувається сублімація (возгонка) льоду.

В Інституті створені абсорбційні установки для сублімаційного сушіння, які мають менші енерговитрати в порівнянні з існуючими сублімаційними сушарками за рахунок значно менших витрат електроенергії для її роботи. Загалом було розроблено 2 вакуум сушарки.

Адсорбційна установка для сублімаційного сушіння з двома теплообмінниками-регенераторами. Сушарка призначена для поглинання водяних парів при сублімаційному сушінні термолабільних матеріалів.

Особливістю функціонування сушарки є низькі витрати теплоти на роботу абсорбційної установки за рахунок того, що пари холодоагенту, які видалені



1 – субліматор; 2 – абсорбер; 3, 4 – лінії слабого і міцного розчинів; 5, 8 – кип'ятильники-регенератори; 6 – конденсатор; 7, 16 – насоси, 9, 11 – перша і друга ступені кип'ятильника; 10, 12 – гріючі поверхні; 13, 14 – трубопроводи; 15 – регулюючий вентиль; 18 – охолоджувач; 19 – зрошувач; 20 – вакуум-насос; 21 – змішувач; 22 – матеріал

Рис. 7 – Схема абсорбційної установки з двома теплообмінниками-регенераторами

з розчину першої ступені кип'ятильника використовуються для кінцевого випарювання розчину в його другій ступені.

Таблиця 7

Технічні характеристики

Показники	
Продуктивність по випареній волозі, кг/год	80 – 90
Температура теплоносія, °С	8 – 10
Максимальна швидкість сушіння, %/хв.	7 – 13
Тиск в субліматорі, кПа	0,27 – 0,31

Роторно-дисккові або білові сушарки. Роторно-дискова або білова сушарка представляє із себе горизонтальну установку з проходженням через неї нагрітого теплоносія, що забезпечує зневоднення рідких та пастоподібних матеріалів. Ефективність зневоднення матеріалу основана на теплообмінні між тонким шаром матеріалу, що знаходиться на поверхні диску і теплоносієм, який обдуває ці диски з матеріалом. Побіч-

на теплопередача забезпечує м'який і екологічно безпечний процес сушіння. Конструкція дисків, які закріплені на роторі сушарки і на яких знаходиться тонкий шар матеріалу при контакті з нагрітим теплоносієм забезпечує високу ступінь випаровування вологи з матеріалу. Матеріал що зневоднюється безперервно подається на вхід сушарки, інтенсивно висушується на дисках і спеціальними скребками видаляється з них. Роторно-білові сушарки застосовують для зневоднення, перш за все, матеріалів, які мають підвищену адгезію.

Створені та впроваджені в Інституті роторно-дисків сушарки для зневоднення кислих розчинів, морквяного коагулянту та отримання дистильованої рідини на содових заводах підтвердили високу ефективність і надійність при експлуатації.

Загалом було розроблено 2 роторно-дисків сушарки.

Роторно-дисків сушарка для зневоднення кислих розчинів. Сушарка призначена для зневоднення кислого розчину для вилучення сульфату натрію з відпрацьованих кислих розчинів, що дозволяє використати його, як товарний продукт при спеціальній обробці та повернення сірчаної кислоти в існуючий технологічний процес. (Сушарка може використовуватись і для отримання морквяного коагулянту).

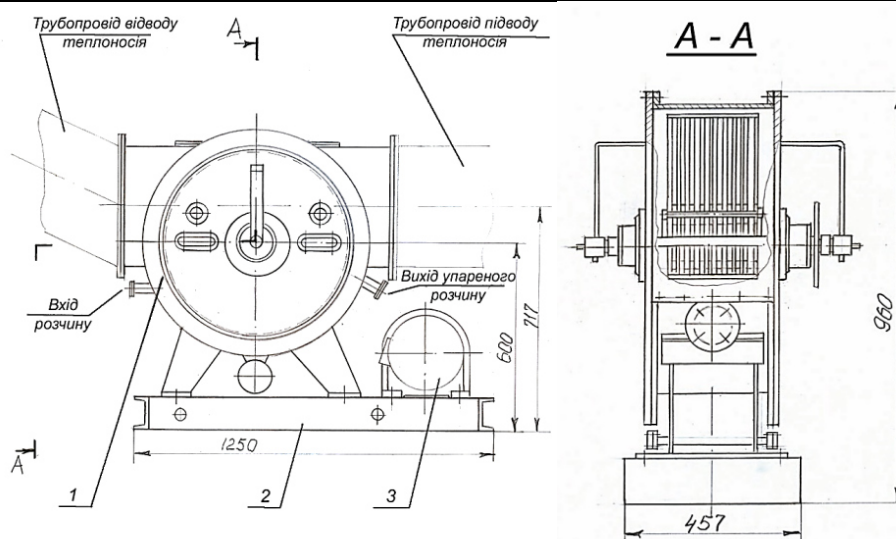
Відпрацьовані кислі розчини, які мають 76-170 г/л H_2SO_4 та 52-90 г/л Na_2SO_4 при температурі 90°C надходять в друк-фільтр, де відбувається їх очистка від механічних частинок. Очищений розчин насосом подають в випарну роторно-дисків сушарку.

Сушарка має велику поверхню тепло масообміну в одиниці об'єму, а спосіб упарювання розчину в плівці є найбільш ефективний в порівнянні з іншими способами.

Таблиця 8

Технічні характеристики

Показники	
Продуктивність, кг вологи/год	80-100
Ступінь упарювання, %	10-32
Температура теплоносія, °C:	
на вході	400-700
на виході	200-220
Температура розчину, °C:	
на вході	90
на виході	75
Поверхня тепломасообміну, м ²	75
Число дисків, шт.	21
Число обертання дисків, об/год	5-15
Габарити (довжина x ширина x висота), м	1,25x0,69x0,96
Маса, кг	550



1 – корпус сушарки; 2 – рама; 3 – мотор-редуктор; 4 – патрубок підводу розчину; 5 – горловина входу теплоносія; 6 – горловина виходу теплоносія; 7 – патрубок відводу розчину; 8 – диски

Рис. 8 – Схема роторно-дисків сушарки

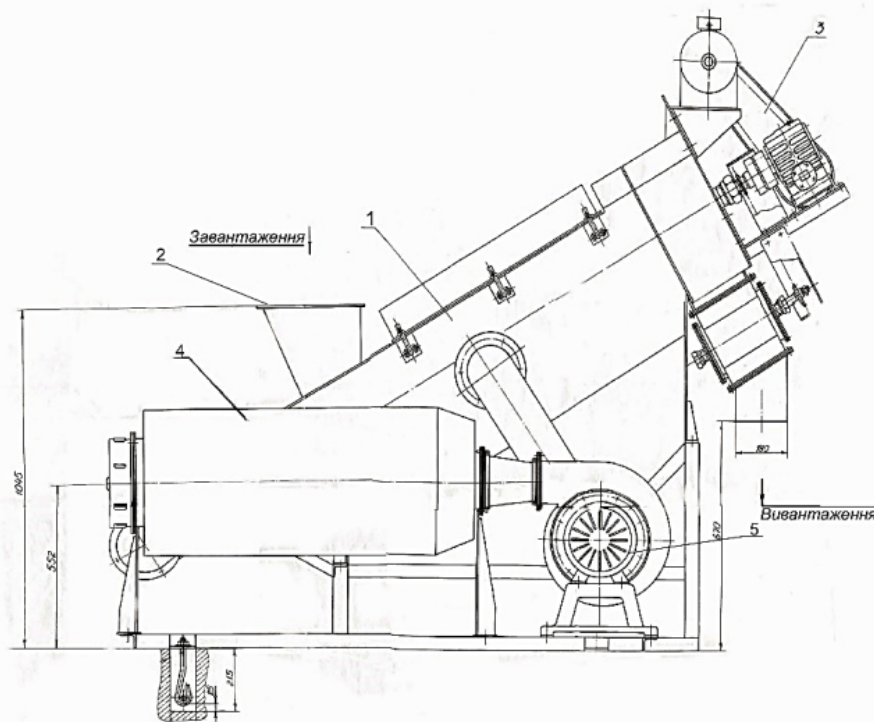
Шнекові сушильні установки. Шнекова сушарка призначена для зневоднення сипучих матеріалів. Основною частиною сушарки є короб сферичної форми, в середині якого знаходиться шнековий транспортер

закритого типу. Шнек обертається за допомогою електроприводу. З одного кінця сушарки розташовується завантажувальний пристрій, з іншого вивантажувальний. Теплоносій може подаватись в шнекову сушарку прямою, або протитоку, в залежності від термолабільності матеріалу. Для термолабільних використовують прямоток, а для термічно стійких матеріалів протиток.

Шнекова сушарка є одним з типів контактних сушарок, які дозволяють механізувати зневоднення матеріалу за рахунок обертання шнеку. Ці сушарки можливо застосовувати і для охолодження матеріалів.

Сушарка для ячної шкарлупи. Сушарка призначена для термообробки та сушіння відходів при використанні яєць в харчовій промисловості з метою їх використання в якості мінеральної добавки.

Особливістю функціонування сушарки є процес коли в одному апараті відбувається зневоднення та стерилізація.



1 – шнековий апарат; 2 – завантажувальний бункер; 3 – привід шнека; 4 – електрокалорифер; 5 – вентилятор.

Рис. 9 – Креслення сушарки

Таблиця 9

Технічні характеристики

Показники	
Продуктивність сушарки, кг	28
Температура теплоносія, °С	110-120
Абсолютна вологість матеріалу, %:	
начальна	30-40
кінцева	2,0-4,0
Потужність електрокалорифера, кВт	20
Число обертів шнека, об/хв	1,0; 1,4; 2,2
Габаритні розміри (довжина x ширина x висота), м	2,1 x 0,65 x 2,0
Маса, кг	600

Сушарки на альтернативних джерелах енергії. Враховуючи той факт, що деякі види сушарок при своїй роботі мають негативний вплив на екологічний стан навколишнього середовища (наприклад, теплове забруднення середовища, парниковий ефект), то актуальними стають розробки сушарок на альтернативних джерелах енергії [6].

Застосування енергоефективної системи підготовки сушильного агенту за рахунок альтернативних джерел енергії для конвективних сушарок є одним із перспективних можливостей в сфері зневоднення. Було створено 5 сушарок на альтернативних джерелах енергії, ось деякі з них.

Чотирьохзонна тунельна сушарка на теплогенераторах і тепловому насосі. Сушарка призначена для зневоднення фруктів, овочів, ягід, пряно-ароматичних трав до низької вологості в умовах високого вологов-

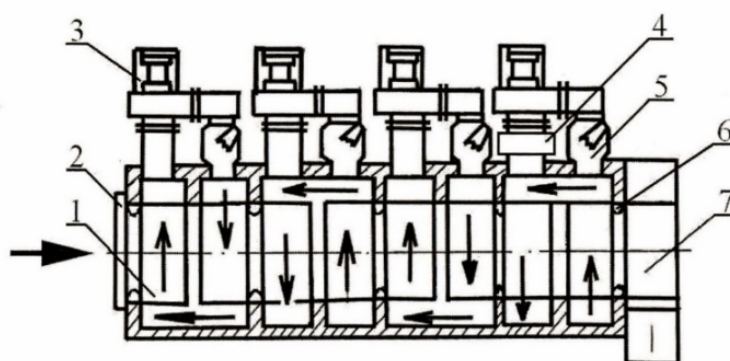
місту повітря.

Сушарка складається із чотирьох робочих зон (рис. 10), в кожній із якої підтримуються свої тепловолісні параметри сушильного агенту, і зони охолодження (7). Перші три зони працюють за традиційною схемою з викидом вологого повітря та підживленням свіжого повітря з атмосфери. Четверта зона має замкнутий контур циркуляції з теплонасосною системою осушки повітря. В цій зоні підтримується температура біля 60°C і вологовміст сушильного агенту 20 г/кг сухого повітря [7]. Принцип роботи сушарки загалом такий, як у тунельних сушарках на теплогенераторах марки СО. Дві сушарки впроваджені у В'єтнамі [8].

Таблиця 10

Технічні характеристики

Показники	
Температура сушіння, °С	30-140
Продуктивність по випареній волозі, кг/год при зневодненні до $W \leq 6\%$	550-600
Питомі витрати теплоти на 1 кг випареної волозі, кДж/кг	4200-4400
Габарити сушарки (довжина x висота x ширина), м:	29 x 4 x 10



1 – вагонетка; 2 – ворота сушарки; 3 – вентилятор; 4 – тепловий насос; 5 – теплогенератор; 6 – уцілювач; 7 – зона охолодження.

Рис. 10 – Схема чотирьохзонної тунельної сушарки на теплогенераторах і тепловому насосі

Теплонасосна зерносушарка на базі газового двигуна ДвГА. Зерносушарка призначена для зневоднення різних зернових чистим гарячим повітрям.

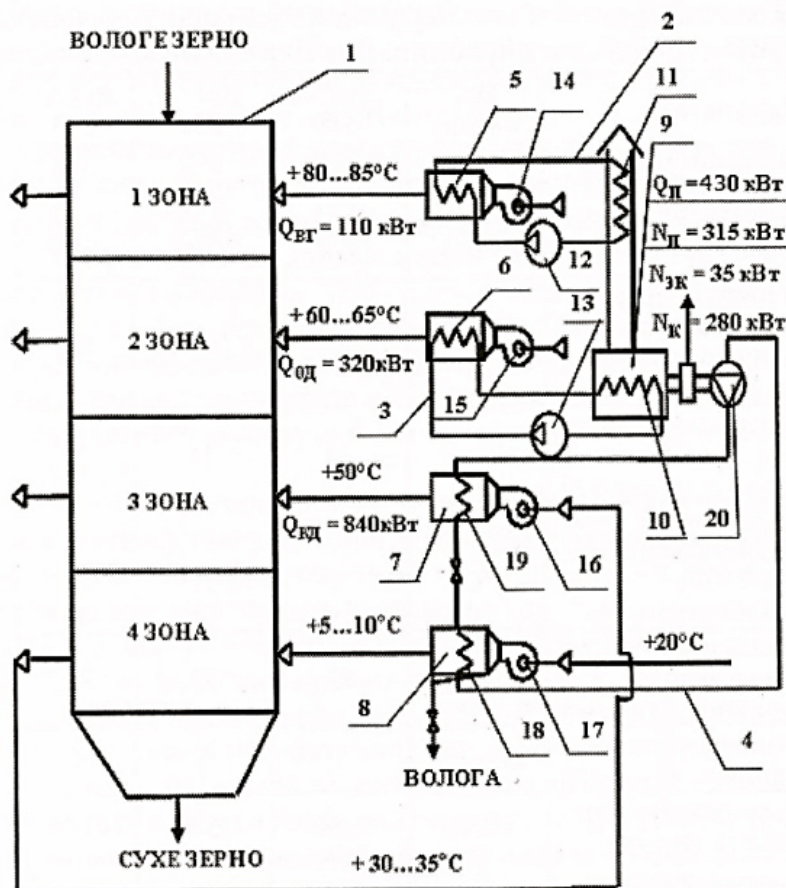
Теплонасосна зерносушарка безперервної дії на базі газового двигуна генератора ДвГА-315, або ДвГА-800 складається з шахти зерносушарки 1 (рис.11), яка має чотири відокремлених по ходу сушильного агенту зони (три – зневоднення і одна – охолодження), три контури циркуляції робочої речовини (2, 3, 4), теплообмінники (5, 6, 7, 8), тепловий двигун (9), теплоутилізатори (10, 11), циркуляційні насоси (12, 13), напірні вентилятори (14, 15, 16, 17) та тепловий насос, що складається з випарника (18), конденсатора (19), компресора (20) та терморегулюючого вентиля (21) [3].

Таблиця 11

Технічні характеристики:

Показники	ДвГА-315	ДвГА-800
Температура сушіння, °С	50-85	50-85
Продуктивність видаленої волозі, кг/год	945,5	3495,0
Продуктивність по сухому зерну, кг/год	13500	50000
Питомі витрати теплоти на 1 кг випареної волозі, кДж/кг	3000,0	2200,0
Теплопродуктивність, кВт	1270,0	4180,0

Теплонасосна зерносушарка на базі газового двигуна генератора ДвГА-315 забезпечує виробництво електричної енергії в кількості $N_n = 315$ кВт і теплової $Q_n = 430$ кВт. Вироблена електрична енергія перерозподіляється між електричною енергією на експлуатаційні потреби (робота вентиляторів, насосів системи охолодження, елеваторів та ін.) в кількості $N_{e_k} = 35$ кВт і електричної енергії на роботу компресора теплового насосу $N_k = 280$ кВт [3].



1 – сушильна шахта; 2, 3, 4 – контури циркуляції робочої речовини; 5, 6, 7, 8 – теплообмінники; 9 – газовий двигун-генератор; 10, 11 – теплоутилізатори; 12, 13 – циркуляційні насоси; 14, 15, 16, 17 – напірні вентилятори; 18 – випарник; 19 – конденсатор; 20 – компресор [3]

Рис. 11 – Схема зерносушарки на базі газового двигуна-генератора ДвГА-315

Особливістю функціонування сушарки є високий коефіцієнт використання палива 0,86-0,88 та низькі питомі витрати теплоти на 1 кг випареної вологи, які в 1,5-2,0 рази менші ніж в традиційних зерносушарках [8].

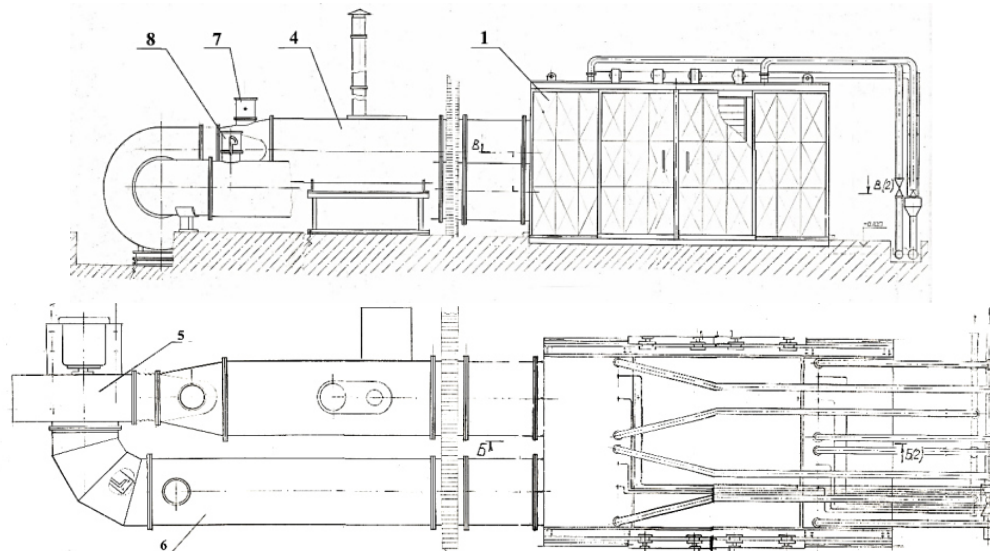
Геотермальна сушарка. Сушарка призначена для зневоднення фруктів, овочів, пряно-ароматичної сировини та інших термолабільних матеріалів.

Таблиця 12

Технічні характеристики

Показники	
Продуктивність по випареній волозі до (при зневодненні до $W \leq 6\%$), кг/год	160 - 200
Температура теплоносія, °C	30-140
Температура води на вході в калорифер, °C	80
Питомі витрати теплоти на 1 кг випареної вологи, кДж/кг	4400-4700
Витрати геотермальної води, м ³ /год	40-60
Витрати дизельного палива (при роботі ТГ), кг/год	28
Встановлена електропотужність, кВт:	15,0
Габарити сушарки (довжина x ширина x висота), м:	12,0 x 2,7 x 2,61
Маса, т	11,0

Для сушіння використовують чисте повітря, яке може нагріватись в залежності від режиму сушіння та матеріалу, що зневоднюється, тальки в водяних калориферах (10) та безконтактно тільки в теплогенераторі (4), або і в водяних калориферах (10) і в теплогенераторі (4) одночасно. Водяні калорифери використовують геотермальну воду з температурою до 80 °C. Теплогенератор працює на газу, рідкому паливі або біопаливі, і може нагрівати теплоносієм до 140 °C.



1 – сушарка; 2 – вагонетка; 3 – подача геотермальної води; 4 – теплогенератор; 5 – вентилятор;
 6 – повітропровід; 7 – патрубок викиду теплоносія; 8 – патрубок всмоктування свіжого повітря;
 9 – двері; 10 – водяні калорифери
 Рис. 12 – Креслення сушарки:

Сонячна сушарка з тепловим акумулятором

Сонячна сушарка з тепловим акумулятором призначена для низькотемпературного сушіння термолабільних матеріалів рослинного та тваринного походження (фруктів, овочів, трав, м'яса, риби) [2.1].

При необхідності установка може працювати в режимі акумулювання теплової енергії. У цьому режимі заслінки (7 і 9, рис. 13) відкриті, а заслінки (6, 8, 10) закриті. Повітря циркулює через геліонагрівач (4) і теплоакумулятор (2) по замкнутому контуру.

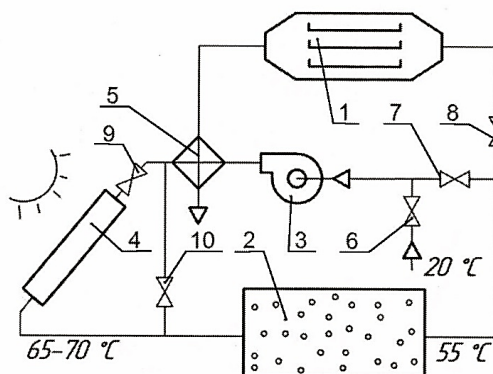
Таблиця 13

Технічні характеристики

Показники	
Температура сушіння, °С	40 – 55
Тривалість сушіння абрикос, год	43 – 48
Швидкість теплоносія в сушарці, м/с	0,5 – 1,0
Теплоакумуляючий матеріал (органічні сполуки) з температурою плавлення, °С	32 – 85
З температурою кристалізації, °С	73 - 30

Особливості функціонування установки є скорочення тривалості сушіння в порівнянні з чисто сонячною сушаркою в 1,3 – 1,5 рази та отримання продукту високої якості [9].

Розроблені в ІТТФ сушарки показали надійність при експлуатації і високі техніко-економічні показники.



1 – сушильна камера; 2 – теплоакумулятор; 3 – вентилятор; 4 – геліонагрівач; 5 – рекуперативний теплообмінник; 6, 7, 8, 9, 10 – заслінки

Рис. 13 – Схема сонячної сушарки з тепловим акумулятором

Висновки. Описані в статті енергоефективні сушильні установки мають низькі енерговитрати на 1 кг випареної вологи і широко впроваджені на підприємствах харчової промисловості. Представлені конструкції сушарок різних типів практично можуть зневоднювати всі види сировини, яка використовується в харчовій промисловості з отриманням якісної харчової продукції.

References

1. Dolinskyi A.A., Maletsk K.D. *Rozplyuyucha susharka*. K: Naukova dumka, 2011, 376. ISBN 978-896-360-175-5/
2. Kremnov O.O., Piievskiy I.M. *Teplomasoobminni protsesy v vyrobnytstvi hipsovykh i hipsobetonnykh materialiv*. K: Naukova dumka, 1989, 180. ISBN 5-12-000909.
3. Sniezkin Yu.F., Paziuk V.M., Petrova Zh.O., Chalaiev D.M. *Teplonasosna zernosusharka dlya nasinnyevoho zerna*. Kyiv: TOV «Polihraf-Servis», 2012. – 154.
4. Sniezkin Yu.F., Shapar R.O. Enerhoefektyvne obladnannya dlya znevodnennya termolabil'nykh materialiv. *Teplofizyka ta teploenerhetyka*, 2020, 42 (2), 5-17.
5. Sniezkin Yu.F., Boriak L.A., Khavin O.O. *Enerhozberihayuchi teplotekhnolohiyi kharchovykh poroshkiv i vtorynnykh syrovynnykh resursiv*. K.: Naukova dumka. 1983, 227. ISBN966-00-0158-4.
6. Zavytii O. Rol' enerhetyky v rozvytku suspil'stva. *XI Natsional'na naukovo-praktychna konferentsiya «Osvita, nauka, biznes: suchasnyy stan, problemy ta perspektyvy»*, 2023, 4-5. <http://dspace.wunu.edu.ua/handle/316497/49754>
7. Sniezkin Yu.F., Chalaiev D.M., Shavrin V.S., Shapar R.O., Khavin O.O., Dabizha N.O. Vykorystannya teplovykh nasosiv u protsesakh sushynnya. *Promyslova teplotekhnika*, 2006, 28 (2), 106-110.
8. Sniezkin Yu.F., Siun Tszian, Chalaiev D.M., Dabizha N.O. *Enerhozberihayuchi tekhnolohiyi sushynnya termolabil'nykh materialiv*. Zbirnyk tematychnykh sta-tey. Enerhoefektyvnist' protsesiv sushynnya. Tom 2. K.: TOV Pro Format, 2021, 268. ISBN 978-617-7894-28-4.
9. Korinchevska T.V. Perspektivni metody akumuluyannya teplovoyi enerhiyi. *Naukovi pratsi ONAKHT*, 2010, 37. 236-241.

ENERGY EFFICIENT DRYERS FOR THE FOOD INDUSTRY, DEVELOPED AT THE INSTITUTE OF ENGINEERING THERMOPHYSICS OF NAS OF UKRAINE

Snezkin Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Abstract. The article is devoted to the problem of effective dehydration of wet materials in the food industry, which is relevant for Ukraine. Dehydration of colloidal capillary-porous materials of biological nature is a complex and energy-intensive process. According to the latest statistics, dehydration processes account for about 12% of all energy in the world. In particular, for Ukraine this figure is 10%, in industry – 28%. An additional problem in drying processes is the evaporation of moisture, which is a greenhouse gas and requires an urgent solution, given the environmental situation in the world. Therefore, it is environmentally and energetically expedient to constantly develop new and improve existing thermal technologies and equipment for dehydration of colloidal capillary-porous materials, which would make it possible to reduce process costs and maintain the quality indicators of dried products.

The effectiveness of thermal technologies depends, to a certain extent, on both the properties of the material under study and the characteristics and capabilities of the drying equipment. The article presents effective spray, tunnel, chamber, single-belt and multi-belt, vacuum, rotary-disk, screw dryers, as well as drying plants that use alternative energy sources (heat pumps, geothermal and solar energy) to heat the coolant).

In total, the Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine has developed about 30 such dryers, which are implemented at food industry enterprises.

The diagrams and design features of dryers characteristic of each of the developed types and their technical characteristics are presented. The style of presenting the material is logical, concise, and understandable for specialists in this field and a wider range of readers. The material presented in the article has scientific and informational novelty and may be interesting for technologists in the production of food plant raw materials for processing into dried products, in drying grain crops, in the development of biofuel technologies, fuel from solid household waste, etc.

Keywords: drying plants, alternative energy sources, energy efficiency, coolant, heat pump.

Список використаної літератури

1. Долінський А.А., Малецька К.Д. *Розпилююча сушарка*. К: Наукова думка, 2011, 376 с. ISBN 978-896-360-175-5/
2. Кремньов О.О., Пієвський І.М.. *Тепломасообмінні процеси в виробництві гіпсових і гіпсобетонних*

- матеріалів. К.: Наукова думка, 1989, 180 с. ISBN 5-12-000909.
3. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Чалаєв Д.М. *Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна*. Київ: ТОВ «Поліграф-Сервіс», 2012. – 154 с.
 4. Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. Енергоефективне обладнання для зневоднення термолабільних матеріалів. *Теплофізика та теплоенергетика*, 2020, 42 (2), С 5-17.
 5. Снежкін Ю.Ф., Боряк Л.А., Хавін О.О. *Енергозберігаючі теплотехнології харчових порошків і вторинних сировинних ресурсів*. К.: Наукова думка. 1983, 227 с. ISBN966-00-0158-4.
 6. Завитій О. Роль енергетики в розвитку суспільства. *XI Національна науково-практична конференція «Освіта, наука, бізнес: сучасний стан, проблеми та перспективи»*, 2023, С 4-5. <http://dspace.wunu.edu.ua/handle/316497/49754>
 7. Снежкін Ю.Ф., Чалаєв Д.М., Шаврін В.С., Шапар Р.О., Хавін О.О., Дабіжа Н.О. Використання теплових насосів у процесах сушіння. *Промислова теплотехніка*, 2006, т. 28, № 2, С 106-110.
 8. Снежкін Ю.Ф., Сюн Цзян, Чалаєв Д.М., Дабіжа Н.О. *Енергозберігаючі технології сушіння термолабільних матеріалів*. Збірник тематичних статей. Енергоефективність процесів сушіння. Том 2. К.:ТОВ Про Формат, 2021, 268 с. ISBN 978-617-7894-28-4.
 9. Корінчевська Т.В. Перспективні методи акумулювання теплової енергії. *Наукові праці ОНАХТ*, 2010, 37. С 236-241.

Отримано в редакцію 11.06.2025

Прийнято до друку 02.09.2025

Received 11.06.2025

Approved 02.09.2025