

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет
Факультет механізації сільського господарства

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідуючий кафедри ПОПХВ,
д.т.н., доц.
В.П.Янович
“ _____ ” _____ 2018 р.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА
СОНЯШНИКУ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ**

Робота на здобуття освітньо ступеня магістр
за спеціальністю 208 – «Агроінженерія»

Виконав: ст.гр 61АІмаг
Шендорук Сергій Віталійович

Науковий керівник:
к.т.н. проф. Бандура В.М.

2018

ВСТУП

Витрати на сушіння харчової сировини потребують значно більше енергії та часу ніж інші процеси харчової промисловості. Енергетичні витрати при використанні традиційних методів сушіння коливаються в межах 5-8 МДж/кг.вид.вол., мають значні теплові втрати в навколишнє середовище. З викидом відпрацьованого теплоносія, також, викидаються значні об'єми харчового пилу, особливо ця проблема чітко виділяється при сушінні зернових культур, що негативно впливає на навколишнє середовище.

Процес сушіння традиційними методами досить тривалий. При сушінні зернових культур, тривалість процесу сушіння може досягати 8-12 годин. В поєднанні з великою енергоємністю процесу сушіння, тривалість цього процесу ще більш ускладнює енергетичні показники, що в часи енергетичної кризи – недопустима розкіш.

Для сучасних технологій сушіння характерне загострення трьох основних проблем: енергетична ефективність процесу вологовидалення, екологічна безпека технології сушіння та безпека отриманих висушених продуктів. На сьогодні сушку рослинної сировини, зернових культур зокрема, здійснюють переважно в шахтних сушильних установках, конвективним способом, застосовуючи в якості сушильного агенту суміш газів – продуктів згоряння вуглеводнів та атмосферного повітря. Не можна вважати таку технологію повністю безпечною ні з точки зору екології ні з позиції безпечності продуктів вироблених із зернової сировини. Далеко не кращим чином виглядають конвективні технології сушіння і з точки зору енергетичних витрат, а на фоні стрімкого подорожчання енергоносіїв, ця сторона проблеми стає все більш актуальною [1].

Дослідження процесів сушіння в харчовій промисловості і пошук інноваційних методів, які дозволять значно скоротити питомі енергетичні витрати та тривалість процесу сушіння – є першочерговим завданням у дослідницькій та науковій діяльності. Цим питанням займаються по всьому

світу, а це говорить про те, що проблема є досить актуальною і потребує ефективних рішень.

В сфері харчової промисловості невід’ємною складовою є процес сушіння зернових культур. Оскільки зернові культури – складають основу як в харчуванні людини так і в сільськогосподарській індустрії. Із збільшенням обсягу виробництва зернових культур – збільшуються і енергетичні витрати в харчовій промисловості.

За даними USDA (рис. 1) Україна є одним із країн лідерів в виробництві та експорті насіння соняшнику та соняшникової олії. Великі об’єми виробництва олійних культур дозволяють, завдяки впровадженню інноваційних технологій сушіння, покращити енергетичну складову процесу виробництва в харчовій сфері. Зменшення питомих витрат енергії у процесі сушіння також значно вплине на ціну готового продукту і на економіку підприємства та країни в цілому [2].

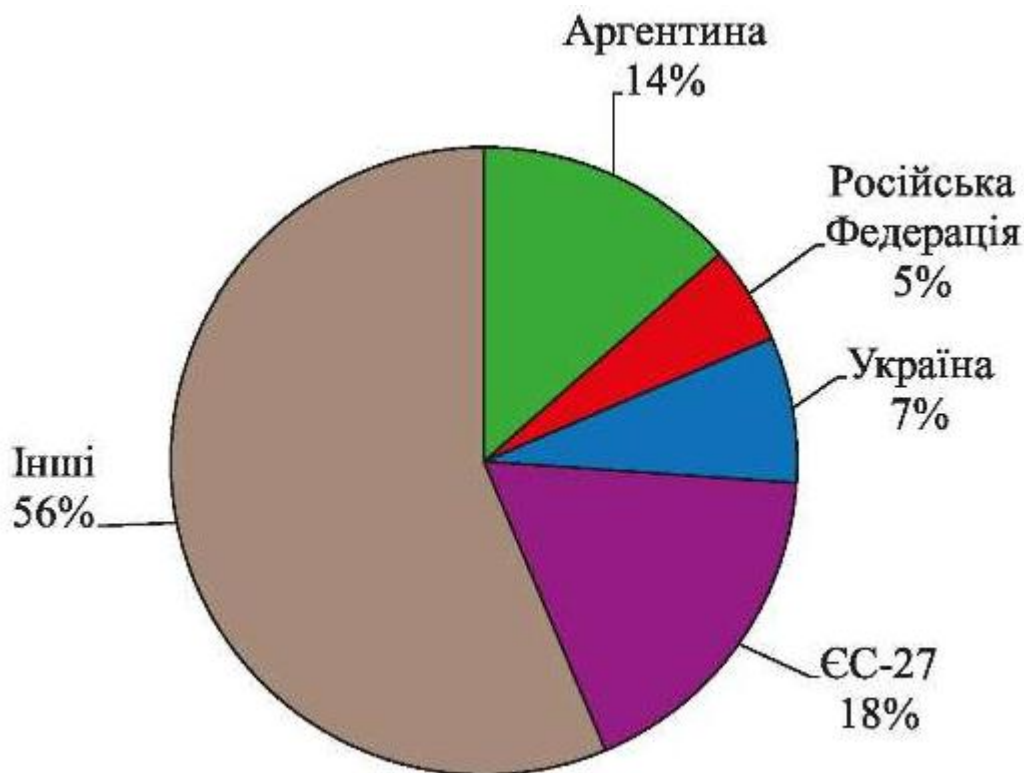


Рис. 1. – Структура світового виробництва соняшнику у 2017/18 МР.

Споживання рослинних олій в світі постійно зростає. Це призводить до збільшення посівів рослин з великим вмістом олій. На виробництво

харчових олій на долю соняшника випадає 77% усього світового виробництва, Україна ж виробляє 54% соняшникової олії. Темпи виробництва зростають щорічно.

Згідно з документом, опублікованим на сайті американського відомства, виробництво соняшникової олії може скласти 5,63 млн т. За прогнозами USDA, виробництво насіння соняшнику в наступному маркетинговому сезоні складе 13,5 млн тонн, а їх експорт - 250 тис. тонн, а соняшникового шроту - 5,37 млн т (експорт - 4,4 млн тонн). Американське відомство прогнозує, що в поточному 2016-2017 МР українські підприємства експортують 5,1 млн тонн соняшникової олії, тоді як виробництво цього продукту в Україні складе 5,76 млн т. [3].

Україна гостро відчуває світову енергетичну кризу і потребує термінових заходів щодо покращення енергетичного та економічного становища. Інноваційні технології сушіння та запропоновані рішення деяких проблем процесу сушіння розроблені на кафедрі Процесів Обладнання та Енергетичного Менеджменту дозволять значно зменшити питомі енергетичні витрати на процес сушіння та вирішити деякі з проблем сушіння харчової сировини.

РОЗДІЛ 1.

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

1.1. Тенденції світового ринку соняшникової олії

Протягом останнього десятиліття як посівні площі під соняшником, так і його врожайність в Україні істотно збільшилися.

Таблиця 1.1 – Динаміка росту урожайності соняшника

Рік	Площа, тис. га	Урожайність, т/га	Урожай, тис. т
2005	3 743	1.26	4 706
2006	3 964	1.34	5 324
2007	3 604	1.16	4 174
2008	4 306	1.52	6 526
2009	4 232	1.50	6 364
2010	4 572	1.48	6.772
2011	4 739	1.83	8 671
2012	5 194	1.61	8 387
2013	5 051	2.19	11 051
2014	5 257	1.93	10 134
2015	5 105	2.19	11 165
2016	6 071	2.24	13 600

Зростання виробництва соняшникової олії (табл.1.1) вимагає збільшувати обсяги вирощування та зберігання соняшникового насіння. Існують певні вимоги до зберігання соняшникового насіння. Оскільки середня відносна вологість навколишнього середовища становить приблизно 70-75%, було встановлено певні рівні рівноважної вологості, які забезпечують надійне зберігання соняшникового насіння. При температурі повітря 20°C вологість насіння не повинна перевищувати 8%.

Виробництво в Україні істотно впливає на весь світовий ринок соняшникової олії. Історично в світовій структурі споживання рослинних олій соняшкову олію ніколи не займало лідируючих позицій (на даний

момент обсяг його споживання поступається пальмової, соєвого і ріпакової олій), проте, з плином часу, воно стає все більш і більш популярним серед споживачів. Попит на соняшникову олію з боку провідних країн-імпортерів стабільний, експортери практично не мають проблем з реалізацією навіть в разі помітного збільшення виробництва.

Загальне світове виробництво соняшникової олії в поточному сезоні оцінюється на рівні трохи більше 17 млн. тон (рис. 1.1).

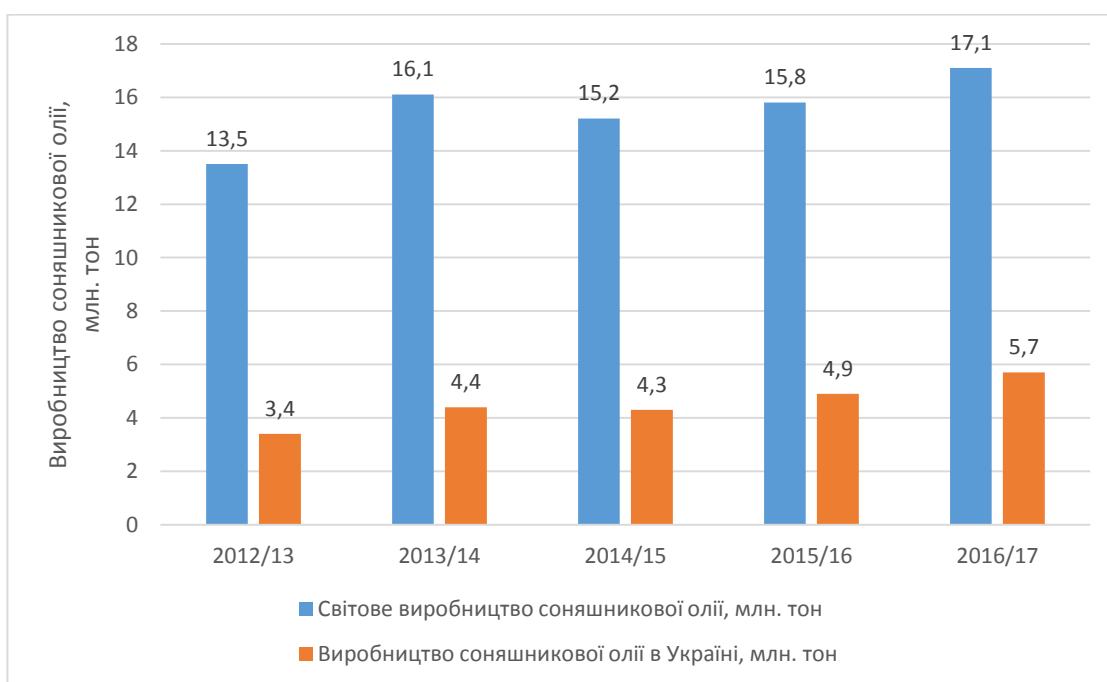


Рис. 1.1 – Порівняння обсягів виробництва соняшникової олії.

Очікується, що в поточному маркетинговому році частка України в загальному світовому виробництві соняшникової олії складе не менше однієї третини, в світовому експорті - близько 50%. Іншими найбільшими експортерами на світовому ринку є Росія (частка в загальному виробництві - 25%, серед експортерів - 20%) і Аргентина (частка в світовому експорті - 8-10%) [4].

Оскільки при збиранні врожаю соняшника відносна вологість насіння коливається між 20-25%, деякі сорти соняшників досягають рівню відносної вологості до 32%.

Для надійності зберігання, а також для інтенсифікації процесу отримання соняшникової олії, невід'ємною, а також найважливішою, складовою є процес сушіння.

Процес сушіння – вельми енергоємний, складний та тривалий процес. Традиційні методи сушіння застарілі, енергоємні та дуже тривалі. Крім того температурні режими у харчовому виробництві повинні відповідати вимогам і не перевищувати певних рівнів, щоб не позбавити продукт корисних речовин. Особливості структури зернових ускладнюють цей процес ще більше.



Рис. 1.2 – Показники вирощування соняшника за 2012-2017 роки

Оскільки виробництво соняшника і соняшникової олії мають тенденцію зростання (рис. 1.2), у час світової енергетичної кризи, слід вдосконалювати найбільш енергоємні ділянки у цій галузі. Саме процес сушіння є найбільш енергоємним, тому зменшення енергетичних витрат у процесі сушіння соняшнику значно покращить показники енергоспоживання у цій сфері.

Крім того, інноваційні методи сушіння дозволять не тільки скоротити обсяги споживаної енергії, а і скоротити час ведення процесу сушіння, покращити якість отриманого насіння, та зменшити забруднення навколишнього середовища.

Разом з тим, вдосконалення технологій олійних виробництв слід проводити із урахуванням світових енергетичних проблем та шляхів їх вирішення.

1.2. Енергетичні проблеми людства

Енергетика є основою усього світового господарства. Приблизно чверть усіх споживаних енергоресурсів витрачається у електроенергетиці. Інші $\frac{3}{4}$ – це промислове і побутове тепло, транспорт, металургійні і хімічні процеси. Щорічне споживання енергії у світі невинно зростає, адже стабільний прогрес економіки не можливий без постійного розвитку енергетики.

Життя – це передусім енергія, і історія розвитку цивілізації – це історія оволодіння технологіями одержання енергії. Первісна людина почала з використання відновних джерел енергії. Спочатку це була енергія спалення дров та іншої целюлозовмісної органіки, а також мала енергетика млинів і вітряків. Але технічна революція стала можливою лише за умови переходу до невідновних (традиційних) джерел, на першому етапі – вугілля, на другому етапі – нафти й газу [2].

До початку XVIII ст. вже було винайдено багато машин. Основною перешкодою до їх застосування була нестача рухомої сили. Винахід парового двигуна наприкінці XVIII ст. став переломним моментом, який призвів до Промислової революції. [5].

На початку XX ст. на зміну вугіллю прийшла нафта. Люди опанували буріння нафтових свердловин, навчилися переганяти нафту до бензину, дизельного пального та мазуту, винайшли двигун внутрішнього згорання.

Порівняно з вугіллям, нафтопродукти простіше транспортувати, а при їх згорянні отримується менше відходів, серед яких немає попелу [6].

Головним споживачем нафтопродуктів залишається транспорт. Поява нового джерела енергії не виправить становища, якщо енергію з цього джерела не можна буде використовувати там, де сьогодні використовують нафту. Отже, головною енергетичною проблемою у світі є проблема виснаження запасів нафти. [7].

У 70-ті роки ХХ ст. багато економічно розвинених країн вступили у смугу так званої «енергетичної кризи», тобто відставання темпів видобування нафти від темпів її споживання. У результаті почався активний пошук шляхів економії енергії та її альтернативних джерел. Загальне енергоспоживання має такий вигляд: нафтопродукти – 44 %, природний газ – 21 %, вугілля – 22 % у ядерне паливо, гідроелектричні та інші енергоресурси – 13 % [8].

Прогнозувати ресурси викопного палива доволі складно через надто непевні передбачення щодо темпів розвідування і збільшення витрат енергії. Якщо взяти за основу дані російського академіка Є.П. Веліхова (1999) про розвідані обсяги вугілля, нафти і газу і прогнозовані витрати на 2020 р., то запасів газу мало б вистачити ще на чверть століття, нафти – на 40 років, а вугілля – на 175 років [7].

Таким чином, людство поставлене перед необхідністю шукати нові джерела добування енергії. Інша потреба у такому пошуку – більшість енергії нині одержується із джерел і за технологіями, які забруднюють навколишнє середовище. Коли країнам забракло власних запасів енергоносіїв і вони почали експортувати їх, важливим чинником стали політичні важелі. Нарешті, концентрація промисловості і різке погіршення умов проживання населення внаслідок забруднення довкілля значно посилили вагомість екологічних факторів. Саме вони стають вирішальними у пошуках нових енергетичних технологій.

Виробництво електроенергії на АЕС вже не є абсолютно вигідним, як це було ще десять років тому. Дедалі більше посилюється рух за абсолютну відмову від АЕС [9]. На політичному рівні такі рішення прийняті вже у Швеції та Німеччині. Нарешті, навіть за найоптимістичнішими прогнозами при нинішній технології повільних нейтронів наявних запасів урану вистачить не більше, ніж на 100 років. Цим пояснюється стагнація у розвитку атомної енергетики в останньому десятилітті. Лише у двох країнах частка електроенергії, яку отримують на АЕС, перевищує 75 % (Литва і Франція), ще у 10 країнах (Швеція, Україна, Словаччина, Болгарія, Корея, Швейцарія, Словенія, Японія, Угорщина та Іспанія) ця частка перевищує 30 % [10].

Найбільш чистою галуззю енергетики вважається гідроенергетика, оскільки у процесі роботи гідроелектростанцій (ГЕС) не забруднюється довкілля. До того ж гідроелектроенергія є однією з найдешевших. Це надзвичайно важливий компонент енергосистем, тому що він дозволяє завдяки переривчастому режиму роботи гідроелектростанцій гасити пікові навантаження в енергосистемі [11]. Не слід також забувати, що будівництво ГЕС завжди пов'язано з більшим чи меншим втручанням у навколишнє середовище і необхідністю використання значних обсягів металу, цементу тощо, виробництво яких також негативно впливає на довкілля [12].

Країни ЕС вже давно замислювалися над енергетичними проблемами людства, тому вони досить ретельно займаються дослідженням та впровадженням шляхів вирішення таких проблем.

Досить суттєвим внеском було впровадження контролюючих організацій енергетичної ефективності, які досліджували енергетичне становище ЕС і шукали причини великих втрат енергії [10].

Окрім того, суттєвим шагом є розробка спеціальних організацій, які займаються енергетичним моніторингом сучасного стану світової енергетики, та організацій, які на основі цих даних розробляють прогнозування змін у становищі світової енергетики.

1.3. Прогноз розвитку світової енергетики

У 2011 році в Данії було прийнято Енергетичну стратегію до 2050 року, яка окреслила заходи для досягнення довгострокової мети – повної незалежності країни від викопних палив. Стратегія також визначає нові коротко- та середньострокові заходи для виконання національних цілей 2020 року – 33% відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у валовому кінцевому енергоспоживанні (що навіть перевищує офіційну ціль Данії як члена ЄС – 30%), 10% ВДЕ на транспорті та скорочення загального енергоспоживання на 6% у порівнянні з 2009 р. Данія поставила собі за мету увійти до першої трійки країн світу з точки зору успішності впровадження відновлюваних джерел енергії до 2020 року та стати однією з найбільш енергоефективних країн-членів Організації економічного співробітництва та розвитку також до 2020 року.

Відновлювані джерела енергії наразі займають друге місце в структурі енергоспоживання Австрії (30%) після нафтопродуктів (36%). З усіх ВДЕ 58% припадає на біомасу та органічні відходи. Енергетична стратегія Австрії до 2020 року ставить за мету збільшення частки ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні до 34%. При цьому важливу роль відіграє впровадження заходів з енергоефективності та енергозбереження, оскільки завдяки цьому планується втримати ВКЕ у період до 2020 р. на рівні 2005 р. (близько 1150 ПДж/рік). Без застосування заходів з енергоефективності валове кінцеве енергоспоживання країни у 2020 р. могло б збільшитися на 200 ПДж/рік.

Наразі в Австрії на громадському та урядовому рівнях йдуть дебати щодо необхідності прийняття нової стратегії з більшими часовими рамками та амбіційнішими планами. Асоціація відновлюваної енергетики Австрії пропонує прийняти нову енергетичну стратегію принаймні до 2030 року з такими ключовими цілями: скорочення кінцевого енергоспоживання на 940 ПДж порівняно з 1990 роком, нарощування частки відновлюваної енергії до 60% та скорочення викидів парникових газів на 60% до 2030 року.

Треба зазначити, що вже зараз 100% електроенергії в Нижній Австрії, найбільшій федеральній землі країни, генерується з ВДЕ, а саме, 63% – на ГЕС, 26% – на ВЕС, 9% – з біомаси і 2% – за рахунок сонячної енергії. Що стосується Австрії в цілому, відновлювані джерела забезпечують 75% всього обсягу виробництва електроенергії.

Розвиток енергетики в Швеції керується Законом про інтегровану кліматичну та енергетичну стратегію (2008 р.), яким встановлено ряд доволі амбітних цілей. Зокрема, планується досягти 50% ВДЕ у валовому кінцевому споживанні енергії до 2020 р., відмовитися від викопних палив в транспортному секторі до 2030 р. й досягти повної декарбонізації до 2050 року.

Також у 2015 році урядом Швеції було прийнято за мету стати першою країною, яка повністю відмовиться від викопного палива. Для реалізації плану по відмові від викопного палива виділено значні кошти на впровадження цілої низки заходів, зокрема, на розвиток сонячної електрогенерації, дослідження технологій зберігання електроенергії, створення «розумних» мереж, модернізацію житлових будівель та підвищення їх енергоефективності, впровадження ВДЕ на транспорті.

Енергетична Стратегія Німеччини до 2050 року (прийнята у 2010 р.) передбачає повну відмову від використання атомної енергії до 2022 року. Цей строк (коротший за попередньо прийнятий) було встановлено після аварії на японській АЕС Fukushima Daiichi у березні 2011 року. Реалізація даного плану почалася із зупинки 8 найстаріших АЕС Німеччини. Відновлювані джерела енергії було визначено енергетичною стратегією як основною складовою структури енергопостачання країни у перспективі до 2050 року. Також було розроблено законодавчі механізми стимулювання розвитку ВДЕ та підвищення енергоефективності. Ці механізми (загалом 7) прописані у програмі «Енергетичний перехід» (*Energiewende*). Основні цілі Енергетичної Стратегії Німеччини до 2050 р. представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1. 2 – Основні показники Енергетичної Стратегії Німеччини до 2050 року.

Показники	2012	2020	2030	2040	2050
Частка ВДЕ у загальному кінцевому споживанні енергії	10%	18%	30%	45%	60%
Частка ВДЕ у споживанні електроенергії	20%	35%	50%	65%	80%
Скорочення споживання первинної енергії (порівняно з 2008 р.)	-5%	-20%	-30%	-40%	-50%
Скорочення споживання електроенергії (порівняно з 2008 р.)	-1%	-10%	н.д.	н.д.	-25%
Скорочення кінцевого енергоспоживання на транспорті (порівняно з 2008 р.)	н.д.	-10%	н.д.	н.д.	-40%
Скорочення викидів парникових газів (порівняно з 1990 р.)	-27%	-40%	-55%	-70%	-80%

Закон про відновлювані джерела енергії 2012 року (*EEG 2012*) визнав ці цілі обов'язковими. У 2050 році внесок ВДЕ до загального кінцевого енергоспоживання має становити 60%, до споживання електроенергії – 80%. При цьому загальне споживання первинної енергії зменшиться на 20% до 2020 р. та на 50% до 2050 р. від рівня 2008 р.

У 2014 році Президент США Барак Обама запропонував так звану «Всеосяжну Енергетичну Стратегію». Одним з її ключових елементів є розвиток відновлюваних джерел енергії, переважно «зеленої» електрогенерації. Зокрема, планується майже потроїти обсяг виробництва електроенергії з ВДЕ – до 20% у 2030 році (без врахування гідроенергії). При цьому викиди парникових газів на електростанціях США мають зменшитись на 32% до 2030 р. Треба зазначити, що окремі штати, наприклад, Каліфорнія, впевнено рухаються по шляху досягнення 100% енергії з відновлюваних джерел.

Наразі Китай є одним з найкрупніших інвесторів в секторі відновлюваної енергетики в світі. Кошти, виділені державою на розвиток «зеленої» енергетики у період 2011-2015 рр., склали 473 млрд. доларів США. В результаті цього протягом останніх п'яти років в країні спостерігався стрімкий ріст електричних потужностей на ВДЕ, зокрема вітрових та сонячних електростанцій. У 2013 році завдяки впровадженню 13

ГВт сонячних фотоелектричних елементів обсяг уведення нових потужностей на ВДЕ вперше перевищив обсяг нових потужностей на викопних паливах.

Міжнародне енергетичне агентство зробило прогноз розвитку світової енергетики, згідно якому Китай може досягти більше 960 ГВт на ВДЕ до 2040 року й задовольнити за рахунок них майже 30% своєї потреби в електроенергії. Згідно іншого дослідження, виконаного Національним центром з відновлюваної енергетики Китаю у 2015 році, країна може покрити 85% загального виробництва електроенергії та 60% споживання первинної енергії за рахунок ВДЕ до 2050 року.

Частка ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні деяких країн світу згідно даних їх офіційних енергетичних стратегій представлена у таблиці 3.

Таблиця 1.3 – Основні показники Енергетичної Стратегії Світу до 2050 року.

Країна	2014	2020	2030	2040	2050
Австрія	30% 75% ¹⁾ (у 2015)	34% 16% ⁴⁾ (1990) 17% ⁵⁾ (2005)	н.д.	н.д.	н.д.
Данія	25% 20% ⁵⁾ (2005)	33%	55%	68%	100%
Німеччина	12,4% (у 2013) 27% ⁴⁾ (1990) 9% ⁵⁾ (2008)	18% 40% ⁴⁾ (1990) 20% ⁵⁾ (2008)	30% 55% ⁴⁾ (1990) 30% ⁵⁾ (2008)	45% 70% ⁴⁾ (1990) 40% ⁵⁾ (2008)	60% 80% ⁴⁾ (1990) 50% ⁵⁾ (2008)
Швеція	52,1% (у 2013)	50% 40% ⁴⁾ (1990) 20% ⁵⁾ (2008)	100% ³⁾	н.д.	100% ⁴⁾
Швейцарія	17,5% (у 2010)	45% 16% ⁵⁾	н.д.	56% (у 2035) 45% ⁵⁾ (у 2035)	60%
Індія	13% ¹⁾ (у 2015)	н.д.	40% ²⁾ 33-35% ⁴⁾	н.д.	н.д.
США (Гаваї)	20%	30%	40%	70%	100% (у 2045)
Коста-Рика	95-99% 100% ¹⁾ (у 2015)	100% ⁴⁾ (у 2021)	н.д.	н.д.	н.д.
Саудівська Аравія	1% (у 2015)	н.д.	н.д.	100%	н.д.
Уругвай	55% (у 2015) 94,5% ¹⁾ (у 2015)	88% ⁴⁾ (у 2017, 2009-2013)	100% ⁴⁾	н.д.	н.д.

Перспективи зміни енергоємності ВВП Аналізуючи динаміку зміни енергоємності ВВП за період 1970–2012 рр. як у глобальному вимірі (загальносвітовий рівень), так і в більшості країн та регіонів світу, можна

визначити позитивний тренд щодо суттєвого зменшення цього показника енергоефективності. Водночас, незважаючи на значні позитивні зрушення в засобах та ефективності використання енергетичних ресурсів людством, чинні моделі енергоспоживання ведуть нас до нестійкого майбутнього. Таким чином, завдання суттєвого підвищення рівня енергоемності ВВП залишається вкрай актуальним для всіх без винятку країн і регіонів світу. Незважаючи на те що енергоефективність є загально визнаним ключовим інструментом енергетичних стратегій, докладених зусиль явно недостатньо для повної реалізації її економічного потенціалу. Наведемо деякі цільові показники енергоефективності, проголошені останнім часом провідними країнами світу: у 2012 році Китай поставив за мету скоротити енергоемність ВВП до 2015 року на 16 % (майже на 5 % щороку); США ухвалили нові стандарти з економії пального на транспорті (най- більшого споживача нафти та нафтопродуктів); ЄС зобов'язався скоротити споживання енергоресурсів до 2020 року на 20 %; Японія зменшує споживання електроенергії на 10 % до 2030 року. У загальному плані МЕА пропонує стратегічні принципи, здатні перетворити амбітні прогнози на реальність, а саме:

- поліпшити облік енергоефективності та збільшити економічний зиск від неї;
- підвищити значення енергоефективності – питання ефективності враховувалися під час ухвалення рішень на рівнях урядів, промисловості та в суспільстві;
- підтримання економічними (енергетичними) стратегіями та планами прогресу для досягнення ліпших результатів в енергоефективності, створювати та підтримувати бізнес-середовище, механізми фінансування і стимули для інвесторів;
- прийняти комплекс законодавчих заходів проти низькоефективних технологій та підходів і стимулювати найбільш ефективні;
- здійснювати моніторинг, перевірку та забезпечення виконання прийнятих рішень. Прогнозовані зміни показника енергоемності

ВВП, які визначені в огляді компанії ВР [7], наведено на Рис.1.3
 Наведемо також і ініціативу Генерального секретаря ООН, яка визначила прийняття Глобальної програми дій «Стала енергетика для всіх» [8].

Енергоємність ВВП держави: історичні паралелі та уроки для України з-поміж трьох основних цілей, які мають бути досягнуті до 2030 року, слід визначити «подвоєння глобального показника підвищення енергоефективності». Інші цілі також певною мірою стосуються енергоефективності та полягають у забезпеченні загального доступу до сучасних енергетичних послуг і подвоєння частки відновлюваних джерел енергії у світовому енергетичному балансі.

Україна має величезний потенціал щодо енергоефективності. Проте країна є однією з найбільш енергоємних у світі: рівень енергоємності ВВП відповідає рівню розвинених країн світу (США, Канада, Чехія, Польща) середини 1970-х років. Відповідно, потенціал енергоефективності встановлюється приблизно на рівні 20–30 % від постачань енергоресурсів.

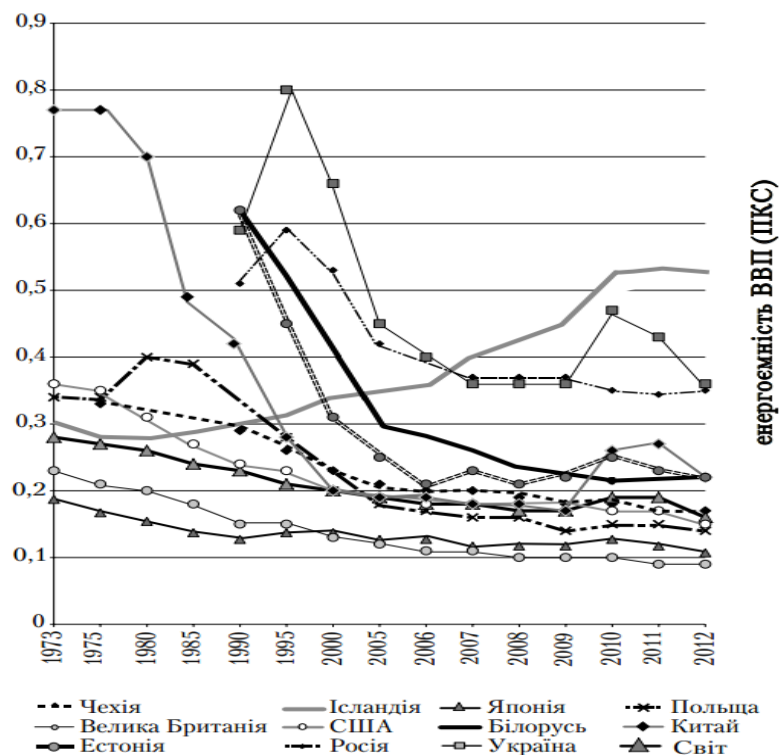


Рис. 1.3 - Динаміка зміни енергоємності ВВП (т н.е./1000 дол. (2005)) у деяких країнах і регіонах світу

Таким чином, виходячи з дійсного становища щодо рівня енергоємності ВВП України, наявного досвіду досягнення прийнято високого рівня ефективності в багатьох високорозвинених країнах світу та перспективних цільових завдань глобального й регіонального масштабу, головним цільовим показником Енергетичної Стратегії на період до 2035 року слід визначити досягнення загальносвітового рівня енергоємності ВВП на рівні 0,1 т н.е./1000 дол. В іншому разі і на період до 2035 р. (Рис. 1.3) залишається більш ніж дворазове відставання від провідних країн світу та середньосвітового рівня за показником енергоємності ВВП з усіма можливими негативними наслідками такого становища. Безумовно, як свідчить світова практика, завдання досягнення високого рівня енергоємності ВВП вимагає концентрування зусиль і ресурсів, переважно пов'язане з вжиттям вкрай непопулярних заходів, але наявність політичної волі й усвідомлення необхідності здійснення суттєвої модернізації мають стати запорукою реалізації поставлених цілей. [9].

1.4. Проблеми енергоефективності в Україні та шляхи її вирішення

Розвиток енергетики має вирішальний вплив на стан економіки в державі та рівень життя населення. Метою соціальної держави, якою відповідно до Конституції є Україна, має бути забезпечення умов для зростання добробуту громадян. Однією з найважливіших складових добробуту в цивілізованих державах є забезпечення громадян і компаній необхідними енергоресурсами. Запорукою реалізації цієї мети має стати надійне, економічно обґрунтоване й екологічно безпечне задоволення потреб населення й економіки в енергетичних продуктах.

Енергетична стратегія – це інтегрована модель дій держави, що спрямована на досягнення цілей національної безпеки та задоволення енергетичних потреб суспільства за найменших сукупних витрат, при цьому

економічно обґрунтовано. Таким чином, Енергетична стратегія України до 2030 року покликана визначити вектор розвитку галузей енергетики країни відповідно до цілей і завдань ПЕК до 2030 року [2].

Цілями Енергетичної стратегії є:

- Створення умов для надійного та якісного задоволення попиту на енергетичні продукти за найменших сукупних витрат, при цьому економічно обґрунтовано ;
- Підвищення енергетичної безпеки держави;
- Підвищення ефективності споживання та використання енергопродуктів;
- Зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище і забезпечення цивільного захисту у сфері техногенної безпеки ПЕК.

Виходячи із зазначених цілей, основними завданнями й напрямками реалізації Енергетичної стратегії України є:

1. Формування цілісної та дієвої системи управління та регулювання в паливно-енергетичному секторі, розвиток конкурентних відносин на ринках енергоносіїв;
2. Поступова лібералізація та розвиток конкурентних відносин на ринках енергоресурсів і ринках пов'язаних послуг;
3. Створення передумов для істотного зменшення енергоемності економіки за рахунок впровадження нових технологій, прогресивних стандартів, сучасних систем контролю, управління й обліку, транспортування та споживання енергетичних продуктів і розвитку ринкових механізмів стимулювання енергозбереження;
4. Збільшення видобутку та виробництва власних енергоресурсів з урахуванням економіки видобування, а також збільшення обсягів енергії та енергопродуктів, видобутих із нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії;

5. Диверсифікація зовнішніх джерел поставок енергетичних продуктів;
6. Досягнення збалансованості економічно обґрунтованої цінової політики щодо енергетичних продуктів, яка повинна забезпечити покриття видатків на їх виробництво й доставку до кінцевого споживача, а також створення відповідних умов для надійного функціонування та сталого розвитку підприємств ПЕК;
7. Створення умов для залучення до ПЕК приватних інвестицій, нових технологій і сучасного досвіду ефективної роботи;
8. Нормативно-правове забезпечення реалізації цілей розвитку ПЕК України з урахуванням наявного внутрішнього законодавчого поля, численних зобов'язань, передбачених міжнародними договорами, а також вимогами європейського енергетичного законодавства.

Подальший розвиток економіки України і відповідна до нього зміна споживання та виробництва енергоресурсів розглядаються з позиції сценаріїв економічного зростання і структури ВВП, розрахованих на основі прогнозів Уряду України. Сценарії лежать у діапазоні від песимістичного, при якому реалізується безліч ризиків, пов'язаних із уповільненням виходу економіки із кризи, зниженням темпів відновлення світового попиту на продукцію металургії й інших галузей (прогнозоване середнє щорічне реальне зростання ВВП до 2030 р. - близько 3,8%) до оптимістичного (аналогічний показник - близько 6,4%). За базовий взято сценарій, при якому середнє зростання ВВП складе 5% на рік до 2030 р. Усі сценарії враховують ефект від детінізації економіки.

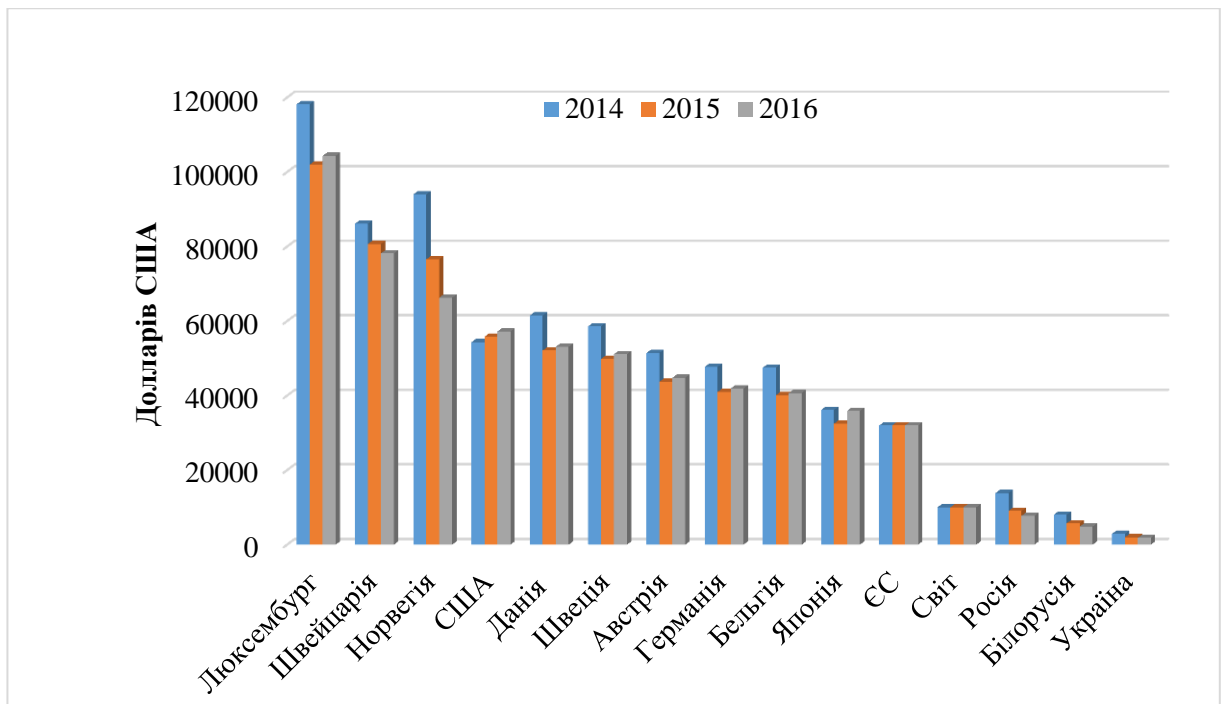


Рис. 1.4 – ВВП на душу населення за даними МВФ

Виходячи із даних Міжнародного Валютного Фонду Україна займає доволі низьке місце у рейтингу ВВП на душу населення (рис. 1.4) [2].

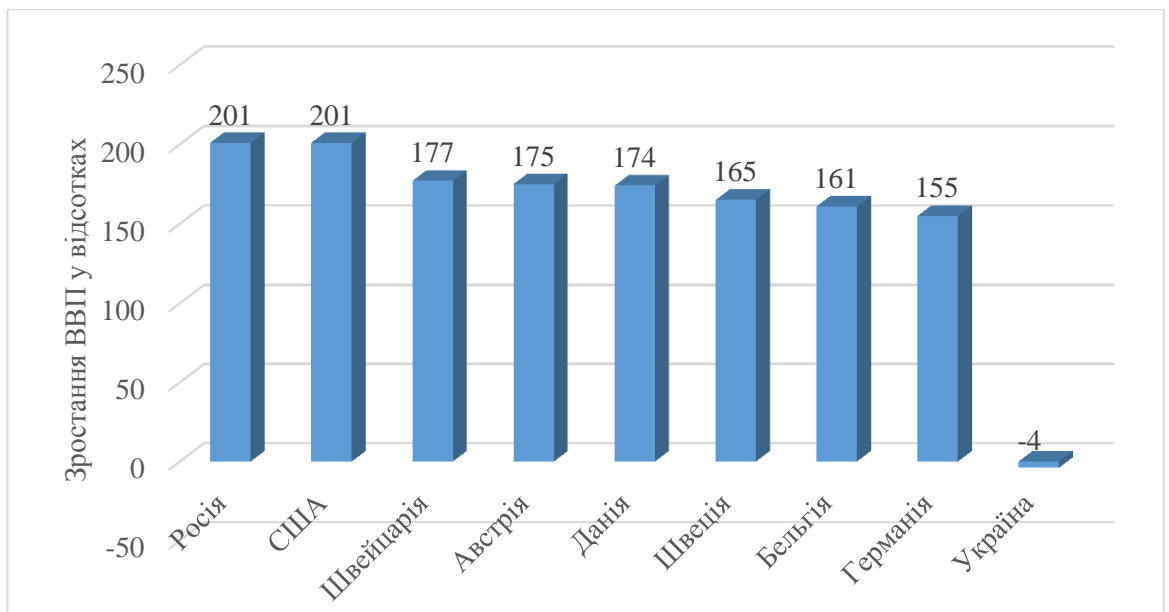


Рис. 1.5 – Зростання ВВП з 1990 до 2015 року у відсотках за даними ВБ

За даними Всесвітнього Банку Україна в період з 1990 року по 2015 рік погіршила свої показники стосовно ВВП, у той час коли країни ЄС покращили своє становище (рис. 1.5) [5].

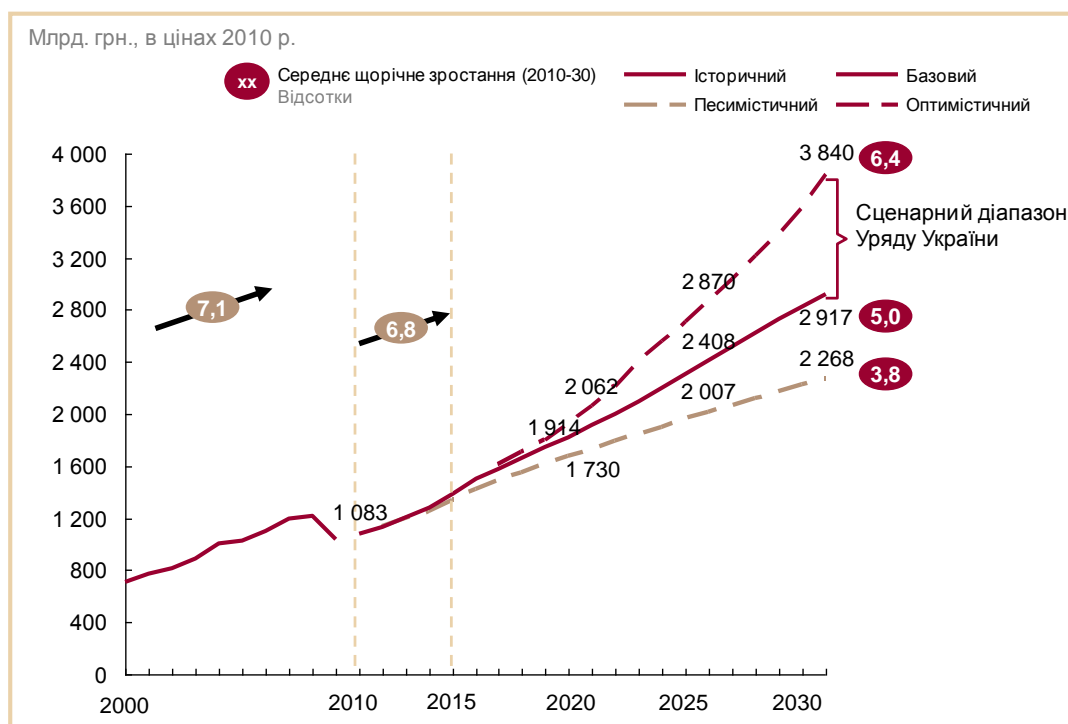


Рис.1.6 – Динаміка зростання ВВП України

У всіх сценаріях економічний розвиток України (рис. 1.6) відбуватиметься двома етапами:

- Високе посткризове економічне зростання і досягнення докризового рівня ВВП;
- Зниження темпів економічного зростання разом з поступовою зміною структури ВВП у бік зростання сектору послуг економіки.
- Динаміка зростання ВВП України

За базовий сценарій для розрахунку прогнозів ринків взято сценарій із середнім щорічним реальним зростанням ВВП у 2010-2030 рр. – 5%. Разом з цим при регулярному оновленні Енергостратегії слід відстежувати фактичний розвиток ринків і ВВП і, при більш швидкому зростанні, аніж передбачено в базовому сценарії, потрібно проводити коригування прогнозів.

У базовому сценарії співвідношення ВВП сфери послуг з ВВП промисловості до 2030 р. наблизиться до рівня розвинених країн (сфера послуг складе 70% ВВП, промисловість близько 21%, решту 9% складе сільське господарство). Відповідно до базового сценарію, ВВП України в 2030 р. досягне 2,9 трлн. грн. Оптимістичний сценарій передбачає більш

інтенсивний індустріальний розвиток, при якому реальний ВВП України зростає щорічно в середньому на 6,4%, до того ж структура ВВП також зміщується у бік сектору послуг. Основними чинниками зростання стануть зростання ВВП промислового сектору (5,2% щорічно), ВВП сектору послуг (6,9% щорічно) і ВВП сільського господарства (7,1%). При такому сценарії в 2030 р. ВВП досягне 3,8 трлн. грн. У песимістичному сценарії зростання ВВП значно нижче, ніж у сценарному діапазоні, через нижчі показники зростання ВВП у секторах: 1,4% - у промисловому секторі, 4,2% - у сфері послуг і 6,1% - у сільськогосподарському секторі. У разі реалізації песимістичного сценарію розвитку ВВП України в 2030 р. він складе 2,3 трлн. грн. [5]

Неефективне використання енергетичних ресурсів, споживання та експорт легкодоступної нафти, неекономне використання електроенергії підприємствами чи домогосподарствами змушують серйозно замислитись над проблемою енергозбереження у країні [13].

Енергосистема України навіть за наявності палива не може достатньо забезпечити споживачів тими обсягами енергії, який вони потребують [14].

Закони України «Про енергозбереження», «Про енергетику» та «Про енергопостачання», законодавчі акти Верховної ради України, хоча і порушують проблему енергетики, проте на практиці особливих позитивних зрушень не виявляють [15].

Рівень розвитку енергетики має визначальний вплив на стан економіки в країні в цілому. Метою даного дослідження є визначення основних проблем розвитку та енергетичної галузі економіки та функціонування потужної структури – ПЕК. Основним завданням паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) є забезпечення економіки та соціальної сфери життя різними видами палива [9]. Паливно-енергетичний комплекс держави є надзвичайно енергозатратним, адже більша половина тепла втрачається при транспортуванні. Україна на сьогоднішній день є першою країною у світі за показником споживання енергоносіїв на одиницю

продукції. За статистичними даними Україна кожного року споживає енергоносіїв на суму 12 млрд. доларів. Протягом наступних років темпи споживання інтенсивно зростають [16].

Перші кроки до зміни та модернізації були зроблені з прийняттям «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» [13]. Ця подія мала позитивне значення у регулювання енергетики України, адже до її прийняття не було чіткого плану щодо розвитку та функціонування енергетичної галузі. У ній розкрито багато цілей та завдань, напрямків проведення «перебудови».

Окремим розділом виділяють «Пріоритетні напрями та обсяги енергозбереження, потенціал розвитку нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії». Згідно з ним фактор енергозбереження є одним із визначальних для енергетичної стратегії України. Від його рівня залежить ефективне функціонування національної економіки [17].

Фахівцями приділяється значна увага активізації в прогнозованому періоді енергозберігаючої політики: розробці та впровадженню необхідних підзаконних і нормативних актів у тому числі систем відповідних стандартів та нормування у споживанні палива й енергії, систем адміністративних і економічних засобів стимуляції енергозбереження. Це дозволить створити необхідні умови для збільшення енергозбереження в економіці України [15].

Відповідно до прийнятої стратегії на даний час основним фактором зниження енергоємності продукції (послуг) в усіх галузях економіки є формування ефективно діючої системи державного управління сферою енергозбереження. Це дозволить, в першу чергу, удосконалити структуру кінцевого споживання енергоресурсів, зокрема, за рахунок подальшого розширення та поглиблення електрифікації в усіх сферах економіки шляхом заміщення дефіцитних видів палива з одночасним підвищенням ефективності виробництва [14].

Ще однією проблемою, яку неможливо не згадати є обмеженість власного потенціалу інвестиційних ресурсів комплексу. Оцінюючи ситуацію, яка характерна сучасному етапу розвитку відновлення основних фондів може

бути здійснене лише через 40 років. Це спричинене негативними чинниками, які зменшують ефективність вкладення коштів [17].

1.5. Енергетична ситуація в АПК України

В економіці України агропромисловий комплекс значною мірою впливає на соціально-економічне становище суспільства. Однак, на сучасному етапі розвитку фінансовий стан більшості сільськогосподарських підприємств, та їх соціальної сфери є незадовільним. Сільське господарство країни є проблемною нестабільною галуззю, яка практично не забезпечена сучасною технікою та новими технологіями, що призводить до низької продуктивності виробництва не конкурентоспроможності сільськогосподарської продукції на світовому ринку [18].

Енергетична ситуація в АПК. В першу чергу питання енергозабезпечення стосуються підприємств АПК. Агропромисловий комплекс в останні роки Займає лідируюче місце в Україні за обсягом споживаних (до 19%) енергетичних ресурсів. При цьому, питомі витрати енергії в промисловій сфері виросли за роки незалежності майже на 35%. Постійне зростання питомого енергоспоживання в галузях АПК серйозно погіршує енергетичну кризу в країні. Перехід на нові економічні умови позначив гостре протиріччя на харчових виробництвах.

Питомі витрати енергії на виробництво харчових продуктів в Україні в 2-4 рази вище, ніж в середньому в Європі, в 3-6 разів вище, ніж у Франції [10]. Тому, харчові продукти, виготовлені в Україні, неконкурентоспроможні на світовому ринку. Ясно, що, якщо не вживати екстрених заходів, то продукція українських виробників харчових продуктів буде витіснена і з вітчизняного ринку. Разом з тим, саме продукція АПК здатна швидко наповнювати державний бюджет, вона характеризується постійним попитом, вітчизняні технології і сировину, як правило, гарантують високі харчові якості готових продуктів. Тому, тут слід

шукати економічно вигідні технічні і організаційно-технічні рішення по зниженню витрати енергетичних ресурсів [19].

Для виведення агропромислового комплексу із кризового стану в умовах глобалізації економіки повинна бути розроблена фундаментальна довгострокова програма стабільних зовнішньоекономічних відносин з торговельними партнерами, які вигідні для обох сторін [18].

Основи енергетичної стратегії. В умовах енергетичної кризи, в якій перебуває Україна, важливо правильно вибрати стратегію розвитку. Тут слід пам'ятати, що минуле України в країні пересиченої дешевими енергетичними ресурсами. Поки в країні не буде подолано бар'єр надзвичайно низької культури енергокористування, ніякі програми енергозбереження працювати не будуть, ніякі інвестиції ефективними не стануть. Тому, одним із пріоритетних напрямів енергетичної політики держави має стати навчання культурі енергокористування всіх верств населення: від перших осіб регіонів, підприємств до студентів і школярів [19].



Рис. 1.7. – Напрямок енергетичної стратегії

Також для успішного розвитку АПК країни в умовах глобалізації економіки, необхідно проводити державну політику постійного підвищення інвестиційної привабливості аграрного сектора. Збільшення обсягів інвестування стримується, значною мірою,

недосконалістю чинного законодавства та нестійкою політичною ситуацією країни. Без впровадження нових енергозберігаючих технологій та використання сучасної техніки неможливо вивести сільське господарство із кризового стану та й країну в цілому.

Однією з ключових проблем агропромислового виробництва України досі є низький ступінь освоєння підприємствами сучасних інноваційних технологій, через що у галузі автоматично унеможлиблюється процес зниження собівартості сільськогосподарської продукції та зростання її якості і безпечності, які б відповідали міжнародним стандартам [20]. Сучасні інновації не є елементарними феноменами, а досить складною самоорганізуючою системою, яка передбачає внутрішні і зовнішні взаємодії. Отже, між процесом створення й упровадження новітніх технологій та системою самоорганізації й саморозвитку виробництва існує тісний кореляційний зв'язок [21].

Інтенсивний розвиток сільськогосподарського виробництва має супроводжуватися зниженням витрат живої праці на виробництво одиниці продукції. Однак формування і функціонування АПК відбуваються в умовах загострення проблеми трудових ресурсів, оскільки в аграрних підприємствах деяких областей і особливо низових адміністративних районів зростає дефіцит робочої сили [22].

Проведене в нашій країні реформування аграрної галузі та персоніфікація землі мали забезпечити комерціалізацію всіх ланок АПК, створити ринкові інфраструктури завдяки виробленню оптимальної цінової, податкової, кредитної й митної політики, виборчого підходу в державній підтримці суб'єктів сільськогосподарського виробництва, а також за допомогою заходів, що забезпечують науково-технічне, технологічне та кадрове зміцнення галузі й вирішити складну та важливу задачу забезпечення продовольчої безпеки держави на рівні сучасних потреб розвитку цивілізації. Але практика показала, що державне регулювання економіки АПК поки що є малоефективним.

Створення в Україні збалансованого продовольчого господарства можливо лише за умов здійснення прогнозованого механізму державного регулювання АПК [24].

Головною метою державного регулювання економіки агропромислового комплексу є економічна й соціальна стабільність держави та закріплення існуючого ладу як усередині країни, так і за кордоном, адаптація його до мінливих умов буття. Від цієї головної мети опосередковується і розгалужується так зване дерево конкретних цілей, без яких не може бути досягнута і головна ціль. Ці конкретні цілі невід’ємно пов’язані з об’єктами державного регулювання економіки [23].

В процесі реалізації регіональної політики мали би враховуватись інтереси щонайменше для досягнення таких цілей: забезпечення високого рівня якості життя людини; максимального наближення послуг, що надаються органами публічної влади, до споживачів; розбудови та модернізації інфраструктури, що слугуватиме підвищенню інвестиційної привабливості регіонів; забезпечення розвитку людських ресурсів; впровадження заходів державного регулювання [21].

1.6 Характеристики енергоємного обладнання АПК

Камерні зерносушарки можуть бути коридорного та секційного типів. Найчастіше застосовуються для сушіння качанів кукурудзи, але можливе їх використання для сушіння інших зернових культур для отримання високоякісного насіння [25].

Камерна сушарка коридорного типу (рис.1.8) складається з шести камер, які розміщені по три камери в ряду. Між рядами камер розміщені верхній 15 і нижній 16 розподільчі коридори, функція яких – розподіляти сушильний агент у камерах [26].

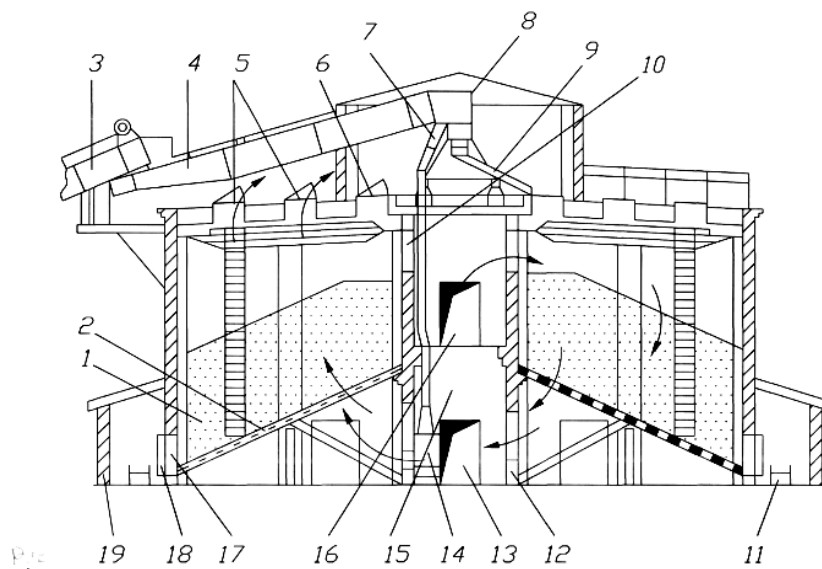


Рис.1.8 – Схема камерної сушарки коридорного типу:

1 – сушильна камера; 2 – похиле днище; 3 – скребковий транспортер; 4 – стрічковий транспортер; 5, 6, 10 – люки; 7 – відділювач обрешеного зерна кукурудзи; 8 – реверсивний конвеєр; 9 – самоточна труба; 11 – поздовжній конвеєр; 12 – внутрішня стінка; 13 – дверний отвір; 14 – пересувна сушарка; 15 – нижній коридор 16 – верхній коридор; 17 – розвантажувальний люк; 18 – заслінка; 19 – опора. Сушильний агент по сушильних камерах 1 у верхньому коридорі 15 розподіляється через люки 10, а у нижньому коридорі 16 – через дверні отвори 13. Сушильні камери збудовані у вигляді прямокутних шахт з похилим днищем 2.

Технологічний процес сушіння проходить наступним чином. Вологі качани кукурудзи за допомогою скребкового 3, стрічкового 4 і стрічкового реверсивного 8 транспортерів завантажуються в сушильні камери 1 через люки 6 за допомогою завантажувальних лотків. Качани розміщуються в сушильній камері під кутом природного скосу. Через дверні отвори 13 та люки 10 сушильний агент подається в сушильні камери, забирає частину вологи від качанів і виводиться через люки 5, які встановлені у верхній частині перекриття сушильних камер 1 при послідовній схемі сушки, або по нижньому коридору 15 через розміщені в його торці двері 13 при паралельній роботі камер [27].

Шахтна зерносушарка (рис.1.9) складається з однієї або двох прямокутних вертикальних камер – шахт, які заповнююють зерном по всій висоті.

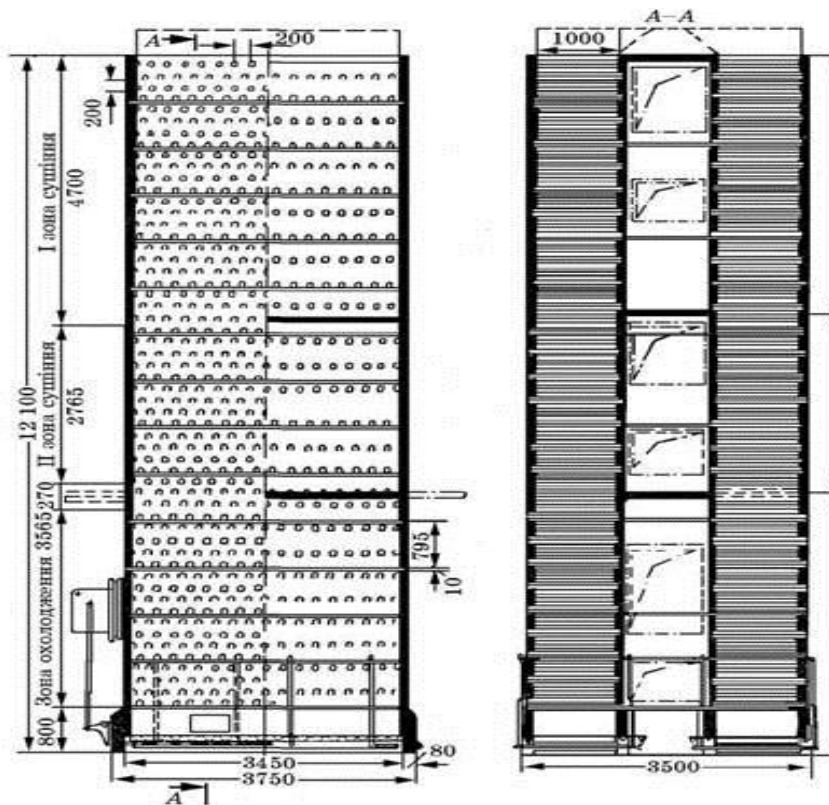


Рис.1.9 – Схема шахтної зерносушарки

Верхня частина шахти – сушильна камера, що складається з однієї або кількох зон сушіння, нижня — камера охолодження. Над шахтами змонтовано бункери, в яких міститься запас зерна. Для підведення свіжого і відведення відпрацьованого сушильного агента по всій висоті шахти встановлюють металеві коробки, призначення яких – рівномірно розподілити агент сушіння по всій зерновій масі [27].

Пристрої (механізми), якими регулюється випуск зерна, встановлені під шахтами і називаються випускними, або розвантажувальними. В шахтних зерносушарках застосовують випускні комбіновані пристрої, а також безперервної і періодичної дії.

Зерносушарки ДСП (двоступінчасті) випускають продуктивністю 12, 16, 20, 24, 32 і 50 т/год. На хлібоприймальних пунктах найбільш поширена зерносушарка марки ДСП-32-ОТ.

Вона складається з двох паралельно працюючих шахт заввишки 11 570 мм. Кожна шахта складається з семи секцій і по висоті ділиться на три зони: перша — зона сушіння заввишки 495 мм (верхня частина); друга – зона сушіння заввишки 285 мм (середня частина); третя – зона охолодження (нижня частина). Висота секції 1650 мм. В кожній секції 8 рядів коробів по 16 шт. у кожному. По висоті шахта має 27 рядів підвідних і 29 рядів відвідних коробів, з яких у першій зоні 24, у другій 14 і в камері охолодження 18 [28].

Зерносушарки CHIEF UK (Великобританія) застосовуються для сушіння продовольчого і фуражного зерна, насіння зернових, зернобобових та олійних культур. Їх продуктивність становить від 5 до 500 т/год по пшениці (знімання вологи від 20% до 15% за один прохід при температурі навколишнього середовища 10 °С, відносній вологості 70 %, об'ємній вазі зерна 750 кг/м³).

Зерносушарка CHIEF UK може містити одну або кілька резервних секцій з контролем підтримки рівня продукту для безпечної експлуатації і дві додаткові – для пуску чи зупинки системи подачі [29].

Зерносушарка ЛСО-40 виробництва Чехії складається з двох шахт, кожна з яких містить надсушильний бункер (з конусом-розсікачем для рівномірного розподілу зерна по перетину бункера), першу і другу сушильні і охолоджувальну зони, випускний пристрій і підсушильний бункер. Між першою і другою сушильними зонами розташована нейтральна зона (зона відлежування), в якій агент сушіння не продуває зерно. Між другою сушильною зоною і зоною охолодження також є нейтральна зона, яка служить для установки в ній датчиків температури зерна. Шахти сушарки зібрані з окремих секцій, у кожній з яких два ряди жалюзійних коробів, в кожному ряду підвідні і відвідні короба чергуються між собою.

Модульні або колонкові сушарки. До таких сушарок відносяться зерносушарки «Сапфір» (виробництво Україна). Завдяки технології сушіння зерна «cross-flow» зерносушарка «Сапфір» здатна якісно та за один прохід сушити зерно з вологістю більше 35 % .

Особливістю цієї ж зерносушарки є можливість повністю нагрівати в собі зерно, а завдяки розділеним камерам нагріву можливо плавно та поступово нагрівати зерно, яке проходить через сушарку, що в подальшому покращує його якість. Крім цього охолоджуючи зерно в зовнішніх бункерах з активним вентиляванням додатково знімається 1-2 % вологи завдяки вентиляції холодним повітрям [28].

Барабанні зерносушарки використовують для сушіння зерна різних зернових і олійних культур будь-якого ступеня вологості та засміченості без попереднього очищення. Встановлюють її на олійних підприємствах для сушіння соняшнику та на токах для сушіння зерна різних культур [25].

Зерносушарка СЗСБ-8 (рис.1.10) складається з топки 1, камери завантаження 2, колонки охолодження 4, розвантажувальної та завантажувальної норій, вентиляторів колонки охолодження та сушильного барабана 3, приводного механізму [28].

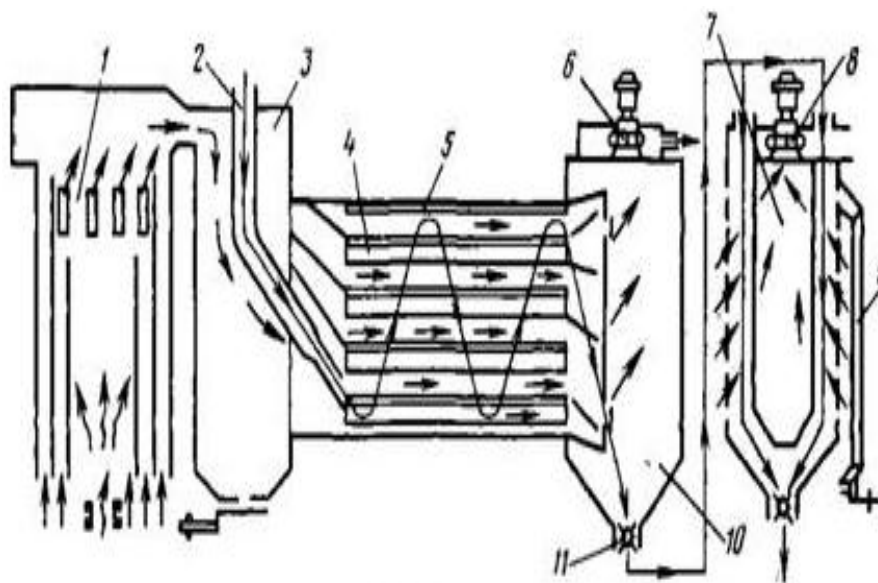


Рис.1.10 – Схема стаціонарної барабанної сушарки СЗСБ-8:

1 – топка; 2 – завантажувальна труба; 3 – завантажувальна камера; 4 – лопаті сушарки; 5 – сушильний барабан; 6 – вентилятор сушильного барабана; 7 – охолоджувальна колонка; 8 – вентилятор охолоджувальної колонки; 9 – зливна труба; 10 – розвантажувальна камера; 11 – шлюзовий затвор.

Рециркуляційні зерносушарки. При рециркуляційному сушінні зерна змішують певну кількість сирого зерна з великою кількістю сухого і чергують короткочасне нагрівання суміші зерна з наступним охолодженням та рециркуляцією великої частини просушеного зерна. Зерно за короткочасного (2...3 с) перебування в камері нагрівання при температурі сушильного агента 250...380 °С нагрівається до 50...60 °С [25].

Досвід експлуатації газово-рециркуляційних зерносушарок показав, що в них можна одночасно сушити до заданих норм без попереднього очищення кілька партій зерна різної вологості (від 17 до 25...30 %) із збереженням його насінних якостей [29].

1.7 Технологічні режими сушіння зернових культур

Зерно гречки добре піддається сушінню завдяки великій шпаруватості. Проте через нерівномірність дозрівання, велику засміченість зернова маса гречки часто зігрівається. Тому після збирання сушіння зерна гречки, як і очищення, треба проводити негайно. Найкраще сушити зерно гречки за м'яких режимів на шахтних сушарках [30].

Зерно жита має товсту оболонку, що сповільнює випаровування з нього вологи. Висока термостійкість зерна жита дає змогу нагрівати його до 60 °С.

Зерно вівса завдяки великій шпаруватості добре сушиться, але через небезпеку самозагоряння насінних та плодових плівок його не можна нагрівати до температура вище 50 °С.

Зерно проса має щільну оболонку й понижену шпаруватість. Між оболонкою і ядром є повітряний проміжок, який перешкоджає теплопередачі,

внаслідок чого теплота концентрується на оболонках проса, що призводить до їх розтріскування. Тому при сушінні зерна проса температура його нагрівання повинна бути до 40 °С [30].

Для сушіння зерна бобових використовують лише шахтні сушарки. Допускається видалення за один пропуск 3 — 4 % вологи, а для крупно насінних (квасоля, боби) – 2 %. Бобові обов'язково сушать з відлежуванням.

Насіння олійних культур завдяки щільній оболонці витримує високі температури при нагріванні. Використовують для його сушіння шахтні сушарки, застосовуючи приблизно такі самі режими, як і для зернових. Насіння з високою вологістю сушать за кілька пропусків з проміжним (6-7 год) відлежуванням, під час якого підсохла оболонка поглинає вологу ядра, а при черговому пропуску легко видаляється (у насіння соняшнику, оскільки високі температури призводять до розтріскування оболонок).

Кращою для сушіння насіння соняшнику є швидка подача повітря з високою температурою, ніж тривала з низькою [30].

Особливість сушіння насіння соняшнику в барабанних сушарках полягає в тому, що чим вища вологість насіння, тим вища температура нагрівання. Недолік — часткове самообрушення насіння. Тому барабанні сушарки переобладнують так, щоб насіння в них перебувало протягом 14 хв (удвічі менше), температура теплоносія на вході становила 250 – 350, на виході 50 – 80 °С, а температура нагрівання насіння не перевищувала 50 °С.

Насіння дрібнонасінних олійних культур (льону, ріжю, гірчиці) через низьку шпаруватість сушать при низькій витраті агента сушіння. Часто його сушать у суміші з насінням вівса, ячменю у співвідношенні 1 : 3 при температурі теплоносія 60 — 70 °С і нагріванні до 40 – 45 °С.

Головною особливістю сушіння зерна кукурудзи є його низька вологовіддача порівняно із зерном інших зернових культур. Питома поверхня випаровування зерна кукурудзи вдвічі менша, ніж зерна пшениці. Щільна оболонка зерна кукурудзи утруднює процес випаровування. Волога, проникаючи в зерно переважно через зародок, нерівномірно розподіляється

по всіх частинах зернівки. Стрижні качанів кукурудзи завжди вологіші, ніж зерно, але під час сушіння інтенсивніше випаровують вологу, ніж зерно.

Зерно продовольчої кукурудзи сушать за більш жорстких режимів, для чого використовують шахтні сушарки типу ДСП-32, тобто такі, де можна підтримати певний режим: нагрівання зерна не вище 50 °С, температура теплоносія не вище 130 °С і 110 °С при сушінні кукурудзи відповідно для переробки та зберігання. Для насіння кукурудзи вологістю вище 22 % застосовують двоступінчастий режим сушіння [30].

Аналіз сушильної техніки показує, що існує велике розмаїття традиційних сушарок. Це пов'язано із тим, що кожен продукт має унікальну структуру та фізико-хімічні властивості. Тому для сушіння насіння соняшнику слід враховувати його властивості та вирішувати деякі проблеми, які виникають при сушінні соняшникового насіння.

1.8 Проблеми сушіння соняшнику

Невід'ємною складовою обробки та зберігання соняшникового насіння – є процес сушіння. Процес досить складний і тривалий, вимагає значних витрат енергоносіїв. Від вологості соняшника залежить його якість в процесі отримання олії, тривалого зберігання та ін. [25].

Особливості насіння соняшнику як об'єкта сушки, зумовлені анатомічними особливостями, хімічним складом і фізичними властивостями. Головна особливість полягає в тому, що запасні поживні речовини, які використовуються зародком для проростання, відкладаються в насінні не у вигляді крохмалю, як це має місце у зернових культур, а у вигляді олії та жирів. Олія відноситься до гідрофобних речовин і не здатна поглинати воду. Тому волога, як уже відзначалося, накопичується в тих частинах насіння, де більше міститься білків та вуглеводів. Інтенсивність біохімічних процесів у насінні соняшнику визначається лише вологістю гідрофільної частини насіння. Тому критична вологість, до якої необхідно сушити насіння, значно нижча, ніж для зернових культур, але відповідна їй вологість гідрофільної

частини співпадає з критичною вологістю для зернових культур, яка становить 14-15% .

Висока олійність, а також активність білково-ферментативного комплексу соняшника, зумовлює протікання під час сушіння складних біохімічних та фізичних процесів під впливом температури та відтоку вологи з насіння[31].

Насіння високоолійного соняшнику надійно зберігається, якщо вологість їх не перевищує 7%, а температура знижена до 10 ° С і нижче. При вологості вище критичної [31] і температурі 20 ... 25 ° С, характерні для щойно партій насіння соняшнику, в насипу насіння починається бурхливий розвиток мікроорганізмів, інтенсивно відбуваються гідролітичні та окисні процеси, що призводить до швидкого погіршення якості насіння соняшнику як олійної сировини. Насіння соняшнику, що йдуть на переробку, сушать, як правило, до вологості 7-8%, а призначені для тривалого зберігання - до 6-7% [32].

У сучасних сортів соняшнику навколоплідник майже на 100% складається з гідрофільної частини, а насінина містить до 66-70% олії і лише 30% - гідрофільної частини, здатної акумулювати вологу. З В лабораторних умовах експерименти по вивченню швидкості набухання соняшникової сировини і природних мінералів при контакті з водою проводились так. Кожен із компонентів зважували на торсійних терезах, опускали у воду на 30 сек., виймали, просушували між листами фільтрувального паперу, а потім знов зважували. Дослід проводили до тих пір, поки збільшення маси буде незначним [33].

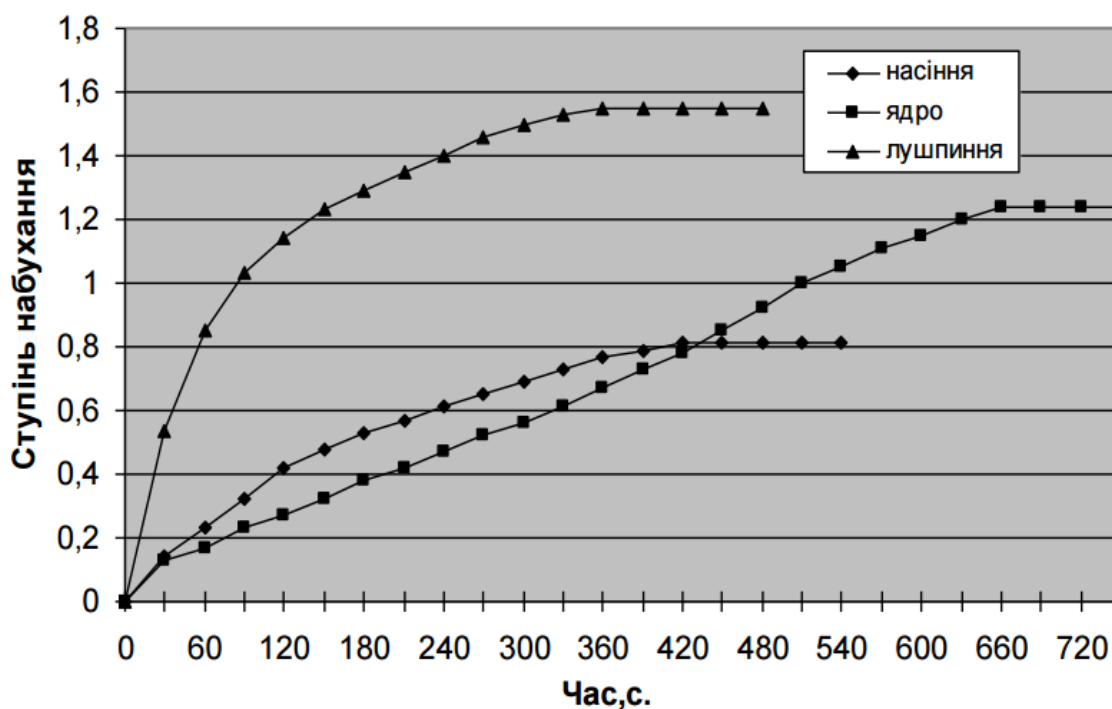


Рис. 1.11 – Кінетика набухання насіння, лушпиння та ядра.

В лушпинні міститься води набагато більше ніж в насінні (рис.1.11). Гідрофільність лушпиння та насіння в цілому залежить від ступеня пошкодження насінини [33].

Насіння олійних культур завдяки щільній оболонці витримує високі температури при нагріванні. Використовують для його сушіння шахтні сушарки, застосовуючи приблизно такі самі режими, як і для зернових. Насіння з високою вологістю сушать за кілька пропусків з проміжним (6-7 год) відлежуванням, під час якого підсохла оболонка поглинає вологу ядра, а при черговому пропуску легко видаляється (у насіння соняшнику, оскільки високі температури призводять до розтріскування оболонок) [30].

Високотемпературне сушіння не тільки сприяє збільшенню вмісту олії, але також підвищує і гідрофільні властивості олії. Відомо, що під час зберігання олії фосфатиди, що містяться в ній, набухають, втрачають властивість розчинятися в олії, утворюючи осад, що погіршує товарний вид олії. Тому більша частина фосфоліпідів видаляється з олії гідратацією і використовується у вигляді самостійного продукту — фосфатидних концентратів. Вони використовуються як цінна сировина

для фармацевтичної промисловості. Мінімальна температура нагрівання насіння сприяє максимальному переходу фосфатидів і кращій гідратації, складає для свіжозібраного насіння 75-80°C, для насіння після зберігання — 85-90°C [31].

Незадовільні міцність плодової оболонки, теплопровідність та термолабільність білкової і жирової частин насінин соняшнику, їх підвищену пожежну небезпеку треба враховувати при виборі способів і конструкції сушарок для їх сушіння. Крім того, під час післязбиральної обробки насіння існує небезпека підвищення кислотного та йодного числа, зміни харчових властивостей олії.

Кращою для сушіння насіння соняшнику є швидка подача повітря з високою температурою, ніж тривала з низькою. Щоб випарувати 1 кг води, треба затратити близько 2,7 МДж теплоти, а для випаровування такої самої кількості води в насінні соняшнику — понад 6 МДж у шахтних та близько 5 МДж у рециркуляційних сушарках. Сушіння треба проводити швидко з мінімальними затратами теплоти та електроенергії.

На випаровування вологи впливають переважно два фактори — волого- і термовологопровідність. При випаровуванні вологи поверхневі шари насіння підсушуються, тобто створюється градієнт вмісту вологи, коли всередині його вологи більше, ніж на поверхні. Це призводить до переміщення вологи до поверхневих шарів насіння, і сушіння відбувається тим інтенсивніше, чим вища температура нагрівання.

До 90 % маси насіння соняшнику сушать у шахтних сушарках, хоч при цьому спостерігається нерівномірність нагрівання (до 20 °C) насіння, а при підвищеній його засміченості можливе загоряння. Крім того, при завантаженні в шахту неочищеного вороху відбувається самосортування насіння, за якого легші компоненти розміщуються біля стінок сушарки і зменшується швидкість руху матеріалу в пристінній зоні [33].

Виділимо основні проблеми які потребують вирішення:

1. Зменшення тривалості процесу сушіння насіння соняшника з покращенням якості кінцевого продукту.

Час сушіння соняшника в традиційних сушарках перевищує 6-7 годин [30];

2. Зниження температури продукту під час сушіння.

Середні температури продукту під час сушіння коливаються в межах 65-80°C [31];

3. Рівномірний розподіл підведеної енергії по всій поверхні соняшникового насіння.

4. Підвищення енергетичної ефективності процесу сушіння.

Енергетичні витрати на видалення 1 кг вологи приблизно 6-8МДж теплової енергії [30].

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ПРИНЦИПІВ СУШІННЯ СОНЯШНИКУ

2.1. Науково-технічні протиріччя в технологіях сушіння

На сьогоднішній час найбільш поширеним видом сушіння – є конвективний спосіб підводу енергії.

Традиційні підходи [31, 32] в технологіях сушки зіткнулися з непереборним протиріччям. З одного боку, для інтенсифікації процесів тепломасопереносу потрібно збільшувати витрата сушильного агента, з іншого боку із збільшенням витрати теплоносія, збільшуються втрати теплової енергії яка викидається у навколишнє середовище[36].

Аналіз досліджень щодо застосування в сільському господарстві бункерів активного вентилявання дозволив зробити висновок про те, що для сушки зерна будь-якої початкової вологості можна використовувати установки бункерного типу з радіальної роздачею теплоносія. При цьому визначено, що оптимальна конструкція такої сушарки повинна включати в себе: безперервну або періодичну вивантаження, перемішування зерна в процесі сушіння, змінну товщину шару і максимально можливу температуру агента сушіння, що забезпечує допустимий нагрів зерна. Узагальнення відомих досліджень в цьому напрямку дозволило автору обґрунтувати завдання теоретичних і експлуатаційних досліджень по сушці товстого шару насіння соняшнику [37].

Оскільки традиційні методи сушіння не здатні організувати рівномірний розподіл енергії, запропоновано:

Завдяки інноваційному підводу енергії можливо домогтися рівномірного розподілу енергії по всьому об'єму продукту.

2.2 Формулювання науково-технічних гіпотез

Сушіння в електромагнітному полі викликає біполярний нагрів вологи в середині продукту, тобто відбувається нагрів не від поверхні до середини, а навпаки, від середини об'єму продукту до його поверхні. Це зумовлено специфічною дією мікрохвильового випромінення на вологу (біполярні молекули).

Гіпотеза: при взаємодії вологи і мікрохвильового випромінення молекули води починають рухатись, тертись одна об одну, таким чином перетворюючи електричну енергію на теплову. Оскільки мікрохвильове випромінення має проникаючу здатність, цей нагрів відбуватиметься в центрі та у середини об'єму продукту, спонукаючи випарену вологу просуватися до оболонки продукту, завдяки дії тиску, що утворився при фазовому переході води у парову форму. Випарена волога віддаватиме тепло продукту на своєму шляху до його оболонки рівномірно, оскільки процес випаровування завдяки МВ випроміненню відбуватиметься рівномірно, а тиск в середині продукту більше тиску навколишнього середовища, $P_1 > P_2$ (рис. 2.1).

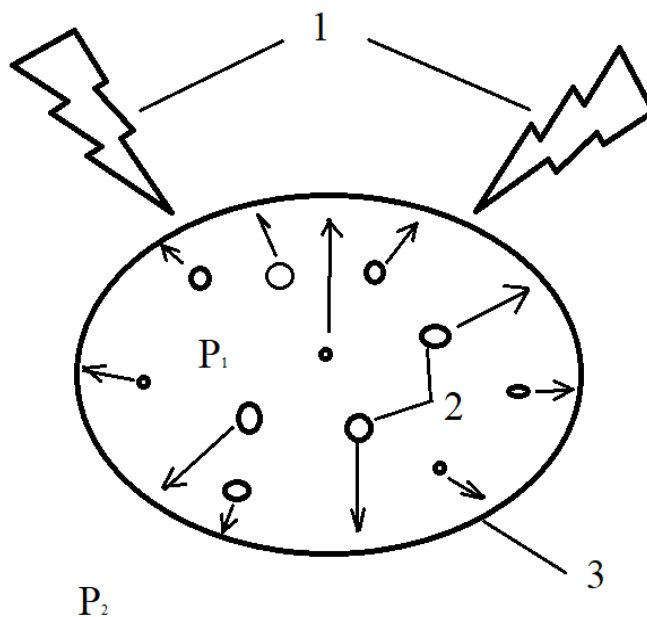


Рис. 2.1. – Дія електромагнітного поля на вологу в середині продукту

1 – мікрохвильове випромінення; 2 – молекули води; 3 – продукт; P_1 – тиск створений випареною вологою в центрі продукту; P_2 – тиск навколишнього середовища.

В традиційних сушарках, процес сушіння соняшникового насіння триває близько 6-7 годин. Це зумовлено тим, що досить тривалий час насіння прогрівається, забираючи тепло від теплоносія, і тільки потім, коли волога, що знаходиться у насінні, отримає досить енергії для випаровування, почнеться процес сушіння. Крім того, процес сушіння починається із поверхневих слоїв продукту, тільки коли волога з поверхні буде видалена, тепло від поверхні буде просуватися до середини продукту, де лише потім почне прогрівати вологу, яка почне переходити з середини, до поверхневої оболонки продукту [30].

При використанні інноваційної мікрохвильової зерносушарки в електромагнітному мікрохвильовому полі час сушіння можливо зменшити у 3-4 рази. Крім того, що час сушіння буде зменшено до 1-2 годин, можливо підвищити обсяг випускаємої продукції підприємства.

Гіпотеза: Завдяки використанню мікрохвильового поля в процесі сушіння можливо зменшити час сушіння за рахунок проникної здатності та миттєвої взаємодії із вологою мікрохвильового випромінення. Мікрохвильова енергія проникаючи крізь оболонку продукту починає взаємодіяти із молекулами води в середині продукту, звідки волога, випаровуючись, почне свій рух до поверхні продукту, що значно вплине на час процесу сушіння.

Температурні режими – дуже важливі в будь-якому процесі, тим паче в процесі сушіння. Оскільки волога випаровується, при умовах атмосферного тиску, при температурі $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, в традиційних сушарках температури сушіння сягають від $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ [38].

В харчовій промисловості, температурні режими не повинні перевищувати $60\text{-}85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це пов'язано з тим, що багато мікроелементів, вітамінів та корисних речовин руйнуються при більш високих температурах,

а інколи й завдяки початку хімічних реакцій – стають шкідливими для людини [39].

Гіпотеза: Завдяки мікрохвильовому випроміненню, яке гріє не продукт, а вологу в продукті, відпадає необхідність застосовувати у якості сушильного агенту нагріте повітря. Оскільки, задля того, щоб зробити різницю парціальних тисків між вологою в середині продукту та навколишнім середовищем необхідно нагріти спочатку продукт, а потім продукт віддаватиме тепло до вологи, яка почне випаровуватися. Для того, щоб продукт віддав тепло до вологи, температура продукту повинна бути вищою за температуру вологи у ньому, в іншому разі – процес сушіння зупиниться оскільки настане рівновага температури та тиску. У разі застосування мікрохвильового випромінення, яке діє безпосередньо на біполярні молекули води, нагріватиметься волога, яка буде випаровуватися і створювати парціальний тиск між вологою в середині продукту та навколишнім середовищем, таким чином, температура продукту буде нижчою за температуру вологи в ньому, продукт відбиратиме тепло у вологи і, процес сушіння буде проходити при нижчих температурах.

2.3 Математичне моделювання процесу сушіння на стрічковій сушарці в електромагнітному полі

Стрічкова НВЧ і ІЧ сушарка - це інноваційне рішення для сушки дисперсних зернових матеріалів і плодів ягід, фруктів і овочів. Завдяки комбінації НВЧ і ІЧ випромінювання ставати можливим істотно скоротити час процесу сушіння, його енергоємність і крім цього, поліпшити якість і зберегти структуру висушеного продукту.

НВЧ випромінювання, проникаючи в глиб продукту, впливає на біполярні молекули води, приводячи їх в рух. Тому рухи, молекули води стикаються і труться одна об одну, виробляючи теплову енергію. При підвищенні температури волога в продукті розширюється, відбувається

випаровування, створюється тиск всередині продукту, волога прагне до поверхні продукту.

ГЧ випромінювання діє на поверхню продукту, видаляючи вологу, яка була доставлена НВЧ випромінюванням з глибини продукту.

Даний метод сушіння мине фазу прогріву теплоносія, діючи безпосередньо на вологу в глибині продукту завдяки електромагнітному полю, що дозволяє максимально скоротити втрати енергії в навколишнє середовище і на нагрів продукту (так як електромагнітне поле гріє безпосередньо воду всередині продукту).

У період сушіння, температура продукту не перевищує допустимих норм термічної обробки продуктів харчування, що так само позитивно позначається на зовнішньому вигляді висушеного продукту.

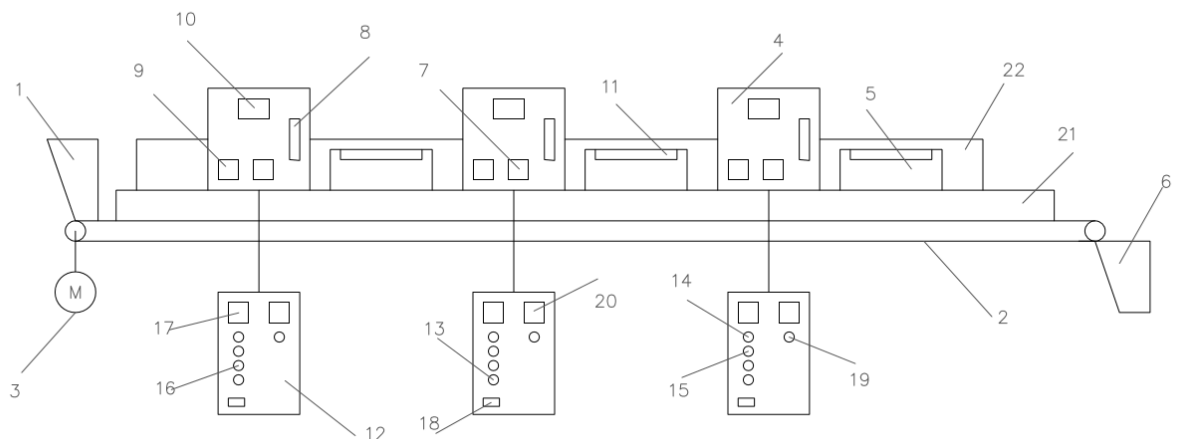


Рис. 2.2 - Схема НВЧ і ГЧ експериментальної сушарки

НВЧ і ГЧ сушарка (рис. 2.2) складається бункера завантаження - 1, через який сирий продукт надходить на стрічковий конвеєр - 2, що приводиться в рух приводом - 3, далі продукт просувається до модуля НВЧ - 4 і модулю ГЧ - 5, на технологічній лінії розміщено по три модуля, далі висушений продукт вивантажується в бункер вивантаження - 6. НВЧ модуль складається з магнетрона - 7, вентилятора - 8, високовольтного трансформатора - 9 і компресора - 10. ГЧ модуль складається з ГЧ випромінювача - 11. За допомогою панелі керування - 12 відбувається настройка потужності, що підводиться НВЧ випромінювання - 13, час роботи

НВЧ модуля встановлюється на 10 хвилин, 1 хвилину і 10 секунд за допомогою кнопок - 14, 15, 16 відповідно, дані налаштувань потужності і часу виводяться на аналоговий датчик - 17, модуль приводиться в дію кнопкою «пуск / стоп» - 18. На механічному датчику - 19 відображається потужність ІЧ випромінювання регульована за допомогою перемикача потужності - 20. Корпус установки - 21 покритий ізоляцією - 22.

Для моделювання складної мікрохвильової стрічкової сушарки в електромагнітному полі проведемо її декомпозицію.

Апаратурно-процесна схема стрічкової сушарки в електромагнітному полі (рис. 2.3) складається з трьох мікрохвильових і трьох інфрачервоних модулів.

Апаратурно-процесна схема стрічкової сушарки:

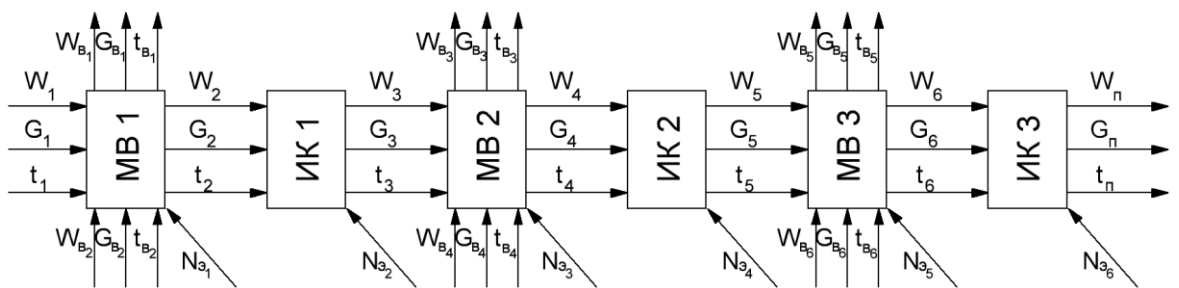


Рис. 2.3 - Апаратурно-процесова схема конвеєрної сушарки

G_b - витрата повітря, кг/с; W_b - вологість повітря,%; t_b - температура повітря, °С; G_1 - витрата сировини, кг/с; W_1 - вологість сировини,%; t_1 - температура сировини, °С; G_n - витрата продукту, кг/с; W_n - вологість продукту,%; t_n - температура продукту, °С.

Розглянемо докладніше модулі MB1 і ІЧ1.

Продукт проходить через мікрохвильової модуль MB1 і завдяки електромагнітному випромінюванню N_{e1} відбувається процес дипольного нагріву вологи в початковому обсязі продукту G_1 , волога в продукті W_1 випаровується з внутрішнього обсягу продукту прагнучи до поверхні, при цьому прогріваючи продукт змінюючи його початкову температуру t_1 . Система вентиляції MB1 модуля створює потік повітря G_{b1} який видаляє

випаровування вологи з поверхні продукту змінюючи початкову вологість повітря $W_{в1}$, при цьому, так само, прогриваючи його температуру $t_{в1}$ [40].

Далі продукт проходить до модуля інфрачервоного опромінення ІК1, де завдяки підводу електромагнітної енергії N_e відбувається процес видалення вологи W_2 з поверхні обсягу продукту G_2 , при цьому змінюючи температуру продукту t_2 .

Апаратурно-процесна схема стрічкової сушарки дозволяє перейти до більш детального розгляду моделі протікаючого процесу і параметрів впливають на нього, що дозволяє перейти до параметричної моделі процесу сушіння в електромагнітному полі.

Параметрична модель стрічкової сушарки в електромагнітному полі (рис. 2.4) включає в себе параметри сировини, технічні параметри установки і режимні параметри підведення електромагнітної енергії, які впливають на показники питомих витрат енергії на кілограм віддаленої вологи - j , Дж / кг.уд.вл. і кінцеву вологість матеріалу - W_k , %.

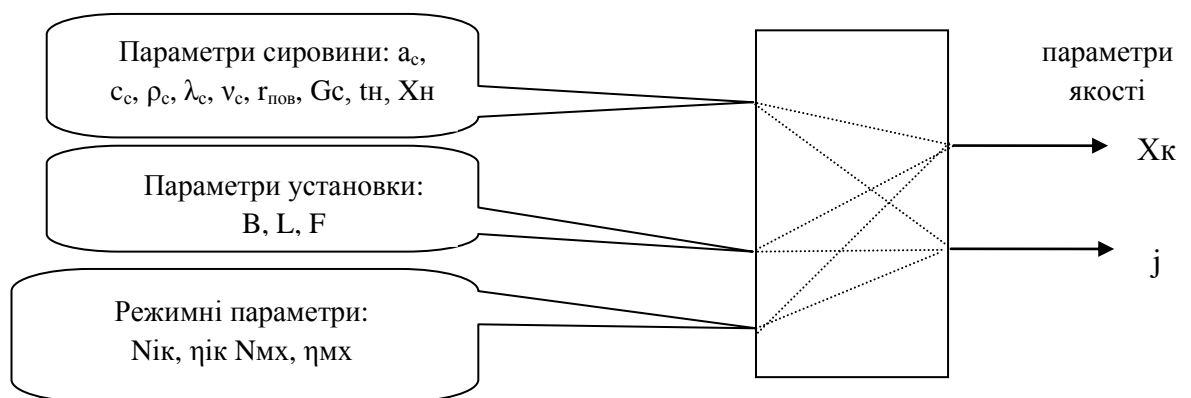


Рис. 2.4 - Параметрична модель конвеєрної сушарки

N_e - електрична енергія, Вт; F - площа поверхні, m^2 ; δ - товщина шару, м; $\nu_{в}$ - швидкість повітря, м/с; $\nu_{л}$ - швидкість стрічки, м/с; j - питомі витрати на кілограм віддаленої вологи, Дж/кг.

Після розгляду апаратурно-процесові і параметричної схем необхідно скласти фізичну схему (рис. 2.5). Оскільки тепловий потік і переноситься їм волога поширюються переважно з координування z - математичне моделювання в подальшому слід розглядати як одновимірну [40].

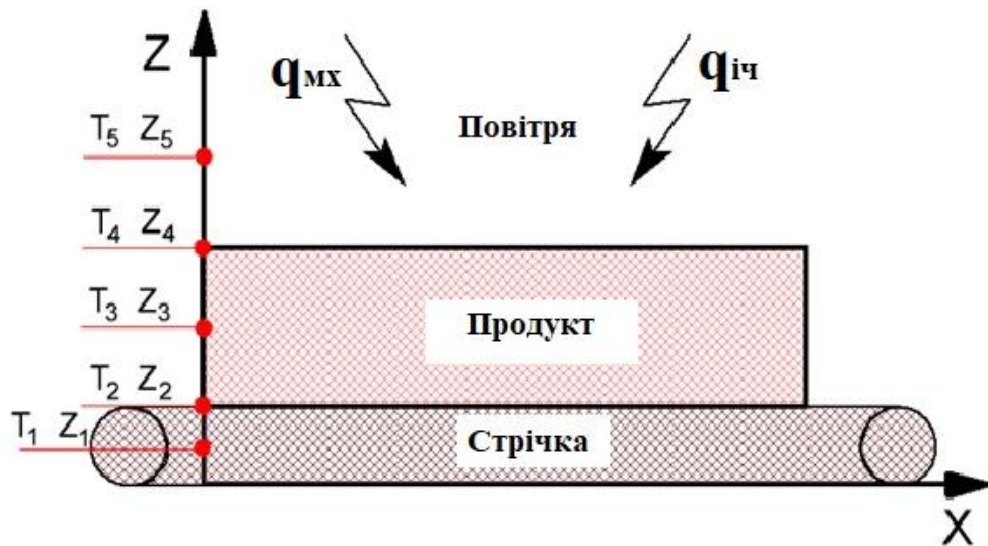


Рис. 2.5 - Фізична схема конвеєрної сушарки

Розглянемо процес теплообміну щодо однієї осі (Z). Отже, рівняння, що описують протікаючі процеси, також будуть розглянуті щодо однієї осі.

Запишемо рівняння, що описують протікаючі процеси.

1) При $Z > Z_4$:

У цій області знаходиться повітряний потік, який взаємодіє з продуктом не як теплоносій, а як засіб перенесення випареної з продукту вологи в навколишнє середовище.

У математичному моделюванні процесу сушіння необхідно скласти основне в гідродинамічних процесах диференціальне рівняння Нав'є-Стокса яке, на жаль, не є вирішеним по сьогоднішній день.

- Рівняння Нав'є - Стокса:

$$\rho_B * \omega_B * \frac{\partial \omega_B}{\partial z} = \rho_B * g - \frac{\partial P_B}{\partial z} + \mu_B * \frac{\partial^2 \omega_B}{\partial z^2} \quad (1)$$

Так само, одне з основних аеро- і гідродинамічних рівнянь, що виражає в диференціальній формі закон збереження енергії.

- Рівняння енергії:

$$\frac{\partial t_B}{\partial \tau} = \alpha_B * \frac{\partial^2 t_B}{\partial z^2} + \frac{qV}{C_v \rho_B} \quad (2)$$

Так як внутрішніх джерел тепловиділення немає, то складовою $\frac{qV}{C_v \rho_B}$ можна знехтувати:

$$\frac{\partial t_B}{\partial \tau} = \alpha_B * \frac{\partial^2 t_B}{\partial z^2} \quad (3)$$

Крім того, в процесі сушіння невід'ємною частиною є диференціальне рівняння суцільності яке відображає закон збереження маси [42].

- Рівняння суцільності:

$$\frac{1}{\rho_B} * \frac{\partial \rho_B}{\partial t_B} + \frac{\partial \omega_B}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

2) При $Z = Z_4$:

Процеси що протікають в цій області полягають в взаємодії електромагнітного випромінювання з поверхнею продукту, і поверхні продукту з повітрям [40].

- Граничні умови II роду:

В цьому випадку заданої є величина щільності теплового потоку для кожної точки поверхні тіла в будь-який момент часу. У випадку з підведенням електромагнітної енергії щільність теплового потоку в будь-який момент часу буде незмінною [42].

$$q_{\text{іч}} = \text{const}$$

$$q_{\text{мх}} = \text{const}$$

- Граничні умови III роду:

В цьому випадку задаються температури середовища t_0 і умови теплообміну цього середовища з поверхнею продукту [42].

$$\frac{\partial t_{\text{п}}}{\partial \tau} = -\frac{\alpha_{\text{п}}}{\lambda_{\text{п}}} (t_{\text{ст}} - t_0) \quad (5)$$

3) При $Z_4 < Z < Z_2$:

У даній області процеси відбуваються всередині продукту, а саме вплив електромагнітного поля на біполярні молекули води в ньому, в наслідок чого відбувається нагрівання води і подальше видалення її з центру продукту в його поверхні.

- Рівняння енергії:

$$\frac{\partial t_{\text{п}}}{\partial \tau} = \alpha_{\text{п}} * \frac{\partial^2 t_{\text{п}}}{\partial z^2} + \frac{q_{\text{ИКV}}}{C_v \rho_{\text{п}}} + \frac{q_{\text{МВV}}}{C_v \rho_{\text{п}}} \quad (6)$$

4) При $Z = Z_2$:

Відбувається взаємодія поверхні продукту з поверхнею стрічки в слідстві чого відбувається теплообмін між продуктом і стрічкою.

- Граничні умови IV роду:

Формулюються на основі рівності теплових потоків, що проходять через поверхню зіткнення тіл [42].

$$\lambda_{\text{п}} \left. \frac{\partial t_{\text{п}}}{\partial n} \right|_{\text{ст1}} = \lambda_{\text{к}} \left. \frac{\partial t_{\text{к}}}{\partial n} \right|_{\text{ст2}} \quad (7)$$

5) При $Z = Z_1$:

Процеси протікають в самій стрічці.

- Рівняння Нав'є - Стокса:

$$\rho_{\text{к}} * \omega_{\text{к}} * \frac{\partial \overline{\omega_{\text{к}}}}{\partial z} = \rho_{\text{к}} * g - \frac{\partial \overline{P_{\text{к}}}}{\partial z} + \mu_{\text{к}} * \frac{\partial^2 \omega_{\text{к}}}{\partial z^2} \quad (8)$$

- Рівняння енергії:

$$\frac{\partial t_{\text{к}}}{\partial \tau} = \alpha_{\text{к}} * \frac{\partial^2 t_{\text{к}}}{\partial z^2} \quad (9)$$

- Рівняння щільності:

$$\frac{1}{\rho_{\text{к}}} * \frac{\partial \rho_{\text{к}}}{\partial t} + \frac{\partial \omega_{\text{к}}}{\partial z} = 0 \quad (10)$$

Так само слід записати рівняння зв'язку що описують фізичні властивості елементів

Рівняння зв'язку для кожного середовища:

- Теплофізичні властивості повітря при $t = -50 \dots 150$ °C і

$P = 0,101$ МПа:

$$\rho_{\text{в}} = 1.292 - 0.452 * 10^{-2} * t + 0.106 * 10^{-4} * t^2 \quad (11)$$

$$c_{\text{в}} = 1.005 - 0.257 * 10^{-4} * t + 7.14 * 10^{-7} * t^2 \quad (12)$$

$$\lambda_{\text{в}} * 10^2 = 2.44 + 0.786 * 10^{-2} * t - 2.54 * 10^{-6} * t^2 \quad (13)$$

$$\nu_{\text{в}} * 10^6 = 13.27 + 8.80 * 10^{-2} * t + 1.11 * 10^{-4} * t^2 \quad (14)$$

$$\mu_{\text{в}} = \nu_{\text{в}} * \rho_{\text{в}} \quad (15)$$

$$Pr = \frac{\mu_{\text{в}} * c_{\text{в}}}{\lambda_{\text{в}}} \quad (16)$$

- Теплофізичні властивості продукту при $t=20^{\circ}\text{C}$:

$$\lambda = 0.49 \dots 0.51 \quad (17)$$

$$\alpha * 10^8 = 14.6 \dots 16.0 \quad (18)$$

Запишемо початкові умови при $\tau = 0$:

$$T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_{\text{oc}} \quad (19)$$

$$W_{\text{я}} = 85\% \quad (20)$$

$$T_{\text{я}} = T_{\text{oc}} \quad (21)$$

$$q_{\text{ик}} = q_{\text{мв}} = 0 \quad (22)$$

Система рівнянь (1-22) із записаними граничними, теплофізичними і початковими умовами є нестационарної одновимірної моделлю розробленої сушильної установки з електромагнітним підведенням енергії.

Проблема практичної реалізації моделі полягає в тому, що необхідне рішення рівняння Нав'є-Стокса, в даний час можливості вирішення якого немає [40].

Прийнятий шлях вирішення такого завдання - це залучення методів теорії подібності [43].

Для того, щоб знайти адекватні моделі процесів, що відбуваються потрібно провести наступний аналіз:

- 1) Для кожної зони, яка аналізується визначити сутність фізичних явищ;
- 2) Встановити в якому режимі відбувається тепловий вплив;
- 3) Який вплив може надати конструкція розробленої установки.

Тепловіддача при вимушеній конвекції може бути в ламінарному або турбулентному режимі.

Важливе завдання привести об'єкт до геометричній формі. Коректно шар продукту представити у вигляді пластини, в якій має місце нестационарна теплопровідність [44]. Таке завдання моделюється за допомогою числа Фур'є.

На першому етапі розглянемо моделювання задачі на стрічкової сушарці за традиційним конвективному підводу енергії.

З урахуванням цих положень складена таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 Процеси, які відбуваються в сушарці і відповідні їм моделі в процесі традиційної сушки

Процес	Режим	Геометричні умови	Модель
Тепловіддача (вимушена конвекція)	ламінари й режим	Пластина	$\overline{Nu}_{f,l} = 0.76 * Ra_{f,l}^{0.25} * \varepsilon_t$
Тепловіддача (вимушена конвекція)	Турбулентний режим	Пластина	$\overline{Nu}_{b,d} = 0.021 * Re_{b,d}^{0.8} * Pr_b^{0.43} * \varepsilon_d * \varepsilon_t$
Нестаціонарна теплопровідність	-----	Пластина	$Fo = f(Bi; \theta)$ $\tau = \frac{Fo * l^2}{\alpha_{\Pi}}$

Модель пропонуваного інноваційного варіанту стрічкової сушарки в електромагнітному полі має відмінності (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 Процеси, які відбуваються в сушарці і відповідні їм моделі в процесі інноваційної сушки в електромагнітному полі.

Процес	Режим	Геометричні умови	Модель
Теплопровідність	нестаціонарний	Пластина	$T_K = T_H + \frac{1}{c_{\Pi} * G_{\Pi}} * (q_{ИК} + q_{МВ})$ $\tau = \frac{(T_K - T_H)c_{\Pi} * m_{\Pi}}{q_{ИК} + q_{МВ}}$

Побудувавши математичну модель інноваційної стрічкової сушарки необхідно перейти до експериментальних досліджень процесу сушіння, а також до її випробувань [40].

РОЗДІЛ 3.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

3.1 Ефект механодифузії

Першим етапом було дослідження та підтвердження ефекту механодифузійних сил, які створюються за рахунок дії електромагнітного поля на вологу у шарі сировини.

Механодифузійний ефект – це вилучення цільових компонентів із нанокapілярного середовища та клітин за рахунок специфічного гідромеханічного процесу який виникає під дією електромагнітного поля, що створює різницю тисків між капілярною структурою продукту та навколишнім середовищем. Подібний ефект дозволяє вилучити навіть нерозчинні речовини із продукту, що відкриває нові перспективи у розвитку екстракційних технологій.

Великі перспективи розвитку цієї технології спонукали кафедру Процесів, Обладнання та Енергетичного Менеджменту провести дослідження ефекту механодифузії. Результатами стали зразки амарантової олії, рідкого диму, коньякових виробів та ін.

Відкриття цього явища дало змогу більш чітко зрозуміти процеси, які відбуваються у шарі сировини під час дії мікрохвильового поля. Завдяки тому, що ефект механодифузії дозволяє вилучати вологу із шару сировини не тільки у газоподібному стані, а й у вигляді рідини – це значно зменшує енергетичні витрати на процес сушіння, оскільки частина вологи не потребує зміни фазового стану.

Проте, слід зауважити, що ефект механодифузії краще використовувати для екстрагування, тобто вилучення цільових компонентів із сировини, оскільки викид вологи, провокує винесення із собою компонентів, які не розчиняються екстрагентами.

3.2 Експериментальне підтвердження ефекту механодифузії

Дослідження ефекту механодифузії проводилися на експериментальному стенді розробленому на кафедрі ПОтаЕМ. За допомогою стенду ми маємо можливість провести дослідження отримання коньякових спиртів високої якості.

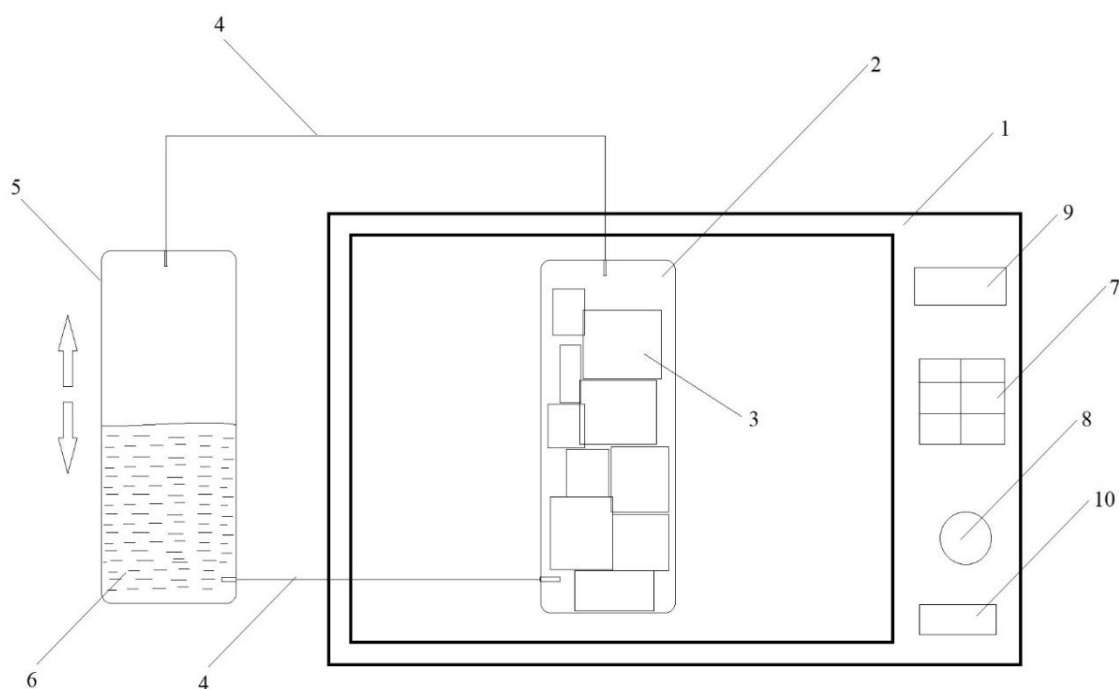


Рис. 3.1 – Інноваційний мікрохвильовий екстрактор.

Стенд (рис. 3.1) складається із мікрохвильової установки 1, у яку було поміщено скляну ємність 2 із дубовою щепою 3, яка з'єднана системою сполучення 4 із скляною ємністю 5 у якій знаходиться спиртовий розчин 6, за допомогою панелі 7 встановлюється підведена потужність, та за допомогою реле 8 встановлюється час обробки матеріалу, який відображається на аналоговому виводі 9, кнопка 10 запускає установку.

До експериментальної установки (рис. 2.1) у скляну ємність було поміщено дубову щепу. Для вилучення з неї цільових компонентів за допомогою механодифузійного ефекту, її обробляли протягом певного часу у електромагнітному полі. Після обробки щепу промивали виноградним

спиртом протягом 30 секунд, що дозволяло спирту забрати цільові компоненти із поверхні дубової щепи. Експеримент повторювався декілька разів, відбувалося насичення виноградного спирту цільовими компонентами дубової щепи, в результаті чого було отримано коньякові спирти високої якості.

Попередній результат якості отриманої продукції в ході експерименту здійснювався за кольоровими та ароматичними ознаками.

Для дослідження та підтвердження ефекту механодифузії було модернізовано стенд (рис. 3.1) та встановлено ваги, за допомогою яких ми мали можливість спостерігати за зміною маси дубової щепи та листку паперу, який відображав масу видаленої вологи за допомогою ефекту механодифузії.

Для дослідження була зволожена дубова щепка, зваживши щепу до зволоження та після зволоження було виявлено вологовміст у неї за допомогою формули (23).

$$W = \frac{M_{\text{п}} - M_{\text{к}}}{M_{\text{п}}} * 100\% \quad (23)$$

де, W – вологовміст щепи, %; $M_{\text{п}}$ – початкова маса продукту, г; $M_{\text{к}}$ – кінцева маса продукту, г.

Знаючи вологовміст продукту та час впливу електромагнітного поля ми мали можливість розрахувати швидкість видалення вологи (24).

$$\frac{dw}{d\tau} = \frac{W_{\text{п}} - W_{\text{к}}}{\Delta\tau} \quad (24)$$

де, $\frac{dw}{d\tau}$ – швидкість видалення вологи, $\frac{\%}{\text{с}}$; $W_{\text{п}}$ – початковий вологовміст, %; $W_{\text{к}}$ – кінцевий вологовміст, %; $\Delta\tau$ – час обробки продукту, с.

Енергетичні витрати (25) на ведення процесу були розраховані за допомогою часу обробки та потужності магнетрона.

$$N = N_{\text{м}} * \Delta\tau \quad (25)$$

де, N – витрати енергії на проведення процесу, Дж; $N_{\text{м}}$ – потужність магнетрона, Вт; $\Delta\tau$ – час обробки продукту, с.

Волога вилучена за рахунок механодифузійного ефекту (26) розраховувалась за допомогою різниці маси паперу до та після проведення експерименту, у який була загорнена дубова щепка.

$$M^D = M_{\Pi}^D - M_{\text{к}}^D \quad (26)$$

де, M^D – маса цільових компонентів вилучених за допомогою ефекту механодифузії, г; M_{Π}^D – початкова маса паперу, г; $M_{\text{к}}^D$ – кінцева маса паперу, г.

Розрахунок питомих витрат енергії на кілограм вилученої вологи (27) відображає ключовий показник енергетичних витрат та ефективності роботи установки.

$$j = \frac{M_{\Pi} * N}{M_{\text{в}}} \quad (27)$$

де, j – витрати енергії на кілограм видаленої вологи, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг.вид.вол.}}$; M_{Π} – початкова маса продукту, кг; $M_{\text{в}}$ – маса видаленої вологи, кг; N – витрати енергії на проведення процесу, Дж.

Було використано певний діапазон експериментальних даних (табл.3.1), у межах яких відбувався процес дослідження механодифузійного ефекту.

Таблиця 3.1– Діапазон експериментальних даних використаних в процесі досліджень

Тип сировини	Потужність магнетрона $N_{\text{м}}, \text{Вт}$	Витрати енергії $N, \text{кДж}$	Час обробки продукту $\tau, \text{с}$	Температура дубової щепи $T, ^\circ\text{C}$
Дубова щепка	250	15... 34	15...60	80...107

Зміна вологовмісту дубової щепи (рис. 3.1) кращим чином відбувається при обробці у електромагнітному полі протягом 15 секунд, ще пов'язано з тим, що ефект спостерігається вже на 8-12 секунді обробки, після чого волога, яка була вилучена механодифузійним ефектом на поверхню продукту, створює екран для електромагнітного поля, поглинаючи його енергії і перешкоджаючи потраплянню його у глибину продукту.

Вивчається вплив часу обробки дубової щепи на зміну вологовмісту дубової щепи.

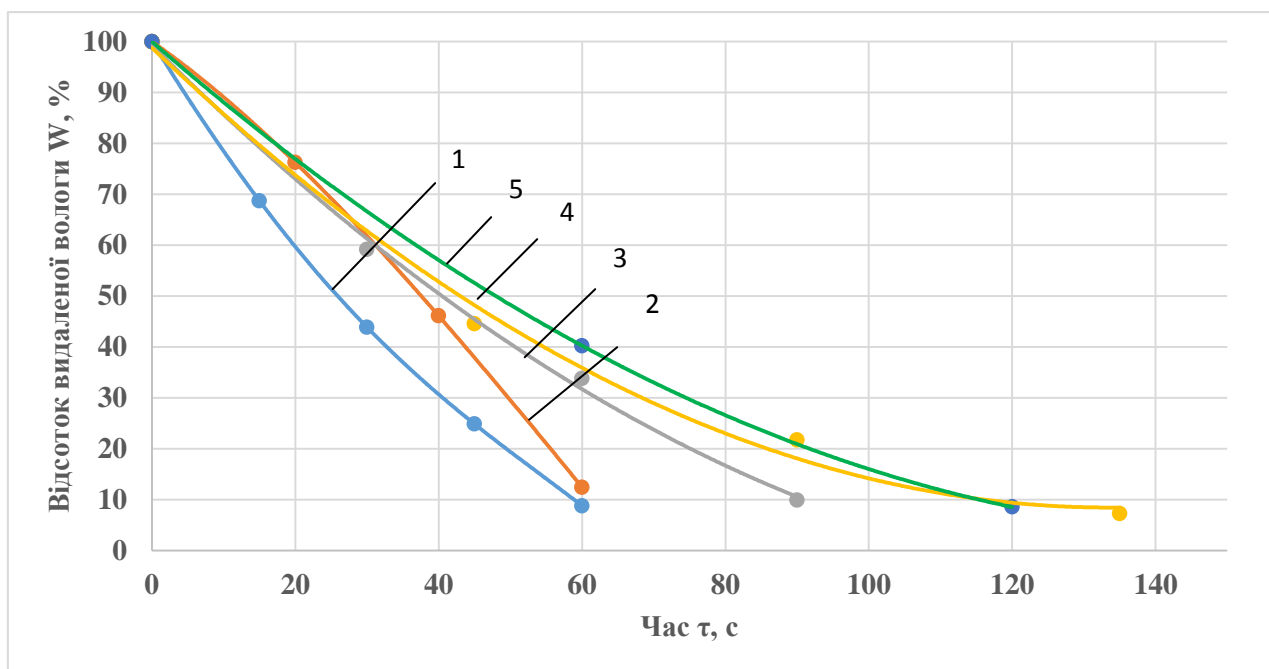


Рис. 3.1 – Вплив часу дії електромагнітного поля на зміну вологовмісту.

де, 1 – обробка у електромагнітному полі протягом 15 с.; 2 – обробка у електромагнітному полі протягом 20 с.; 3 – обробка у електромагнітному полі протягом 30 с.; 4 – обробка у електромагнітному полі протягом 45 с.; 5 – обробка у електромагнітному полі протягом 60 с.

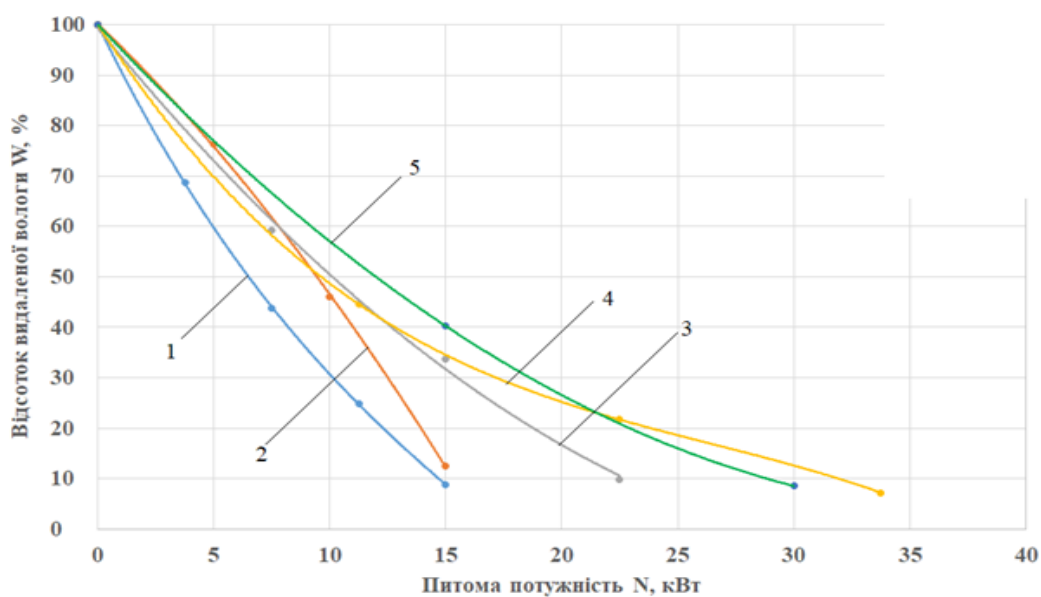


Рис. 3.2 – Витрати енергії на процес видалення вологи.

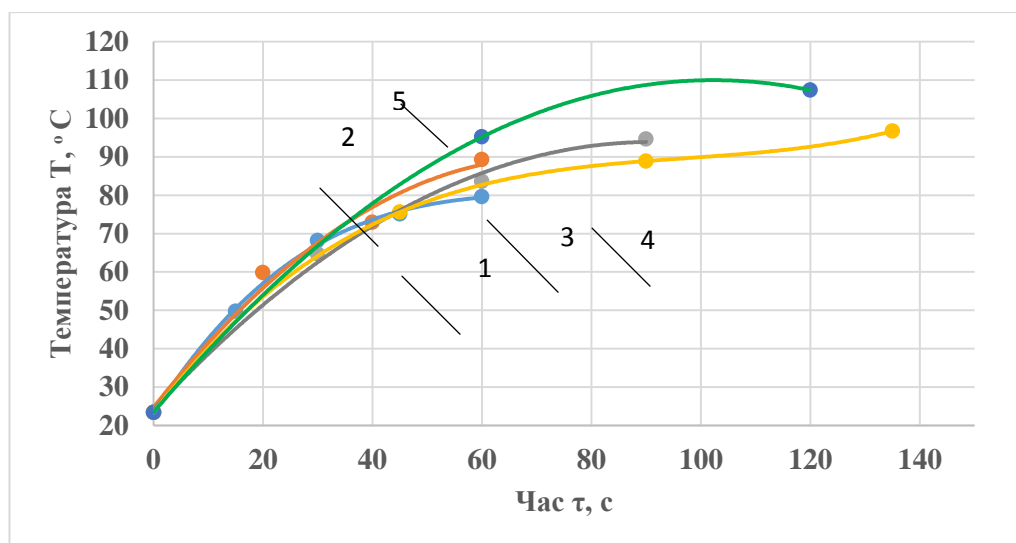
1 – обробка у електромагнітному полі протягом 15 с.; 2 – обробка у електромагнітному полі протягом 20 с.; 3 – обробка у електромагнітному полі протягом 30 с.; 4 – обробка у електромагнітному полі протягом 45 с.; 5 – обробка у електромагнітному полі протягом 60 с.

Тобто достатньою є обробка протягом 15-20 секунд, більш тривала дія поля буде неефективно витратити енергетичні ресурси.

Виходячи із впливу часу дії електромагнітного поля на зміну вологості було розраховано витрати енергії витрачені на процес вилучення вологи.

Енергетичні витрати на процес видалення вологи (Рис. 3.2) говорять про те, що обробка більш тривалий час витрачає у 1.5 – 2 рази більше енергії ніж необхідно для спонукання ефекту механодифузії.

Крім того, температура продукту (рис. 3.3) при більш тривалому часі дії магнетрона зростає, що може негативно вплинути на якість отриманої продукції.

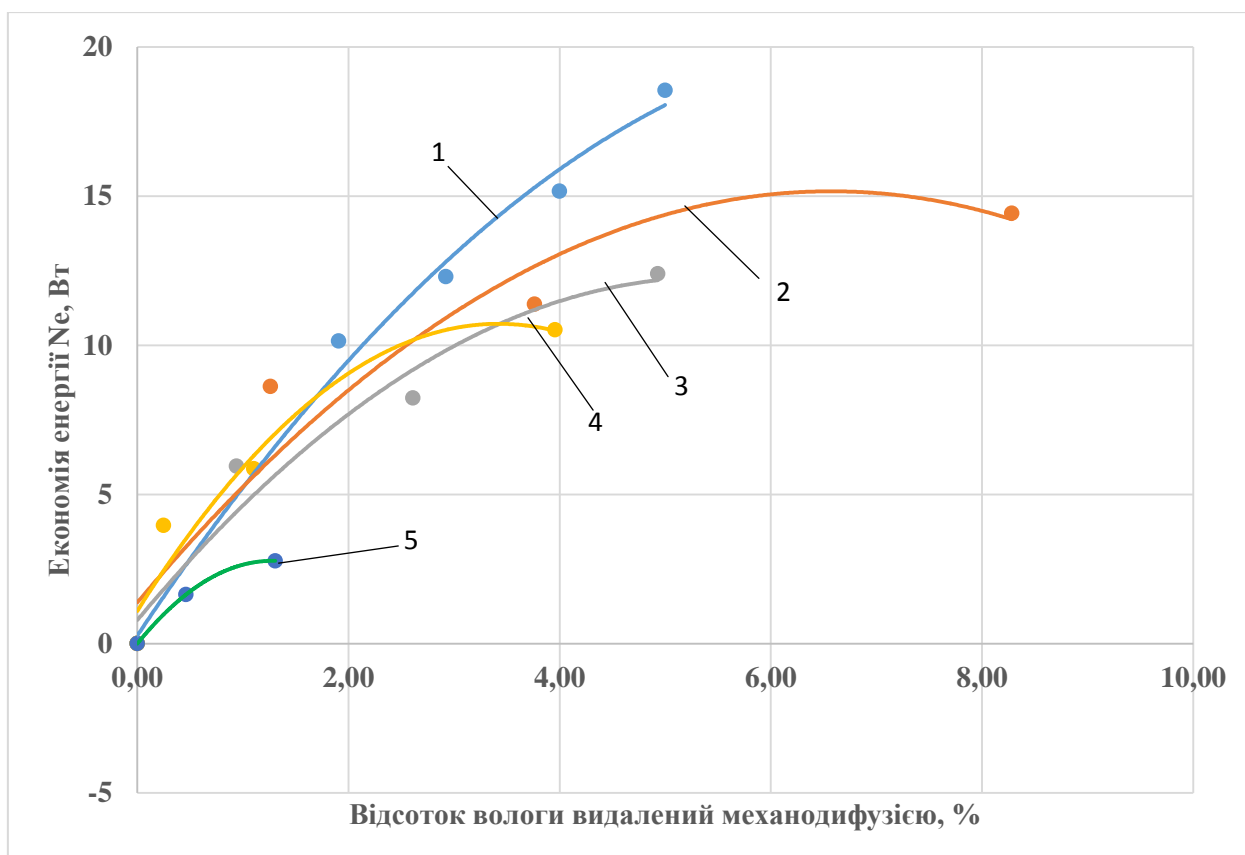


1 – обробка у електромагнітному полі протягом 15 с.; 2 – обробка у електромагнітному полі протягом 20 с.; 3 – обробка у електромагнітному полі протягом 30 с.; 4 – обробка у електромагнітному полі протягом 45 с.; 5 – обробка у електромагнітному полі протягом 60 с.

Рис. 3.3 – Термограма продукту.

За рахунок ефекту механодифузії окрім вилучення цільових компонентів відбувається вилучення вологи у рідкому, а не газоподібному

стані, тобто волога вилучається без витрат енергії на перетворення у газоподібний стан.



1 – обробка у електромагнітному полі протягом 15 с.; 2 – обробка у електромагнітному полі протягом 20 с.; 3 – обробка у електромагнітному полі протягом 30 с.; 4 – обробка у електромагнітному полі протягом 45 с.; 5 – обробка у електромагнітному полі протягом 60 с.

Рис. 3.4 – Економія енергії за рахунок ефекту механо дифузії.

Найбільший ефект вологи вилученої за рахунок ефекту механо дифузії (рис. 3.4) відбувається при обробці продукту у 15-20 секунд, в результаті чого 5-8% видаленої вологи не споживає енергетичних ресурсів.

Механо дифузійний ефект – це науковий прорив у сфері технологій екстрагування і не тільки. За допомогою цього ефекту стає можливим вилучення із сировини цільових компонентів які не розчинюються безпечними розчинниками, такими як вода та спирт.

Інноваційне рішення зменшення тривалості масообмінних процесів дозволяє скоротити час багатьох технологічних процесів у $10^2 \dots 10^4$ рази.

Що дозволить не тільки отримувати більш якісну продукцію, а й зменшити площу складських приміщень, у яких протягом багатьох років зберігаються такі продукти як коньякові вироби.

Крім того стає можливим отримувати суттєво нову продукцію, якої ще немає на світовому ринку. А також покращити якість та біологічну та хімічну чистоту існуючої продукції.

Розвиток технологій екстрагування на основі механодифузійного ефекту буде великим кроком в промисловій сфері. Використання інноваційної технології дозволить суттєво скоротити обсяг споживаної енергії, зменшити час процесу, підвищити якість отриманої продукції та дозволить наповнити світовий ринок суттєво новими якісними продуктами.

3.3 Дослідження кінетики сушіння соняшника в електромагнітному полі

Було використано певний діапазон експериментальних даних (табл. 3.2), у межах яких відбувався процес дослідження інноваційного методу сушіння.

Таблиця 3.2– Діапазон експериментальних даних використаних в процесі досліджень.

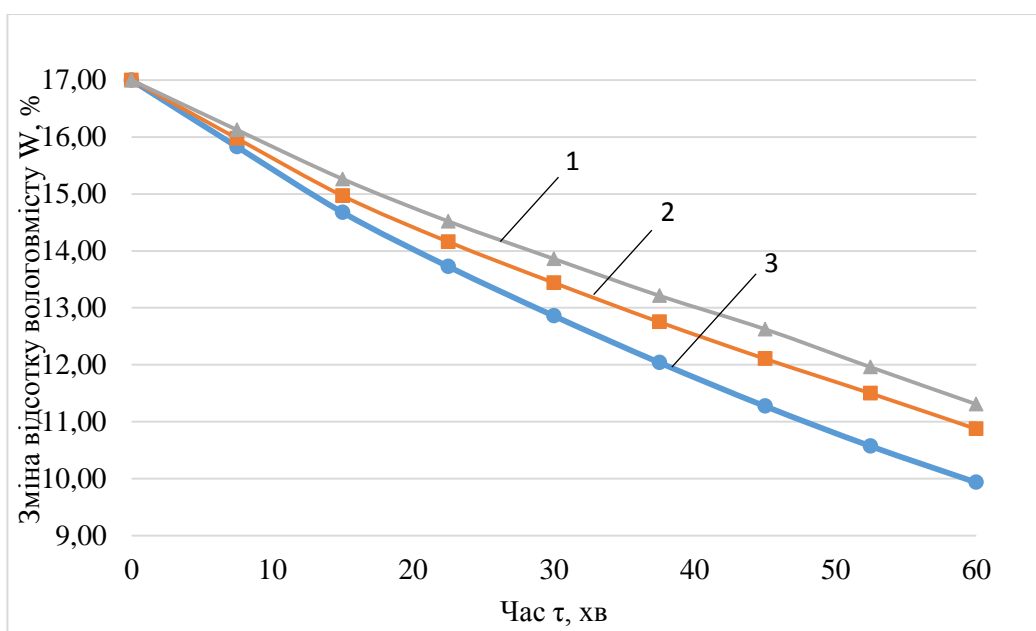
Вид сировини	Питома потужність НВЧ випромінення N, кВт/м ²	Завантаження стрічки g, кг/м ²	Тривалість процесу τ, хв	Температура сушіння T, °C
Соняшник	7,5...15	3,96...7,92	30...60	34...39

На стрічці розміщувалось 8 касет із насінням. Маса порожніх касет та зерна визначалась електронними вагами ТВЕ-0.21-0.01. Температури продукту вимірювались дистанційно датчиками типу Dallas DS 18b20.

В досліджах фіксувалось тривалість процесу, температура та маса сировини під час обробки. Питома маса матеріалу (g) показує масу (m)

продукту на одиницю поверхні обробки (F), а питома потужність електромагнітну енергію, котра витрачається на 1 м^2 оброблюємої поверхні.

Вивчався вплив потужності підведеної енергії на середню швидкість процесу сушіння. Досліди проводились при швидкості руху стрічки транспортера $0,025 \text{ м/с}$, питомого завантаження 3.96 кг/м^2 на одному НВЧ – модулі. Кількість питомої вологи визначали по початковій і кінцевій вологості соняшника. Швидкість сушіння розраховувалась по кількості питомої вологи і часу, на протязі якого на соняшник впливало НВЧ-випромінювання (рис.3.5).



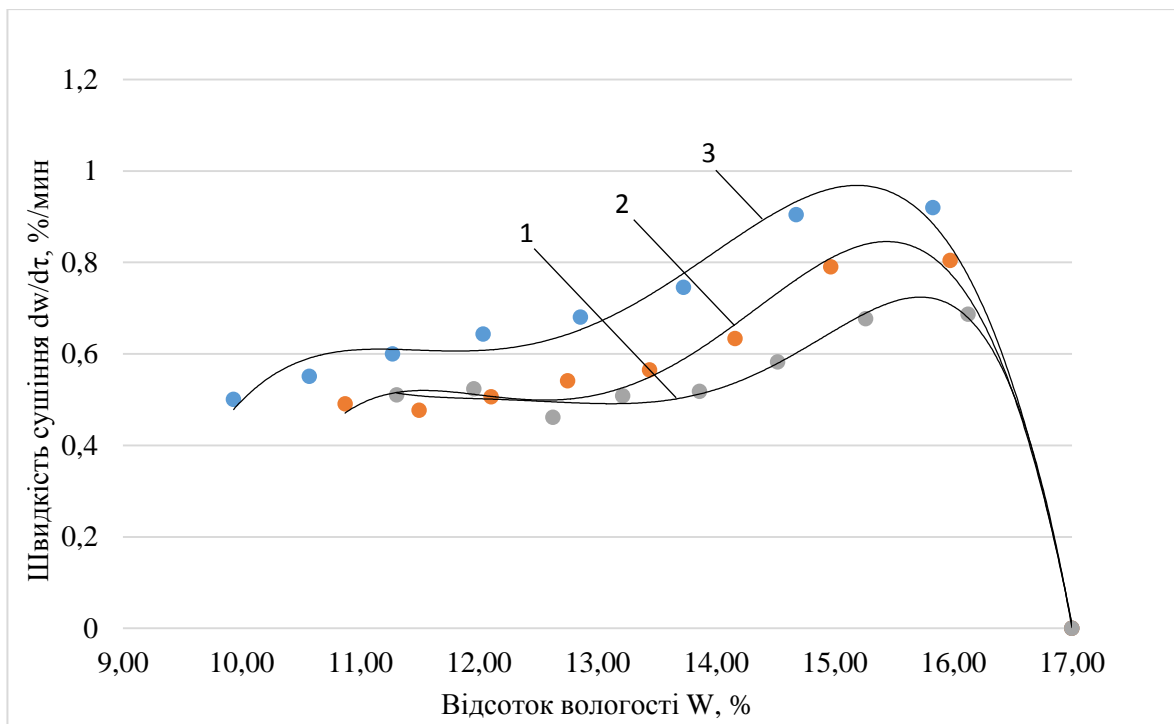
де, 1 – $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 11,25 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 15 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.5 – Вплив питомої потужності на кінетику сушіння.

При збільшенні питомої потужності у 1,5 рази (рис.3.2) час процесу сушіння зменшується пропорційно. Час процесу сушіння до відносної вологості продукту у 6-7% займає 30...60 хвилин. Із даних (рис.3.5) визначались значення швидкості сушіння (рис.3.6).

Видно (рис. 3.6), що при збільшенні кількості підведеної енергії у 1,5 рази, швидкість сушіння зростає на 50%. Швидкість сушіння змінюється в межах $1 \dots 2,15 \text{ \% / хв}$. Продуктивність установки в режимі завантаження 3.96 кг/м^2 при швидкості $0,025 \text{ м/с}$ склала 8 кг/год сухого зерна вологістю 6,5%. При цьому, при підвищенні потужності у 1,5 рази збільшення температури

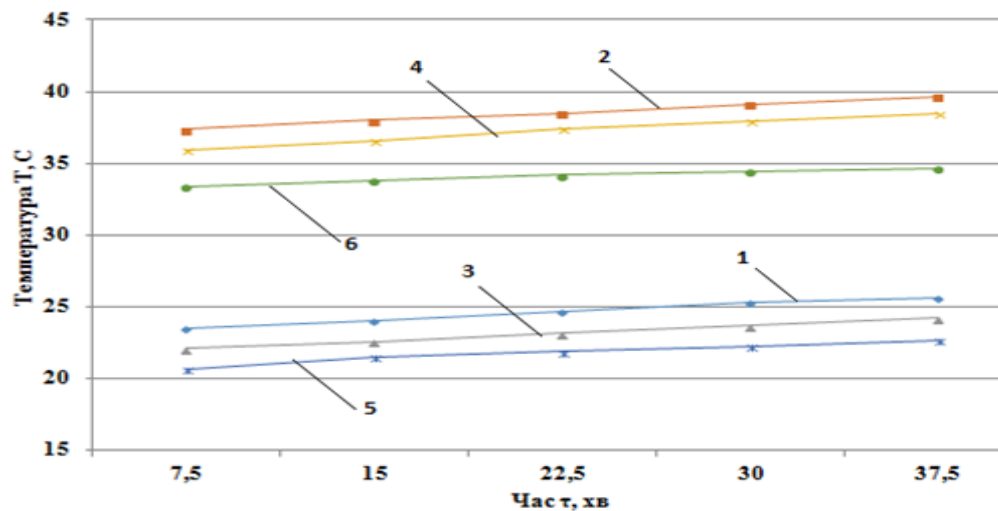
насіння соняшника на виході не перевищує 43°C (рис. 3.7), що є досить важливим у процесі сушіння харчових продуктів.



1 – $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 11,25 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 15 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.6 – Вплив питомої потужності на швидкість сушіння.

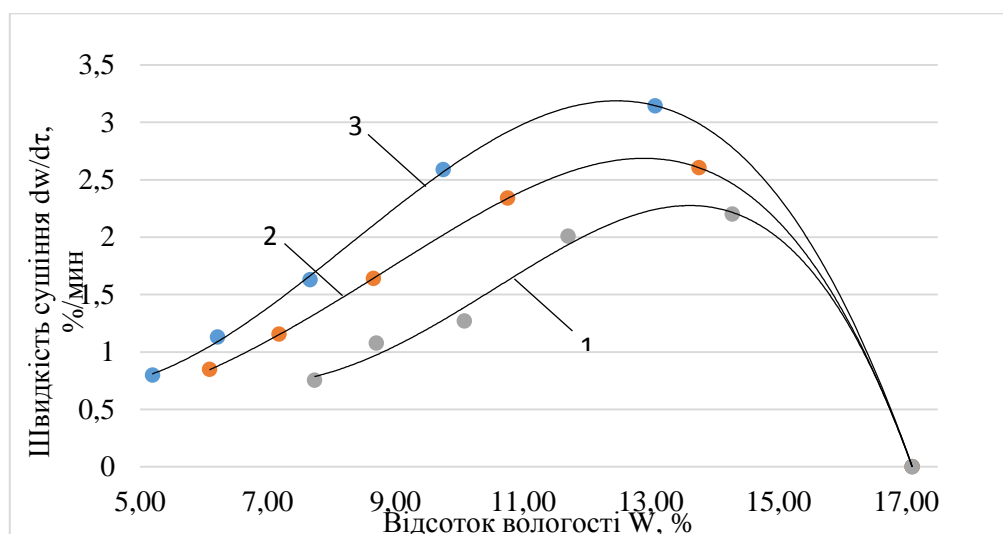
Збільшення НВЧ - модулів підвищує тривалість перебування продукту під дією випромінювання. Це дозволяє використовувати більш високу швидкість руху продукту, що, в свою чергу, веде до підвищення продуктивності установки. Досліди (рис.3.8) проводились з використанням одного, двох та трьох НВЧ- модулів при швидкості руху продукту $0,025 \text{ м/с}$, завантаження $3,96 \text{ кг/м}^2$ і підведеною питомою потужністю кожного модуля $9,17 \text{ кВт/м}^2$.



- 1 – температура продукту на вході до сушарки при $N = 15 \text{ кВт/м}^2$;
- 2 - температура продукту на виході із сушарки при $N = 15 \text{ кВт/м}^2$;
- 3 – температура продукту на вході до сушарки при $N = 11,25 \text{ кВт/м}^2$;
- 4 - температура продукту на виході із сушарки при $N = 11,25 \text{ кВт/м}^2$;
- 5 – температура продукту на вході до сушарки при $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$;
- 6 - температура продукту на виході із сушарки при $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.7 – Вплив питомої потужності на температуру продукту.

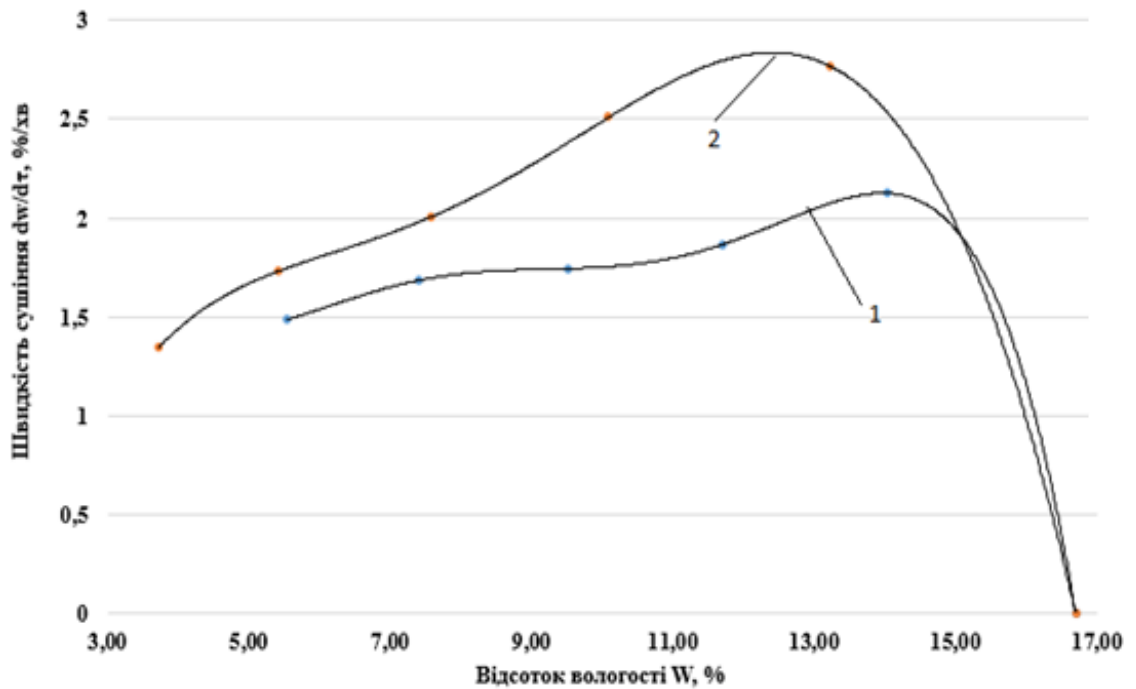
З збільшенням кількості модулів в 3 рази пропорційно збільшує швидкість сушіння (рис.3.8). Розташування модулів є самостійною науковою задачею, котра повинна вирішувати протиріччя між проблемами збільшення швидкості сушіння і регламентаціями по перегріву продукту.



- 1 – $N = 15 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 30 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 45 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.8 – Вплив кількості НВЧ – модулів на швидкість сушіння.

Питоме завантаження регулюється шлюзом бункера і залежить від товщини шару продукту. Досліди проводились при значеннях питомого завантаження 3.96...7.92 кг/м², і швидкості руху стрічки транспортера 0,025 м/с. Питома електрична потужність, яка підводиться до продукту, складала 11,25 кВт/м².



$$1 - g = 3,96 \text{ кг/м}^2; 2 - g = 7,92 \text{ кг/м}^2.$$

Рис.3.9 – Вплив питомого завантаження на швидкість сушіння.

При більшій товщині шару (рис.3.9) енергія діє не на всю масу продукту на стрічці, що приводить до зниження інтенсивності процесу сушіння, а й верхні шари продукту створюють опір переносу вологи з нижніх шарів в дифузійне середовище.

3.4 Дослідження кінетики сушіння соняшника в ІЧ сушарці

Дослідження проводились на стенді (рис. 2.2), який складається із завантажувального бункера (1), стрічкового конвеєра (2), трьох модулів ІЧ-обробки сировини (3). Модуль ІЧ - обробки вміщує два кварцових ІЧ-випромінювачів потужністю 550 Вт, и опором 50 Ом кожний, розташованих

на відстані 13 см від поверхні стрічки транспортера. Потужність випромінювачів регулюється тиристорними регуляторами напруги, контролюються електронним цифровим мультиметром UT202. Вологість насіння соняшнику визначається висушуванням проб до постійної маси, проби відбирались до и після кожного ІЧ- модуля [45].

Стрічка приводиться до руху електродвигуном OrientalMotor 6- 90 W, кількість обертів в котрому регулюється потенціометром. Напруга контролюється вольтметром ТЛ – 4М. Двигун забезпечує як прямий рух стрічки, так і реверсивний.

Бункер загрузки забезпечений шлюзом, котрий регулює товщину шару продукту на стрічці в межах 3...10 мм не залежно від швидкості її руху.

Таблиця 3.3 – Діапазон дослідження процесу ІЧ - сушки.

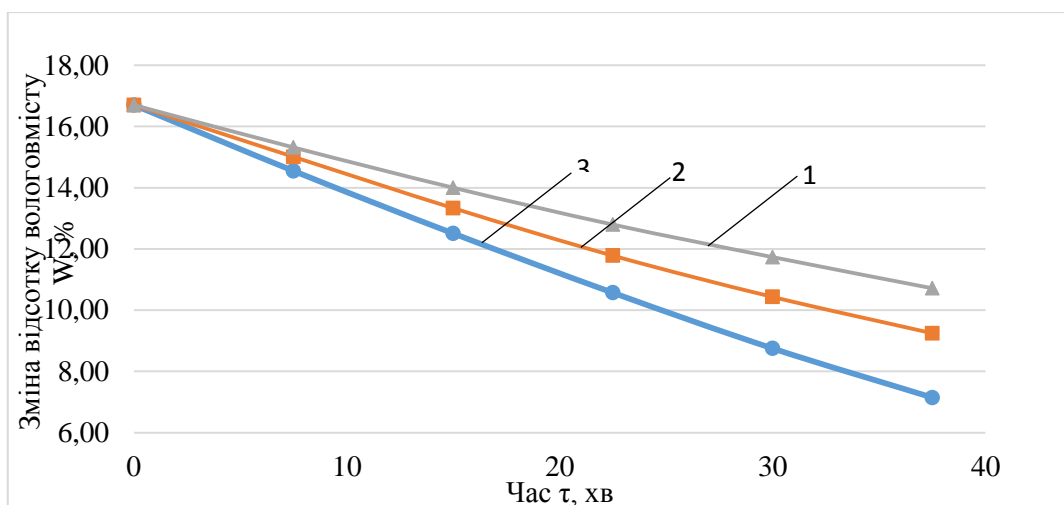
Сировина	Питома потужність ІЧ, кВт/м ²	Температура, T, °C	Завантаження, g, кг/м ²	Тривалість процесу τ, хв
Насіння соняшнику	7,33...11	33...43	3.96...7.92	30...60

На стрічці розміщувалось 8-10 касет із зернами соняшника. Маса порожніх касет та зерна визначалась електронними вагами ТВЕ-0,21-0,01. Температури продукту вимірювались дистанційно датчиками типу Dallas DS 18b20. Зміна маси зерен в касеті визначала масу вилученої вологи.

В дослідах фіксувалось тривалість процесу, температура и маса соняшника в час обробки. Питома маса матеріалу (g) показує масу (m) продукту на одиницю поверхні обробки (F), а питома потужність - ІЧ-енергію, котра витрачається на 1 м² оброблюємої поверхні [45].

Вивчався вплив потужності підведеної енергії на середню швидкість процесу сушіння. Досліди проводились при швидкості руху стрічки транспортера 0,025 м/с, питомого завантаження 3.96 кг/м² на одному ІЧ-модулі. Кількість питомої вологи визначали по початковій і кінцевій вологості соняшника. Швидкість сушіння розраховувалась по кількості

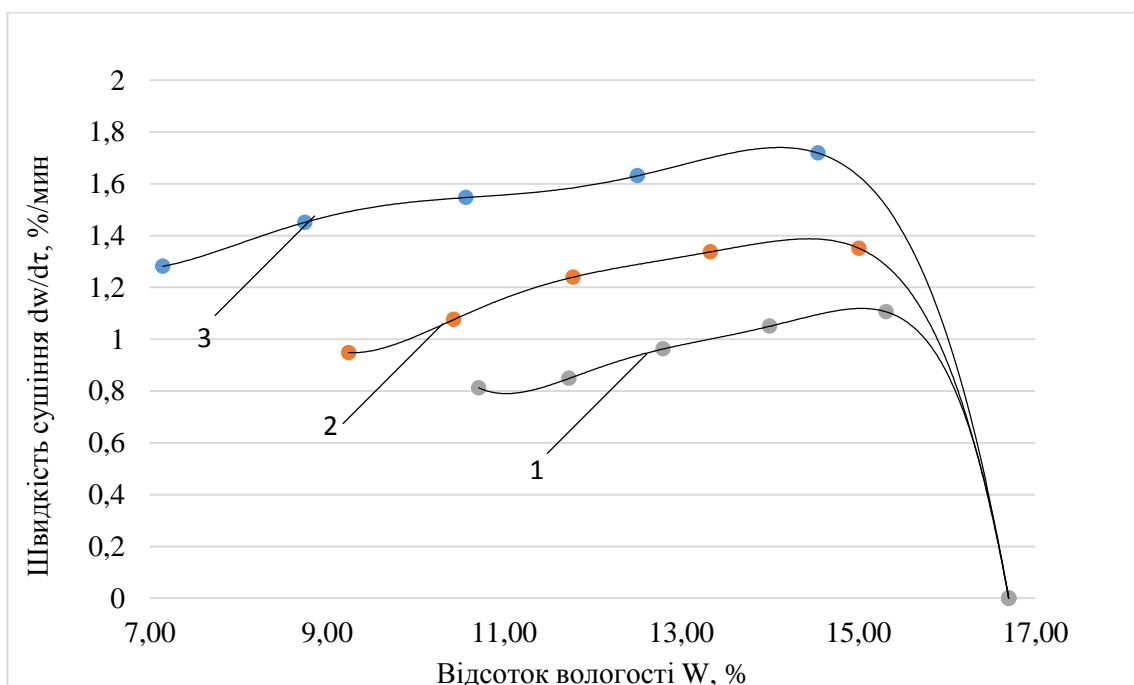
питомої вологи і часу, на протязі якого на соняшник впливало ІЧ-випромінювання.



1 – $N = 7,33 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 9,17 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 11 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.10. – Вплив питомої потужності на кінетику сушіння

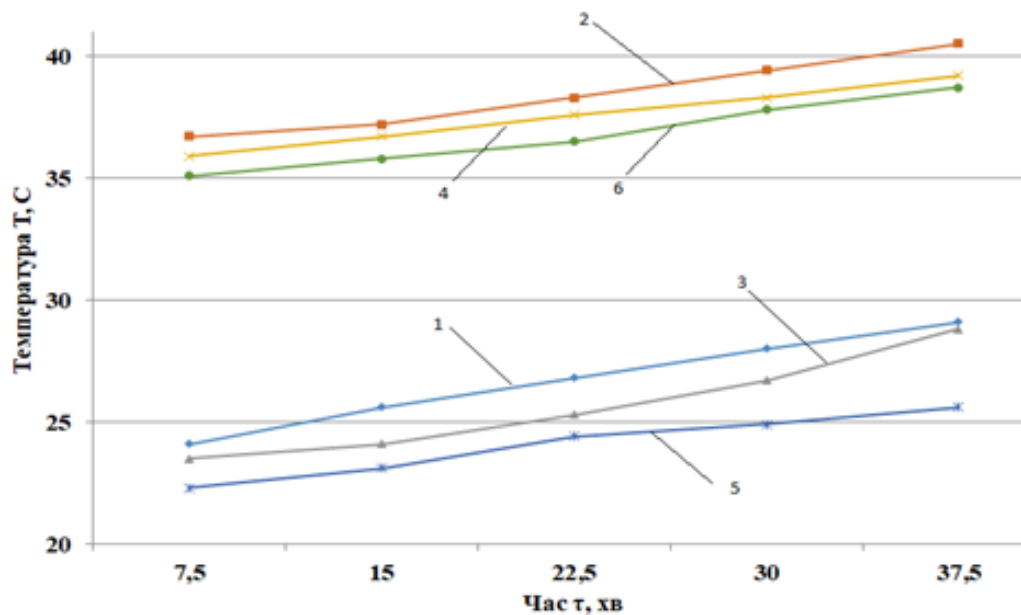
При збільшенні питомої потужності у 1,5 рази (рис.3.10) час процесу сушіння зменшується пропорційно. Час процесу сушіння до відносної вологості продукту у 6-7% займає 30...60 хвилин. Із даних (рис.3.10) визначались значення швидкості сушіння (рис.3.11).



1 – $N = 7,33 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 9,17 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 11 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.11 – Вплив питомої потужності на швидкість сушіння

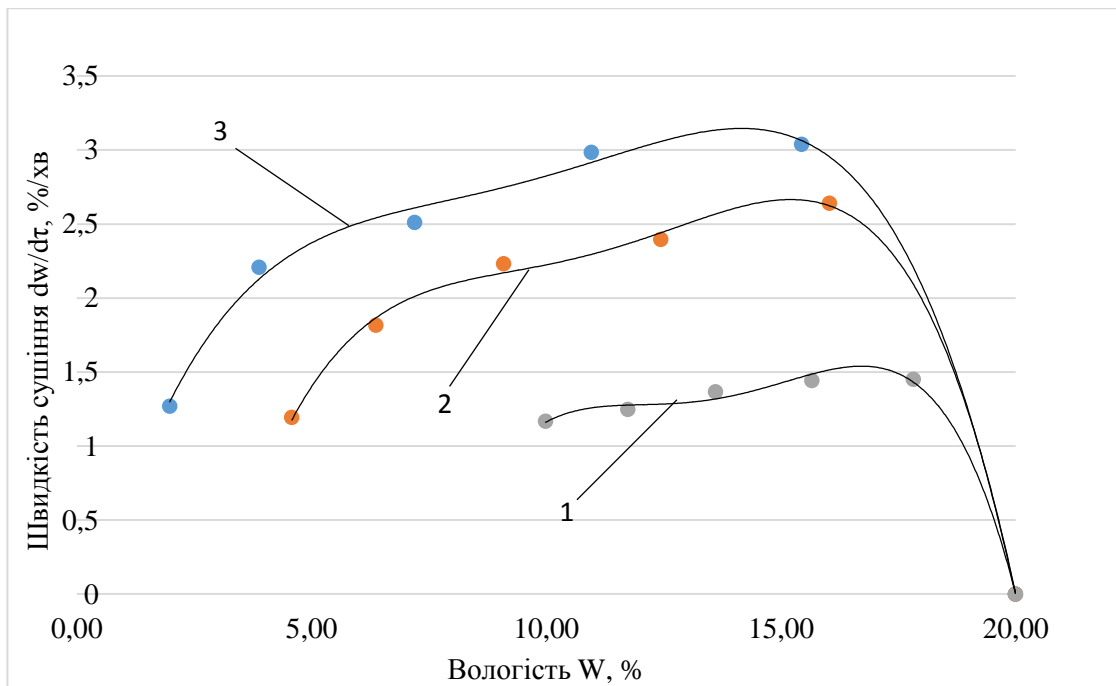
Видно (рис. 3.11), що при збільшенні кількості підведеної енергії у 1,5 рази, швидкість сушіння зростає на 50%. Швидкість сушіння змінюється в межах 1...2,15 %/хв. Продуктивність установки в режимі завантаження 3.96 кг/м² при швидкості 0,025 м/с склала 8 кг/год сухого зерна вологістю 6,5%. При цьому, при підвищенні потужності у 1,5 рази збільшення температури насіння соняшника на виході не перевищує 43 °С (рис. 3.12), що є досить важливим у процесі сушіння харчових продуктів.



- 1 – температура продукту на вході до сушарки при N – 11 кВт/м²;
- 2 - температура продукту на виході із сушарки при N – 11 кВт/м²;
- 3 – температура продукту на вході до сушарки при N – 9,17 кВт/м²;
- 4 - температура продукту на виході із сушарки при N – 9,17 кВт/м²;
- 5 – температура продукту на вході до сушарки при N – 7,33 кВт/м²;
- 6 - температура продукту на виході із сушарки при N – 7,33 кВт/м²;

Рис. 3.12 – Вплив питомої потужності на температуру продукту.

Збільшення ІЧ- модулів підвищує тривалість перебування продукту під дією випромінювання. Це дозволяє використовувати більш високу швидкість руху продукту, що, в свою чергу, веде до підвищення продуктивності установки. Досліди (рис.3.13) проводились з використанням одного, двох та трьох ІЧ- модулів при швидкості руху продукту 0,025 м/с, завантаження 3.96 кг/м² і підведеною питомою потужністю кожного модуля 9,17 кВт/м².



1 – $N = 9,17 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 18,34 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 27,51 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.13 – вплив кількості ІЧ-модулів на швидкість сушіння.

З збільшенням кількості модулів в 3 рази пропорційно збільшує швидкість сушіння (рис.3.13). Розташування модулів є самостійною науковою задачею, котра повинна вирішувати протиріччя між проблемами збільшення швидкості сушіння і регламентаціями по перегріву продукту.

Питоме завантаження регулюється шлюзом бункера і залежить від товщини шару продукту. Досліди проводились при значеннях питомого завантаження $3,96 \dots 7,92 \text{ кг/м}^2$, і швидкості руху стрічки транспортера $0,025 \text{ м/с}$. Питома електрична потужність, яка підводиться до продукту, складала $9,17 \text{ кВт/м}^2$.

3.5 Випробовування стрічкової сушарки з використанням комбінованого ІЧ та НВЧ підводу енергії

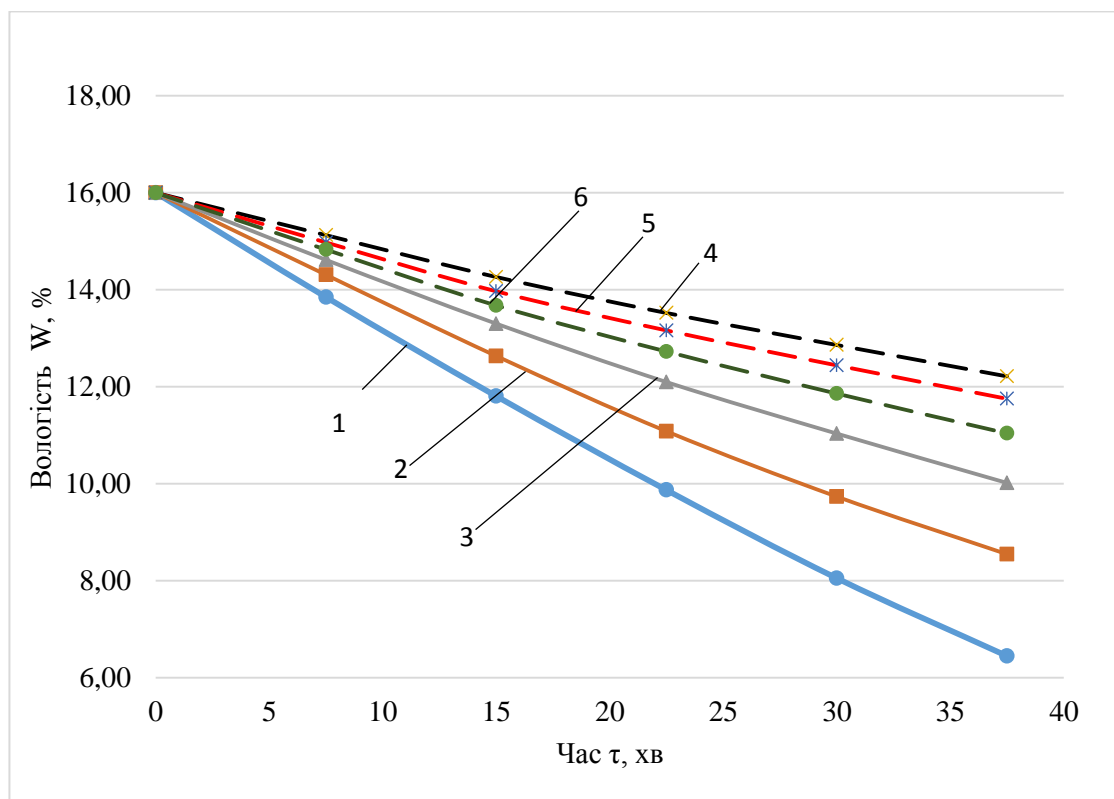
Вивчався вплив потужності підведеної енергії на середню швидкість процесу сушіння. Досліди проводились при швидкості руху стрічки транспортера $0,025 \text{ м/с}$, питомого завантаження $3,96 \text{ кг/м}^2$. Кількість видаленої вологи визначали по початковій і кінцевій вологості соняшника.

Швидкість сушіння розраховувалась за зміною відсотку вологості за одиницю часу (28), на протязі якого на соняшник впливало електромагнітне випромінювання (рис.3.14).

$$\omega = \frac{M_B^{\Pi} - M_B^K}{M_{\text{пр}}} \cdot 100\% \quad (28)$$

де, ω – відсоток поточного стану вологи, M_B^{Π} – маса вологи початкова, M_B^K – маса вологи кінцева, $M_{\text{пр}}$ – маса продукту.

Зважування проводились з інтервалом у 7,5 хвилин, після чого за формулою (28) розраховувався поточний стан вологості продукту.



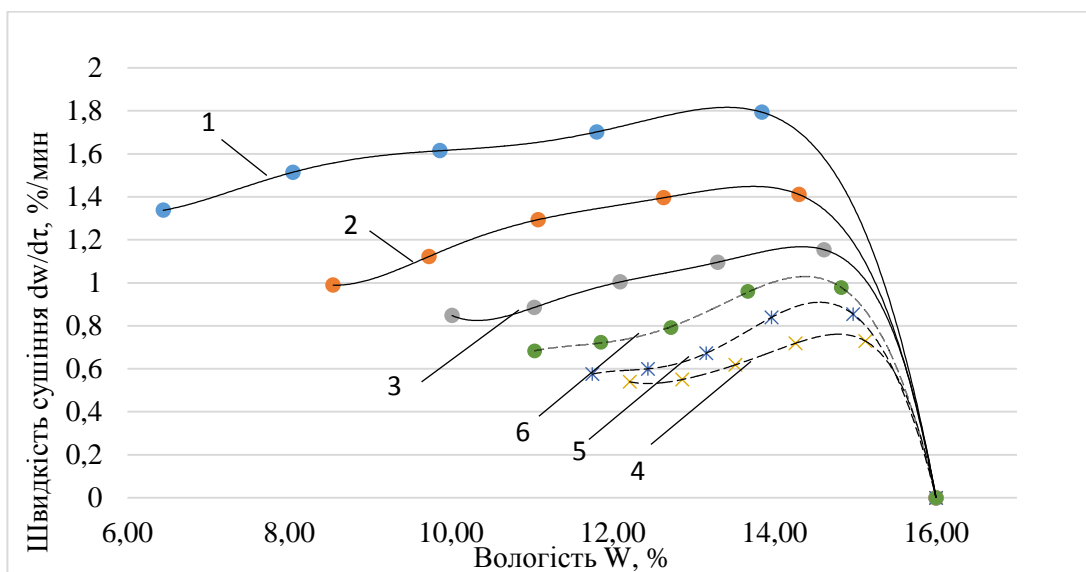
1 – $N = 11 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 9,17 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 7,33 \text{ кВт/м}^2$; 4 – $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$; 5 – $N = 11,25 \text{ кВт/м}^2$; 6 – $N = 15 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.14 – Вплив питомої потужності та типу підведеної енергії на кінетику соняшника

При сушіння соняшника (рис. 3.14), тип підведеної енергії значно впливає на процес сушіння, підведення потужності у 11 кВт/м^2 при ІЧ-випромінненні у 2,5 рази швидше видаляє вологу ніж при використанні НВЧ-випроміннення з потужністю у 11.25 кВт/м^2 . Крім того, при тій самій

потужності ІЧ-випромінення висушує у 1.7 рази швидше ніж при потужності зменшеній у 1.5 рази.

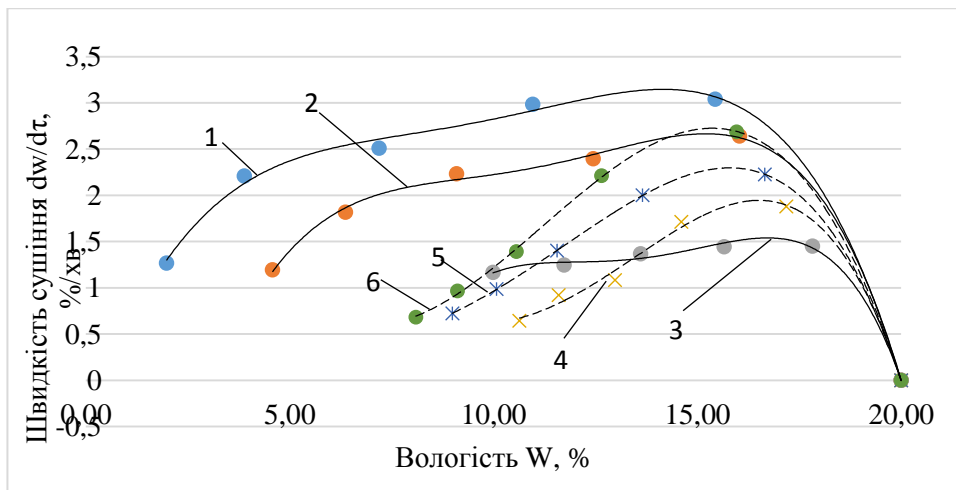
Тип підведеної енергії при сушіння соняшника (рис. 3.15) значною мірою вплинув на швидкість сушіння. При підводі ІЧ-випромінення швидкість сушіння у 1.8 рази більша ніж при використанні НВЧ-випромінення, і становить 1.35...1.8 %/хв та 0.68...1%/хв відповідно. Також, при зменшені потужності підведеної енергії при ІЧ-випроміненні у 1.5 рази, швидкість сушіння зменшиться у 1.3. рази і становитиме 0.83...1.18 %/хв.



1 – $N = 11 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 9,17 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 7,33 \text{ кВт/м}^2$; 4 – $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$; 5 – $N = 11,25 \text{ кВт/м}^2$; 6 – $N = 15 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.15 – Вплив типу підведеної енергії та питомої потужності на швидкість сушіння соняшника

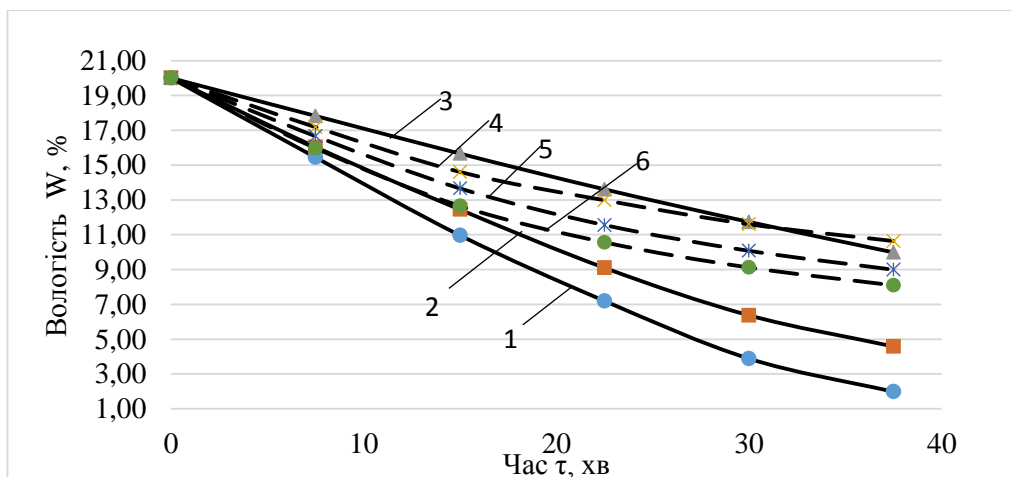
Вплив використання типу підведеної енергії та кількості модулів на швидкість сушіння соняшника (рис. 3.16) досить суттєвий. ІЧ-випромінювач енергії при збільшенні їх кількості значною мірою вплинули на швидкість сушіння при одному модулі швидкість сушіння 1.2...1.51 %/хв, а використання трьох модулів покращує результат у 2 рази і швидкість сушіння зростає – 1.3...3.2 %/хв. Збільшення модулів НВЧ-генераторів енергії вплинуло на швидкість сушіння у 1.3 рази, швидкість при використанні одного модуля коливалася в межах 0.6...1.95 %/хв, а при трьох модулях – 0.65...2.7 %/хв.



1 – $N = 27,51 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 18,34 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 9,17 \text{ кВт/м}^2$; 4 – $N = 15 \text{ кВт/м}^2$; 5 – $N = 30 \text{ кВт/м}^2$; 6 – $N = 45 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.16 – Вплив типу підведеної енергії та кількості джерел енергії на швидкість сушіння соняшника

Крім того, вплив на лінію сушіння соняшника (рис. 3.17) типу підведеної енергії досить великий. НВЧ-генератори енергії дали кращий результат лише порівняно з використанням одного модуля з ІЧ-випромінювачем енергії. Проте, чітко видно, що при використанні трьох модулів із ІЧ-випромінювачем енергії сушить до 6% за 25 хвилин, у той час коли трьом модулям із НВЧ-генераторами енергії знадобиться близько 60-70 хвилин.



1 – $N = 27,51 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 18,34 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 9,17 \text{ кВт/м}^2$; 4 – $N = 15 \text{ кВт/м}^2$; 5 – $N = 30 \text{ кВт/м}^2$; 6 – $N = 45 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.17 – Вплив типу підведеної енергії та кількості джерел енергії на лінію сушіння соняшника.

В ході експериментальних досліджень впливу НВЧ-генераторів енергії та ІЧ-випромінювачів на процес сушіння насіння соняшнику було отримано лінії швидкості та лінії сушіння, які наведені з порівнянням виду підведеної енергії та впливу питомої потужності на кожний з досліджених продуктів. Крім того було помічено, що насіння соняшнику, при ІЧ-випромінювачах енергії, проходило більш активно ніж при НВЧ-генераторах енергії при будь-якій підведеній потужності, що свідчить про те, що при сушінні насінні соняшнику краще використовувати ІЧ-випромінювачі енергії [42].

3.5 Випробовування НВЧ стрічкової сушарки

Було використано певний діапазон експериментальних даних (табл. 3.4), у межах яких відбувався процес дослідження інноваційного методу сушіння.

Таблиця 3.4 – Діапазон експериментальних даних використаних в процесі досліджень.

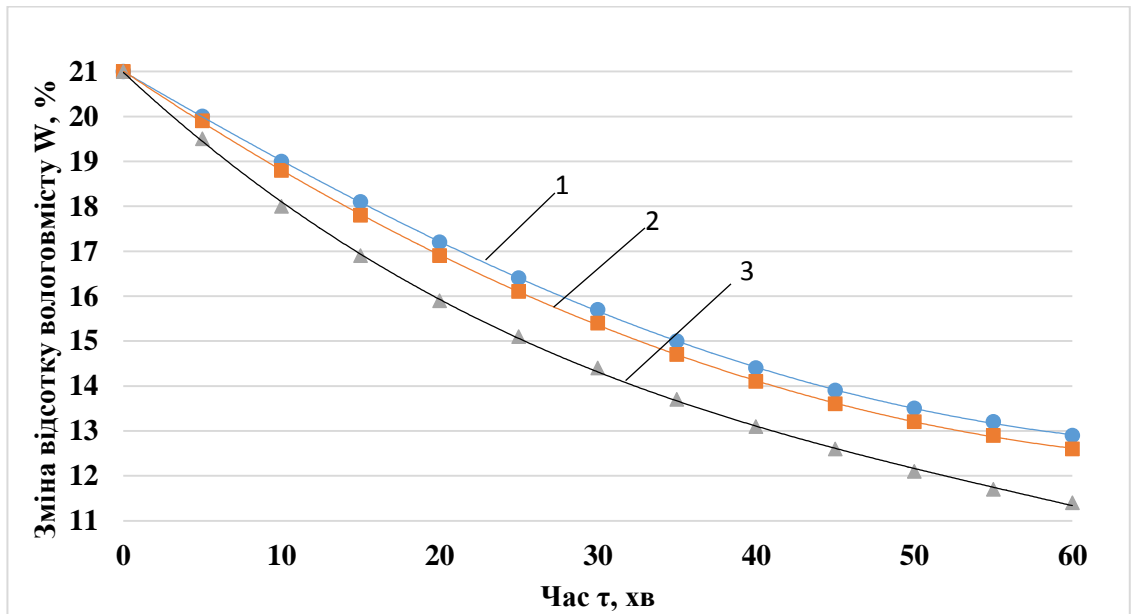
Вид сировини	Питома потужність НВЧ випромінювання N, кВт/м ²	Завантаження стрічки g, кг/м ²	Тривалість процесу τ, хв	Температура сушіння T, °C
Соняшник	7,5...15	3,96...7,92	30...60	33...41

На стрічці розміщувалось 8 касет із насінням. Маса порожніх касет та зерна визначалась електронними вагами ТВЕ-0.21-0.01. Температури продукту вимірювались дистанційно датчиками типу Dallas DS 18b20.

В досліді фіксувалось тривалість процесу, температура та маса сировини під час обробки. Питома маса матеріалу (g) показує масу (m) продукту на одиницю поверхні обробки (F), а питома потужність електромагнітну енергію, котра витрачається на 1 м² оброблюємої поверхні.

Вивчався вплив потужності підведеної енергії на середню швидкість процесу сушіння. Досліди проводились при швидкості руху стрічки транспортера 0,025 м/с, питомого завантаження 3.96 кг/м² на одному НВЧ – модулі. Кількість питомої вологи визначали по початковій і кінцевій

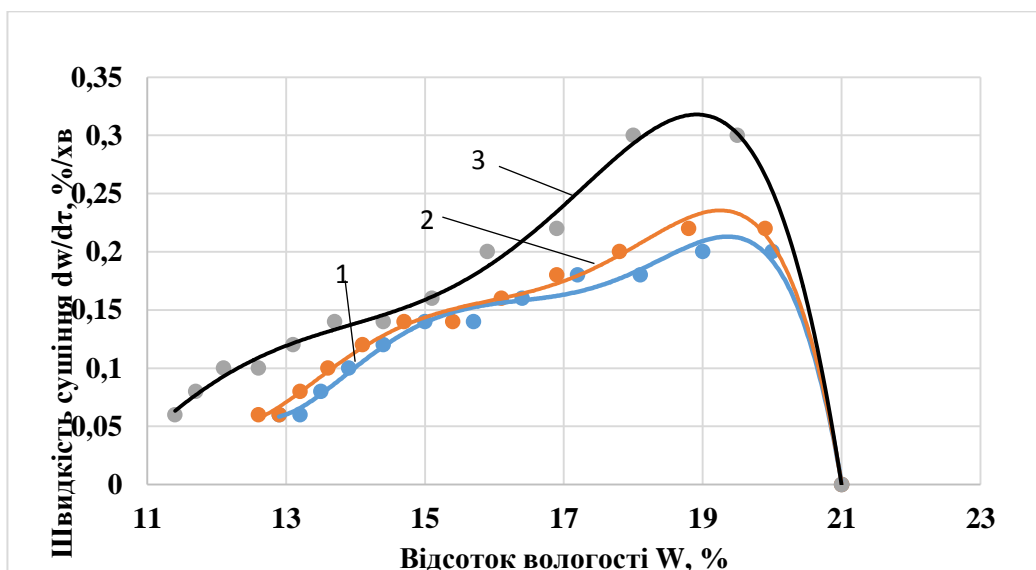
вологості соняшника. Швидкість сушіння розраховувалась по кількості питомої вологи і часу, на протязі якого на соняшник впливало НВЧ-випромінювання (рис.3.18).



1 – $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 11,25 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 15 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.18 – Вплив питомої потужності на кінетику сушіння.

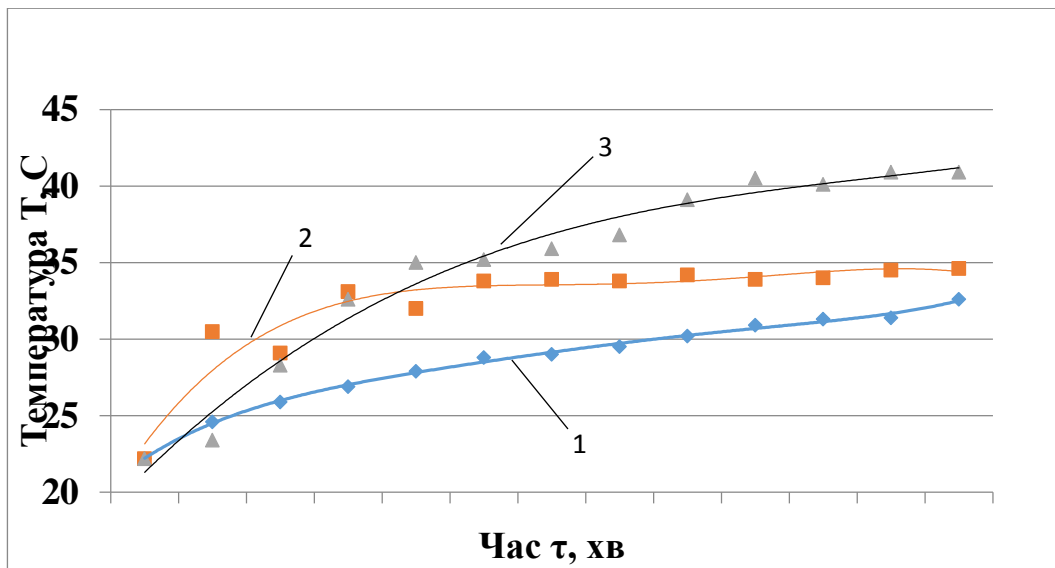
При збільшенні питомої потужності у 1,5 рази (рис.3.18) час процесу сушіння зменшується пропорційно. Час процесу сушіння до відносної вологості продукту у 6-7% займає 30...60 хвилин. Із даних (рис.3.18) визначались значення швидкості сушіння (рис.3.19).



1 – $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 11,25 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 15 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.19 – Вплив питомої потужності на швидкість сушіння.

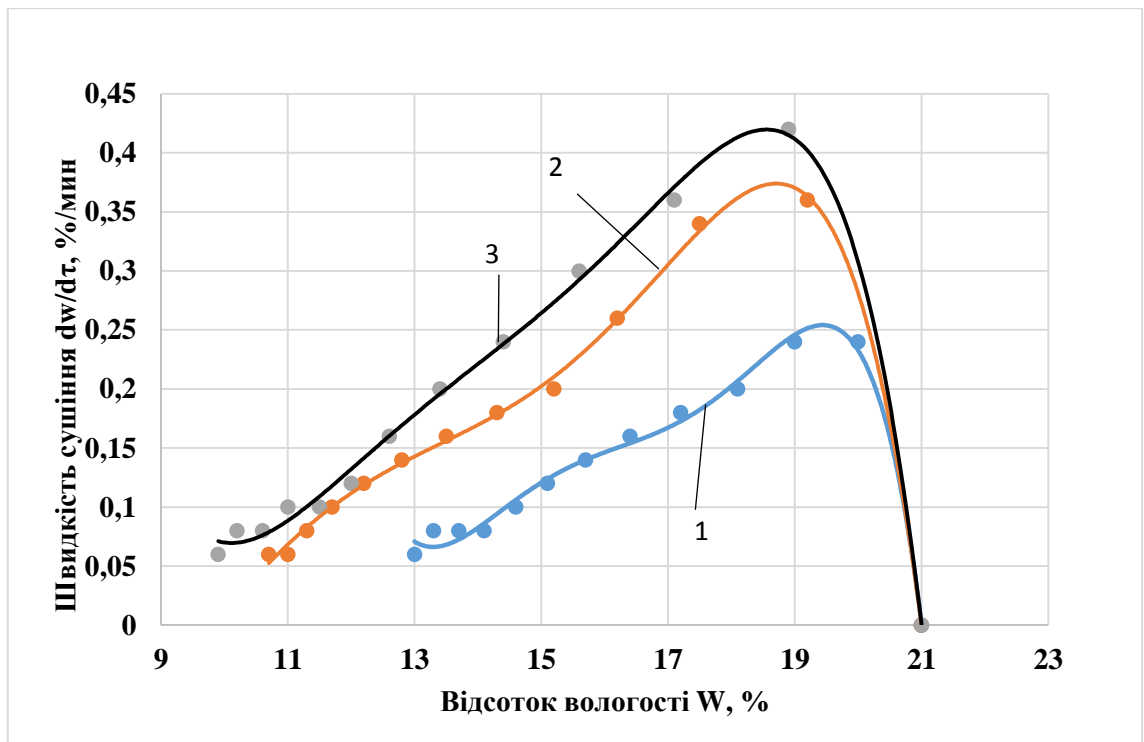
Видно (рис. 3.19), що при збільшенні кількості підведеної енергії у 1,5 рази, швидкість сушіння зростає на 50%. Швидкість сушіння змінюється в межах 1...2,15 %/хв. Продуктивність установки в режимі завантаження 3.96 кг/м² при швидкості 0,025 м/с склала 8 кг/год сухого зерна вологістю 6,5%. При цьому, при підвищенні потужності у 1,5 рази збільшення температури насіння соняшника на виході не перевищує 43 °С (рис. 3.20), що є досить важливим у процесі сушіння харчових продуктів.



1 – $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 11,25 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 15 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.20 – Вплив питомої потужності на температуру продукту.

Збільшення НВЧ - модулів підвищує тривалість перебування продукту під дією випромінювання. Це дозволяє використовувати більш високу швидкість руху продукту, що, в свою чергу, веде до підвищення продуктивності установки. Досліди (рис.3.21) проводились з використанням одного, двох та трьох НВЧ- модулів при швидкості руху продукту 0,025 м/с, завантаження 3.96 кг/м² і підведеною питомою потужністю кожного модуля 9,17 кВт/м².



1 – $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$; 2 – $N = 15 \text{ кВт/м}^2$; 3 – $N = 22,5 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 3.21 – Вплив кількості НВЧ – модулів на швидкість сушіння.

З збільшенням кількості модулів в 3 рази пропорційно збільшує швидкість сушіння (рис.3.21). Розташування модулів є самостійною науковою задачею, котра повинна вирішувати протиріччя між проблемами збільшення швидкості сушіння і регламентаціями по перегріву продукту.

Питоме завантаження регулюється шлюзом бункера і залежить від товщини шару продукту. Досліди проводились при значеннях питомого завантаження $3,96 \dots 7,92 \text{ кг/м}^2$, і швидкості руху стрічки транспортера $0,025 \text{ м/с}$. Питома електрична потужність, яка підводиться до продукту, складала $9,17 \text{ кВт/м}^2$.

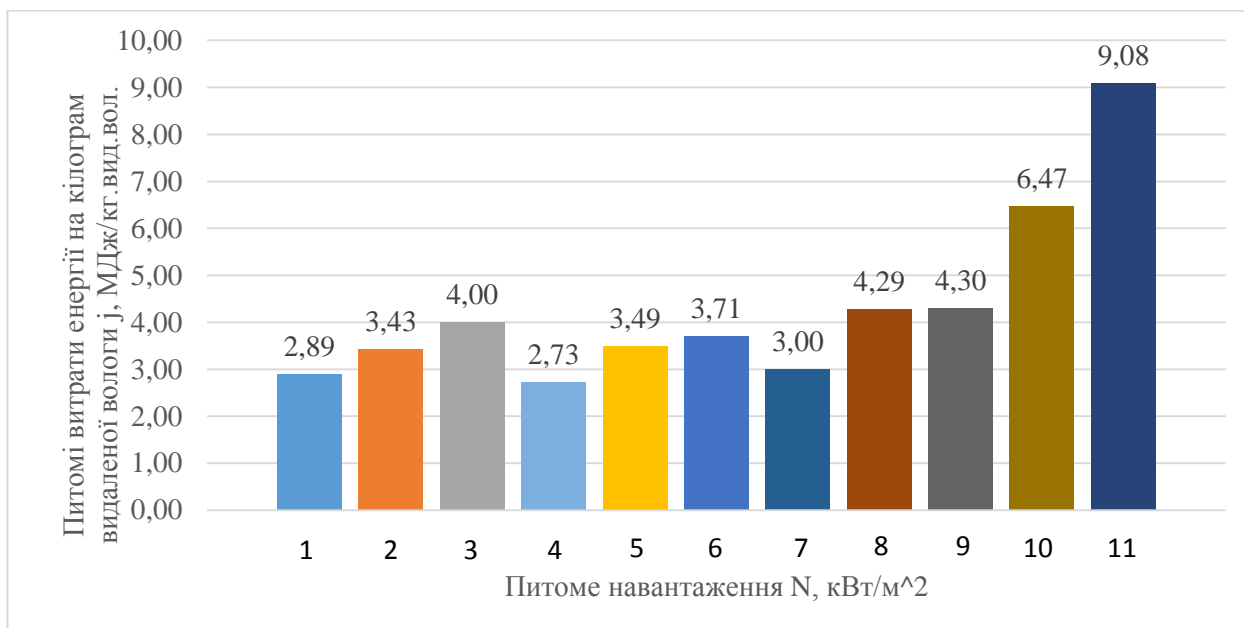
РОЗДІЛ 4.

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНОЇ СТРІЧКОВОЇ СУШАРКИ

4.1. Енергетична ефективність інноваційної стрічкової сушарки

Експериментальні дослідження, які проводились на кафедрі Процесів і обладнання переробних і харчових виробництв, процесу сушіння насіння соняшника на інноваційній стрічковій сушарці дозволили провести розрахунок енергетичної ефективності новітнього обладнання.

В ході експериментів були отримані данні питомих витрат енергії на один кілограм випарної вологи. Це дозволяє порівняти енергетичну ефективність кожного з режимів роботи стрічкової сушарки.



1,2,3 – перший модуль із $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$, $N = 10,5 \text{ кВт/м}^2$, $N = 15 \text{ кВт/м}^2$ відповідно; 4,5,6 – другий модуль із $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$, $N = 10,5 \text{ кВт/м}^2$, $N = 15 \text{ кВт/м}^2$ відповідно; 7,8,9 – третій модуль із $N = 7,5 \text{ кВт/м}^2$, $N = 10,5 \text{ кВт/м}^2$, $N = 15 \text{ кВт/м}^2$ відповідно; 10 – комбінація першого та другого модуля із $N = 21 \text{ кВт/м}^2$; 11 – комбінація з трьох модулів із $N = 31,5 \text{ кВт/м}^2$.

Рис. 4.1 – Питома витрати енергії на кілограм видаленої вологи для кожного з режимів НВЧ стрічкової сушарки.

За допомогою лічильника енергії, через який було підключено обладнання, ми отримували енергетичні витрати для кожного з режимів роботи стрічкової сушарки.

Далі, на основі отриманих експериментальних даних (рис. 4.1) стає можливим провести економічний розрахунок щодо економії енергетичних ресурсів та енергетичної ефективності новітнього обладнання порівняно із традиційними сушарками.

Для розрахунку енергії, яка витрачалася на один кілограм випареної вологи було використано формулу (29). Для отримання питомих витрат енергії у джоулях було використано коефіцієнт 3,6 (1 кВт*час = 3,6 МДж):

$$j = \frac{1}{m_B} * N_e * 3,6 \quad (29)$$

де, j – питомі витрати енергії на випаровування одного кілограма випареної вологи, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$; m_B - маса видаленої вологи із зерна соняшника, кг; N_e - витрати енергії на процес сушіння (дані отримані з лічильника), кВт*час.

4.2 Інженерні методики розрахунку і проектування інноваційних сушарок

Після знаходження адекватних моделей процесів, що відбуваються розглянемо систему розрахунку часу протікання процесу при інноваційної стрічкової сушінні в електромагнітному полі, теплофізичних параметрів повітря, коефіцієнта тепловіддачі від продукту і час протікання процесу сушіння.

Для розрахунку часу сушіння приведена блок-схема (рис. 4.2). Початкові дані беруться по теплофізичних властивостях продукту, потужності, що підводиться мікрохвильової енергії і конструктивними особливостями стрічкової сушарки. Далі необхідно визначити теплофізичні

властивості повітря, розрахувати коефіцієнт тепловіддачі, число Фур'є і швидкість руху стрічки [40].

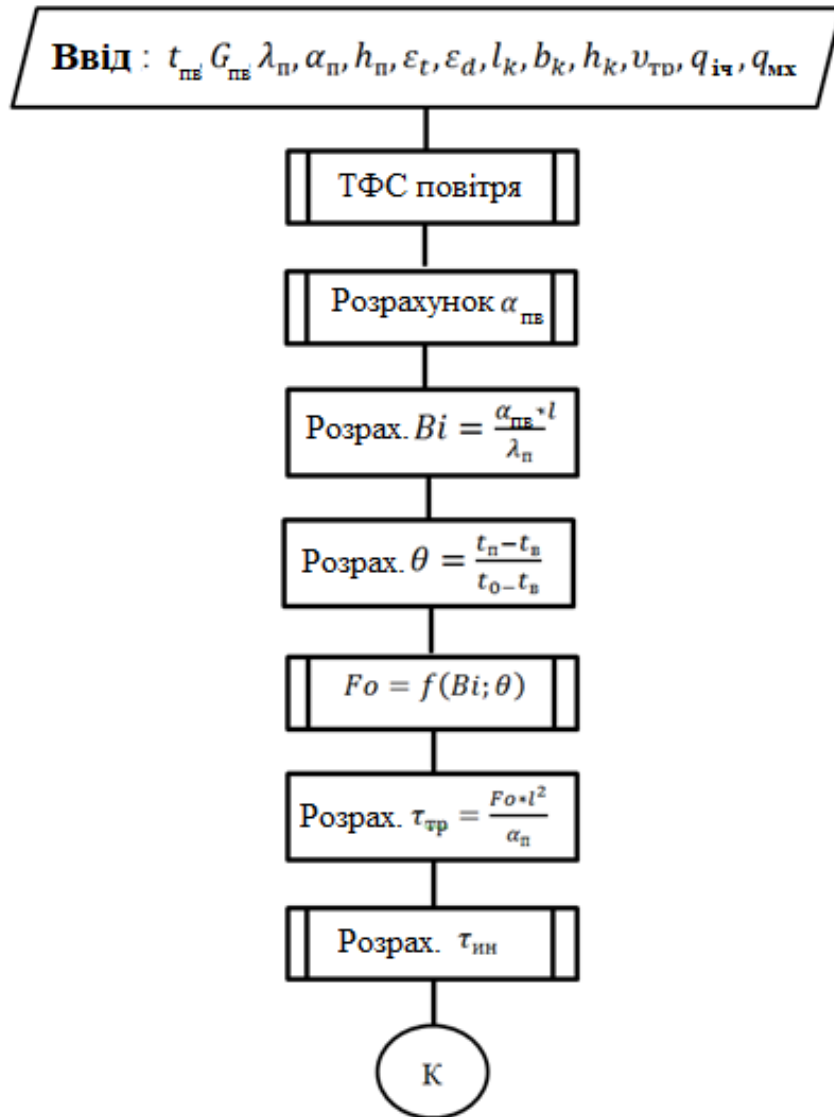


Рис. 4.2 - Блок - схема розрахунку модульної мікрохвильової стрічкової сушарки

Для розрахунку теплофізичних властивостей повітря наведена блок-схема (рис. 4.3), що дозволяє нам визначити теплоємність, щільність, теплопровідність, швидкість і в'язкість повітря. Отже, знаючи теплофізичні властивості повітря, визначаємо число Прандтля.

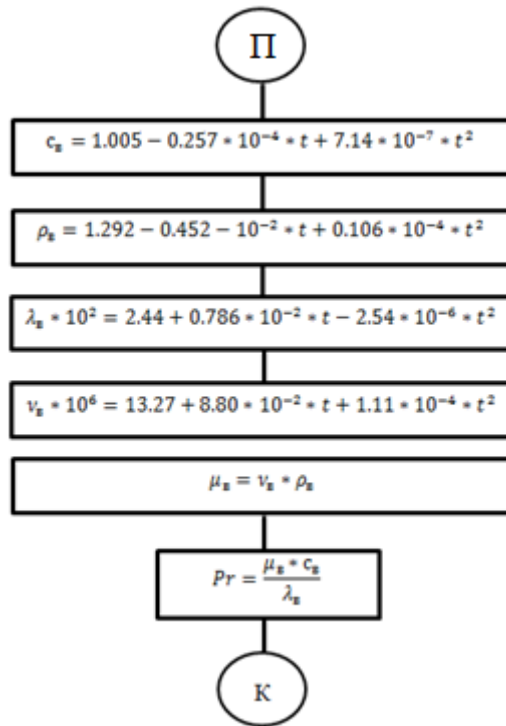


Рис. 4.3 - Блок - схема розрахунку ТФС повітря

Наступним кроком буде визначення коефіцієнта тепловіддачі до продукту (рис. 4.4). Відповідно за числом Рейнольдса вибирається необхідні критеріальні рівняння і визначається число Нусельта.

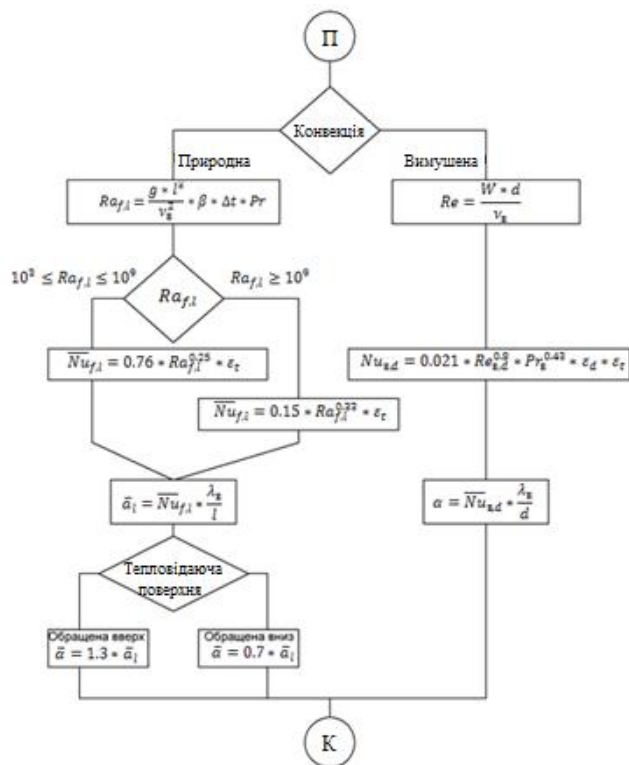


Рис. 4.4 - Блок - схема розрахунку коефіцієнта тепловіддачі до продукту

Далі необхідна діаграма для визначення числа Фур'є

Отримані значення коефіцієнта тепловіддачі використовуються для розрахунку числа Ві. Надалі визначається число Фур'є і час процесу.

Розрахунок часу процесу в інноваційної стрічкової сушарці в електромагнітному полі проводиться відповідно до блок-схемою (рис. 4.5) [40].

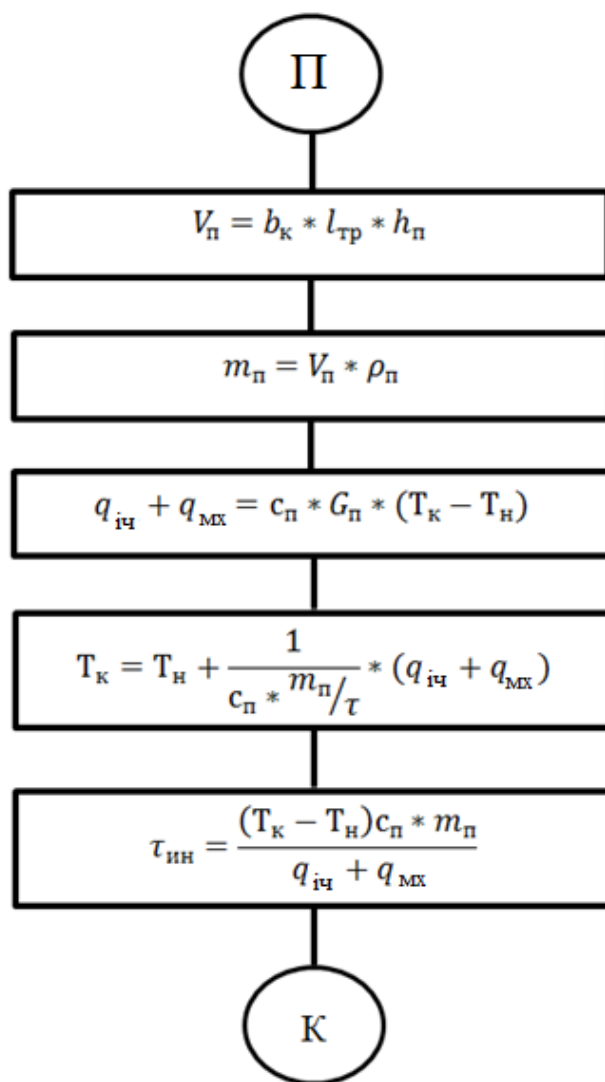


Рис. 4.5 - Блок - схема розрахунку часу протікання процесу при не нульових $q_{\text{ич}}$, $q_{\text{мх}}$

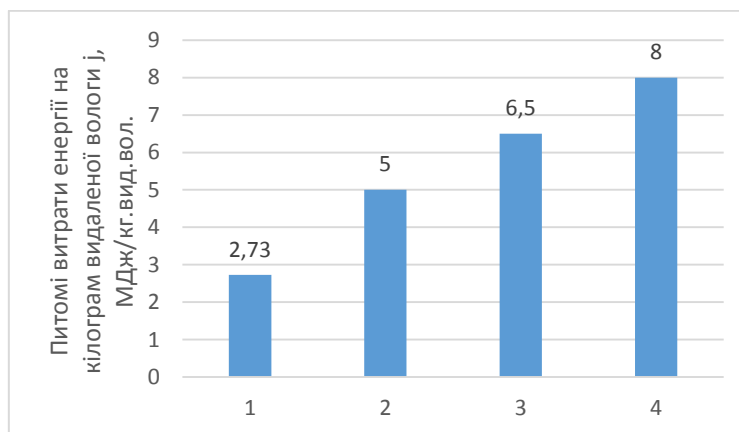
Вихідними параметрами для розрахунку є потужність, що підводиться, швидкість стрічки, теплофізичні властивості продукту і повітря, витрата продукту.

Інженерний розрахунок можна проводити за рекомендаціями таблиці 2.2, проте суворий розрахунок сушки повинен проводитися з урахуванням рекомендацій таблиці 2.1.

Похибка, яка виникає при нехтуванні зазначених процесів очевидно залежить від поєднання конструктивних параметрів і повинна бути визначена результатом постановки спеціальних досліджень [40].

4.3 Економічна та енергетична ефективність інноваційної стрічкової сушарки

Традиційні методи сушіння (рис. 4.6) харчової сировини витрачають 6...8 $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$. Ці показники на сьогоднішній час є досить високими порівняно із запропонованими методами сушіння на інноваційному обладнанні, яке витрачає 2,73...4,3 $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$, що було підтверджено експериментальним шляхом.



1 – результати інноваційних технологій; 2 – лідери серед енергетичної серед традиційних методів сушіння; 3 – середні показники енергетичної ефективності серед традиційних методів сушіння; 4 – найгірші показники серед традиційних методів сушіння.

Рис. 4.6. – Порівняння питомих витрат енергії на кілограм видаленої вологи у процесі сушіння насіння соняшнику.

В основному, традиційні сушарки використовують як теплоносій повітря, яке нагрівається за рахунок паління природного газу. Ці технології мають дуже низький ККД, оскільки більшість таких сушарок викидають великий енергетичний потенціал разом із відпрацьованим теплоносієм, більш того, ККД самих пристроїв, що трансформують потенціал енергії зпаленого газу у теплову енергію теплоносія.

Інноваційний метод сушіння дозволяє покращити показники питомих витрат енергії та покращити їх майже у двічі порівняно навіть із кращими показниками серед сушильних апаратів.

Оскільки Україна є одним із лідерів виробництва та переробки соняшника та соняшникової олії, інноваційна стрічкова сушарка є досить актуальним рішенням яке дозволить скоротити споживання енергії на процес сушіння майже у двічі порівняно з найкращими світовими показниками.

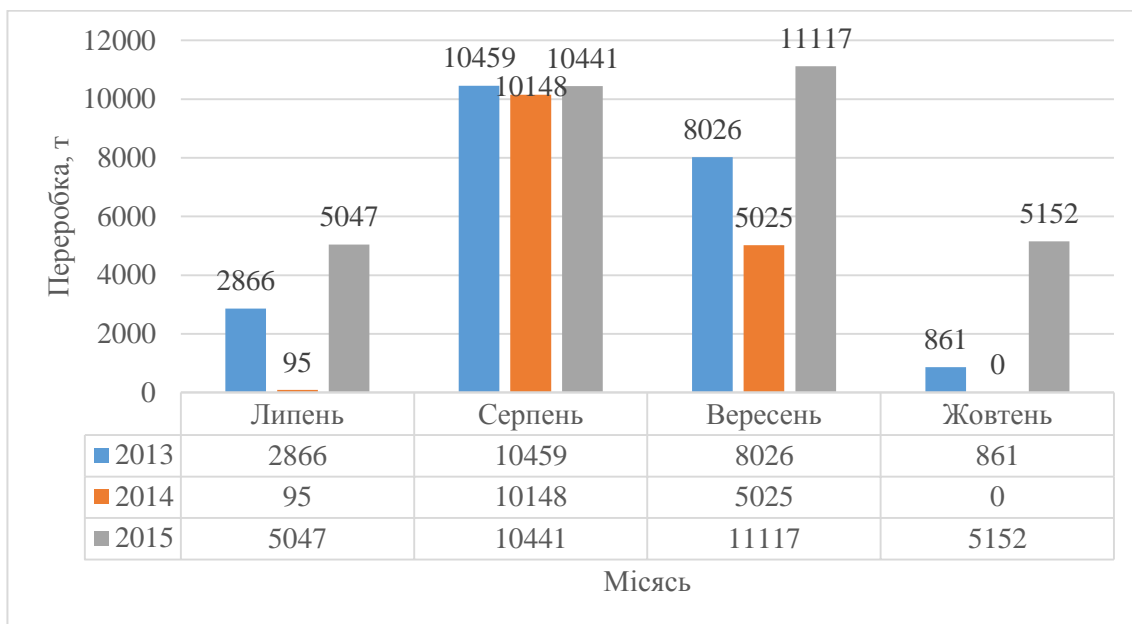


Рис. 4.7. – Обсяги переробки насіння соняшника типового заводу з переробки насіння з великим вмістом олії.

Обсяги переробки (рис. 4.7) та енергетичні витрати (рис. 4.8) типового українського заводу з переробки насіння з високим вмістом олії дозволяють детальніше розглянути ефективність інноваційного методу сушіння. На прикладі кращих, середніх, та найгірших показників з питомих витрат енергії

на кілограм видаленої вологи (рис. 4.6) проведемо аналіз енергетичної ефективності інноваційного методу сушіння.

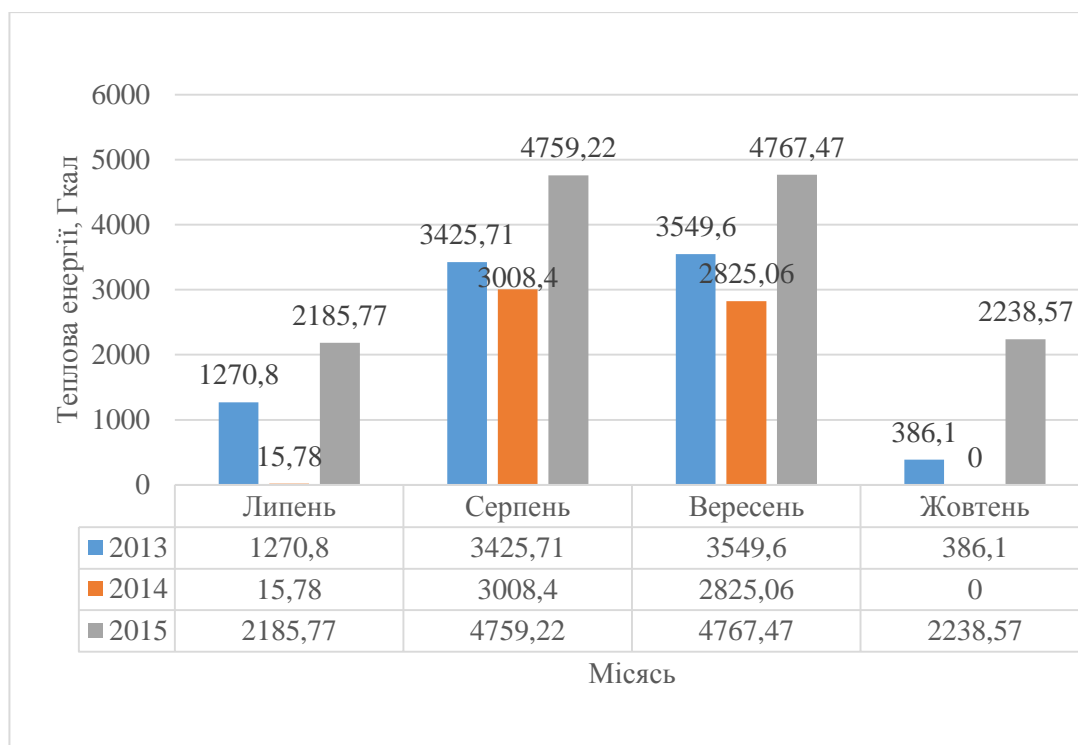


Рис. 4.8 – Витрати теплової енергії на сушіння насіння соняшника типового українського заводу з переробки насіння з високим вмістом олії.

Проведемо розрахунок енергетичної ефективності на основі питомих витрат інноваційного методу сушіння – $j_i = 2,73 \frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$ порівняно із кращими показниками традиційних методів сушіння, які складають – $j_k = 5 \frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$, середніми показниками – $j_c = 6,5 \frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$ та найгіршими показниками – $j_r = 8 \frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$, на основі даних обсягів виробництва за 2015 рік (рис. 4.7) та витрат теплової енергії на сушіння за 2015 рік (рис. 4.8).

1. Обсяги виробництва соняшнику за 2015 рік розраховувано за формулою (30):

$$M_{\text{п}} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \quad (30)$$

де, $M_{\text{п}}$ – маса переробленої продукції за 2015 рік, т; M_1 – маса переробленої продукції у липні, т; M_2 – маса переробленої продукції у

серпні, т; M_3 – маса переробленої продукції у вересні, т; M_4 – маса переробленої продукції у жовтні, т.

Економічна ефективність переробки соняшнику у 2015 році (липень-жовтень)

Назва показника	Базова модель шахтної сушарки	Інноваційна модель сушарки
Обсяг переробки соняшнику, кг	31757	31757
Обсяг використання теплової енергії, Гкал (1 Гкал = 4184 МДж:)	6072,08 (25405600)	2072,09 (8669661)
Маса видаленої вологи, т (початкова вологість $W_{\text{п}} = 20\%$ та кінцева вологість $W_{\text{к}} = 10\%$)	3175,7	3175,7
Кількість питомих витрат енергії на видалення одного кілограма вологи, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$	8,0	2,73
Теплота згорання 1м^3 природного газу – $j_{\text{газу}} = 40 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$, а вартість 1м^3 природного газу – $E_{\text{газ}} = 6,96$ грн.		
Грошові витрати на закупівлю газу, грн	4420574,4	1508521,01
Економія грошей при використанні інноваційної стрічкової сушарки порівняно із найгіршими параметрами питомих витрат енергії, грн		2912053,39

$$M_{\text{п}} = 5047 + 10441 + 11117 + 5152 = 31757$$

2. Обсяги використання теплової енергії за 2015 рік розраховано за формулою (31):

$$N_T = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \quad (31)$$

де, N_T – кількість теплової енергії використаної за 2015 рік, Гкал; N_1 – кількість теплової енергії використаної у липні, Гкал; N_2 – кількість теплової енергії використаної у серпні, Гкал; N_3 – кількість теплової енергії використаної у вересні, т; N_4 – кількість теплової енергії використаної у жовтні, Гкал.

$$N_T = 2185,77 + 4759,22 + 4767,47 + 2238,57 = 13951,03$$

3. Для зручності подальших розрахунків переведемо Гкал у МДж із розрахунку, що 1 Гкал = 4184 МДж:

$$N_T = 13951,03 * 4184 = 58371109,52 \text{ МДж}$$

4. З обсягів виробництва заводу за 2015 рік розраховано кількість видаленої вологи із насіння соняшнику з розрахунку що за формулою (32):

$$M_B = M_{\Pi} * \frac{(W_{\Pi} - W_K)}{100\%} \quad (32)$$

де, M_B – маса вологи, т.

$$M_B = 31757 * \frac{(20\% - 10\%)}{100\%} = 3175,7$$

5. Кількість питомих витрат енергії на видалення одного кілограма вологи розраховано за формулою (33):

$$j_{\Pi}^{\Phi} = \frac{N_T}{M_B} \quad (33)$$

де, j_{Π}^{Φ} – фактичні питомі витрати енергії на видалення одного кілограма вологи, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$

$$j_{\Pi}^{\Phi} = \frac{58371109,52}{3175,7 * 1000} = 18,4$$

Оскільки найгірші показники питомих витрат енергії складають 8 $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$ а на заводі вони склали 18,4 $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$ можливо зробити висновок про нераціональне використання теплової енергії, надзвичайно низький ККД сушильного апарата та великі теплові втрати у навколишнє середовище.

6. Розрахунок енергетичної ефективності інноваційної установки порівняно із найгіршими показниками проводився за формулою (34):

$$k_{\Gamma} = \frac{j_{\Gamma}}{j_i} \quad (34)$$

де, k_{Γ} – коефіцієнт який показує у скільки разів інноваційний метод кращий за найгірші показники традиційних сушарок; j_i – питомі витрати енергії інноваційного методу, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$; j_{Γ} – питомі витрати енергії найгірших показників, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$

$$k_{\Gamma} = \frac{8}{2,73} = 2,93$$

7. Розрахунок енергетичної ефективності інноваційної установки порівняно із середніми показниками проводився за формулою (35):

$$k_c = \frac{j_c}{j_i} \quad (35)$$

де, k_c – коефіцієнт який показує у скільки разів інноваційний метод кращий за середні показники традиційних сушарок; j_i – питомі витрати енергії інноваційного методу, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$; j_c – питомі витрати енергії середні показників, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$

$$k_c = \frac{6,5}{2,73} = 2,38$$

8. Розрахунок енергетичної ефективності інноваційної установки порівняно із найкращими показниками проводився за формулою (36):

$$k_k = \frac{j_k}{j_i} \quad (36)$$

де, k_k – коефіцієнт який показує у скільки разів інноваційний метод кращий за найкращі показники традиційних сушарок; j_i – питомі витрати енергії інноваційного методу, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$; j_k – питомі витрати енергії найкращих показників, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг.вид.вол.}}$

$$k_k = \frac{5}{2,73} = 1,83$$

9. Кількість теплової енергії витраченої на сушіння соняшнику при найгірших показниках за 2015 рік розраховано за формулою (37):

$$N_{\Gamma}^T = M_B * j_H \quad (37)$$

де, N_T^r - Кількість теплової енергії витраченої на сушіння соняшнику при найгірших показниках, МДж.

$$N_T^r = 3175700 * 8 = 25405600$$

10. Кількість теплової енергії витраченої на сушіння соняшнику при середніх показниках за 2015 рік розраховано за формулою (38):

$$N_T^c = M_B * j_c \quad (38)$$

де, N_T^c - Кількість теплової енергії витраченої на сушіння соняшнику при середніх показниках, МДж.

$$N_T^c = 3175700 * 6,5 = 20642050$$

11. Кількість теплової енергії витраченої на сушіння соняшнику при найкращих показниках за 2015 рік розраховано за формулою (39):

$$N_T^k = M_B * j_k \quad (39)$$

де, N_T^k - Кількість теплової енергії витраченої на сушіння соняшнику при найкращих показниках, МДж.

$$N_T^k = 3175700 * 5 = 15878500$$

12. Кількість теплової енергії витраченої на сушіння соняшнику у разі використання інноваційної сушарки розраховано за формулою (40):

$$N_T^i = M_B * j_i \quad (40)$$

де, N_T^i - Кількість теплової енергії витраченої на сушіння соняшнику у разі використання інноваційної сушарки, МДж.

$$N_T^i = 3175700 * 2,73 = 8669661$$

Теплота згорання 1м³ природного газу – $j_{газу} = 40 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$, а вартість 1м³ природного газу – $E_{газ} = 6,96$ грн.

13. Грошові витрати на закупівлю газу, необхідного для сушіння насіння соняшника у 2015 році із урахуванням найгірших параметрів питомих витрат енергії розраховано за формулою (41):

$$E_{газ}^r = \frac{N_T^r}{j_{газу}} * E_{газ} \quad (41)$$

де, $E_{газ}^r$ - грошові витрати на природний газ за рік із урахуванням найгірших параметрів питомих витрат енергії, грн.

$$E_{\text{газ}}^{\Gamma} = \frac{25405600}{40} * 6,96 = 4420574,4 \text{ грн}$$

14. Грошові витрати на закупівлю газу, необхідного для сушіння насіння соняшника у 2015 році із урахуванням середніх параметрів питомих витрат енергії розраховано за формулою (42):

$$E_{\text{газ}}^{\text{C}} = \frac{N_{\text{T}}^{\text{C}}}{j_{\text{газу}}} * E_{\text{газ}}(42)$$

де, $E_{\text{газ}}^{\text{C}}$ - грошові витрати на природний газ за рік із урахуванням середніх параметрів питомих витрат енергії, грн.

$$E_{\text{газ}}^{\text{C}} = \frac{20642050}{40} * 6,96 = 3591716,7 \text{ грн}$$

15. Грошові витрати на закупівлю газу, необхідного для сушіння насіння соняшника у 2015 році із урахуванням найкращих параметрів питомих витрат енергії розраховано за формулою (43):

$$E_{\text{газ}}^{\text{K}} = \frac{N_{\text{T}}^{\text{K}}}{j_{\text{газу}}} * E_{\text{газ}}(43)$$

де, $E_{\text{газ}}^{\text{K}}$ - грошові витрати на природний газ за рік із урахуванням найкращих параметрів питомих витрат енергії, грн.

$$E_{\text{газ}}^{\text{K}} = \frac{15878500}{40} * 6,96 = 2762859 \text{ грн}$$

16. Грошові витрати на закупівлю газу, необхідного для сушіння насіння соняшника у 2015 році із використанням інноваційної стрічкової сушарки розраховано за формулою (44):

$$E_{\text{газ}}^{\text{i}} = \frac{N_{\text{T}}^{\text{i}}}{j_{\text{газу}}} * E_{\text{газ}}(44)$$

де, $E_{\text{газ}}^{\text{i}}$ - грошові витрати на природний газ за рік із урахуванням використання інноваційної стрічкової сушарки, грн.

$$E_{\text{газ}}^{\text{i}} = \frac{8669661}{40} * 6,96 = 1508521,01 \text{ грн}$$

17. Економія грошей при використанні інноваційної стрічкової сушарки порівняно із найгіршими параметрами питомих витрат енергії при сушіння насіння соняшника розраховано за формулою (45):

$$E_{\text{екон}}^{\Gamma} = E_{\text{газ}}^{\Gamma} - E_{\text{газ}}^{\text{i}} (45)$$

де, $E_{\text{екон}}^{\Gamma}$ - Економія грошей при використанні інноваційної стрічкової сушарки порівняно із найгіршими параметрами, грн.

$$E_{\text{екон}}^{\Gamma} = 4420574,4 - 1508521,01 = 2912053,39$$

18. Економія грошей при використанні інноваційної стрічкової сушарки порівняно із середніми параметрами питомих витрат енергії при сушіння насіння соняшника розраховано за формулою (46):

$$E_{\text{екон}}^{\text{с}} = E_{\text{газ}}^{\text{с}} - E_{\text{газ}}^{\text{і}} \quad (46)$$

де, $E_{\text{екон}}^{\text{с}}$ - Економія грошей при використанні інноваційної стрічкової сушарки порівняно із середніми параметрами, грн.

$$E_{\text{екон}}^{\text{с}} = 3591716,7 - 1508521,01 = 2083195,69$$

19. Економія грошей при використанні інноваційної стрічкової сушарки порівняно із найкращими параметрами питомих витрат енергії при сушіння насіння соняшника розраховано за формулою (47):

$$E_{\text{екон}}^{\text{к}} = E_{\text{газ}}^{\text{к}} - E_{\text{газ}}^{\text{і}} \quad (47)$$

де, $E_{\text{екон}}^{\text{к}}$ - Економія грошей при використанні інноваційної стрічкової сушарки порівняно із найкращими параметрами, грн.

$$E_{\text{екон}}^{\text{к}} = 2762859 - 1508521,01 = 1254337,99$$

Із отриманих результатів бачимо, що економічний ефект досить суттєвий навіть в порівнянні із еталонними технологічними рішеннями у сушінні насіння соняшника. Потенціал інноваційної стрічкової сушарки є досить великим і вартий уваги для подальшого розвитку та впровадження у харчову промисловість. У масштабах українського виробництва насіння соняшника технологія, розроблена на кафедрі, має змогу скоротити витрати енергії на процес сушіння більш ніж у двічі, що в свою чергу добре відобразиться на енергетичному та економічному становищі країни.

ВИСНОВОК

Світова енергетична криза на фоні тенденції збільшення виробництва насіння соняшника відчувається дуже гостро. Україна, як один із лідерів із виробництва насіння соняшника та соняшникової олії, перебуває у скрутному становищі з точки енергетичної ефективності.

В процесі дослідження процесів сушіння можна зробити висновок, що традиційні методи сушіння застарілі та неефективні. При тому, що за останні роки досить багато інноваційних рішень в галузі процесів харчових виробництв було винайдено та запропоновано, АПК України начебто не зацікавлений в поліпшенні та ефективності ведення процесів виробництва. ККД традиційних методів сушіння досить малий, величезна кількість теплової енергії викидається до навколишнього середовища разом із високо потенційним теплом, велика кількість енергії витрачається на сушіння продукту, замість підводу енергії на безпосереднє видалення вологи і т.д.

Було експериментально доведено існування ефекту механодифузії. Завдяки цьому ефекту стає можливим більш чітко зрозуміти процеси що відбуваються в середині сировини під дії електромагнітного поля. За допомогою такого явища як ефект механодифузії, стає можливим по новому розглянути енергоємні процеси сушіння, екстрагування та випаровування.

Крім того, було розроблено математичну модель інноваційної стрічкової сушарки та розроблено рекомендації щодо проектування стрічкової сушарки для виробництв.

Запропоноване інноваційне рішення в галузі сушіння соняшника має майже більш ніж у двічі вищий ККД і значно вищу швидкість сушіння, крім того, температурні режими не перевищують 45 °С. При такій температурі не відбувається руйнування корисних мікроелементів, вітамін та зберігається кращий зовнішній вигляд готового продукту.

Проведені дослідження підтверджують, що тривалість процесу сушіння можливо знизити більш ніж у 3 рази, і зменшити температуру сушіння на 30-

40⁰C порівняно з традиційними методами сушіння, температури яких складають 70-85⁰C.

Проте, найголовнішим є те, що ККД інноваційної стрічкової сушарки складає 75-85%, у той час коли ККД конвективних сушарок лише 30-40%. В процесі сушіння витрачається 2,73-4,3 МДж/кг.уд.вл, у той час, коли в традиційних методах 5-8 МДж/кг.уд.вл, а в деяких видах і більше, хоча на видалення 1 кг вологи необхідно витратити 2.6-2.7 МДж теплової енергії.

Було знайдено питомі витрати енергії на кілограм видаленої вологи для кожного з режимів сушіння і знайдено енергоефективні режими інноваційної стрічкової сушарки.

Експериментальні дослідження на інноваційній стрічковій сушарці дозволило провести розрахунки енергетичної ефективності інноваційного обладнання порівняно із традиційними методами сушіння, на основі отриманих в ході експериментів даних. Виявилось, що інноваційне обладнання має значні переваги перед традиційними методами сушіння. Енергетична ефективність стрічкової сушарки у 3 рази вища за традиційні показники та у 1,8 рази більша за найкращу практику в сушінні насіння соняшника у світі.

Слід проводити модернізацію АПК України і впроваджувати інноваційні рішення типових проблем виробництва. Термін окупності таких рішень досить малий, а найголовніше те, що подібні рішення дозволять підвищити енергетичну ефективність виробництва, тим самим покращивши не тільки енергетичне, а і економічне становище України.

Результати експериментів пройшли апробація на конференціях міжнародного, регіонального рівню та наукових семінарах академії. По результатам опубліковано 3 статті у друкованих наукових виданнях та 5 статей в електронних виданнях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

[1] «Деякі проблеми експериментального моделювання процесів сушіння рослинної сировини в мікрохвильовому електромагнітному полі» / І. Яровий, О. В. Катасонов // Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. - 2015. - Вип. 47(2). - С. 227-231.

[2] Журнал Smil (1991 р.), с. 240

[а] Маслак О. «Поточний стан та перспективи ринку соняшнику». Агробізнес сьогодні. 2017р. <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/8977-potochnyi-stan-ta-perspektyvy-rynku-soniashnyku.html>

[б] Електронне видання УНІАН. «Україна - крупнейший в мире экспортер подсолнечного масла – может побить собственный рекорд» 12.05.2017р. <https://economics.unian.net/agro/1918311-ukraina-krupneyshiy-v-mire-eksporter-podsolnechnogo-masla-idet-na-novyiy-rekord.html>

[г] Електронне видання Share ua potential. «Рынок подсолнечника и подсолнечного масла Украины» 6.02.2017р. <http://shareuapotential.com/ru/BE/ukrainian-podsolnechnik-maslo-2016.html>

[5] Natural Forcing of the Climate System. Intergovernmental Panel on Climate Change. Процитовано 2007-09-29.

[6] Powering the Planet: Chemical challenges in solar energy utilization. Процитовано 7 August 2008.

[7] Фортов В.Е., Полель О.С. «Энергетика в современном мире». 2011

[8] Energy conversion by photosynthetic organisms. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Процитовано 2008-05-25.

[9] Бушуев В., Беляев Л., Ластовская М., Лебедев А., Марченко О., Сергеев П., Соломин С., Филиппов С. «Мировая энергетика. Состояние, проблемы, перспективы». Энергия. 2007.

[10] Энергетическая стратегия и политика Евросоюза до 2020 года // Прил. к обществ.-дел. журн. "Энергетическая политика". Пер. П.С. Архиповой – М.: ИД Энергия, 2011. – 96 с.

[11] Стратегія енергетичного союзу ЄС: факти та цифри.
<http://tyzhden.ua/News/> 2015 рік

[12]http://pidruchniki.com/1110061437968/ekologiya/svitova_energetichna_kriza_shlyahi_podolannya#286

[13] Енергетична стратегія України на період до 2030 року» (від 15 березня 2006 року).

[14] Кравченко Т. Сучасний стан і перспективи розвитку енергетичної галузі України / Економіст – 2008 - №6 - с. 32-37.

[15] «Проблеми енергозбереження в Україні» / Землюк Г.Я., Круць А.В. *Буковинська державна фінансова академія, Україна*

[16] Дорогунцов С.І. Розміщення продуктивних сил України. – Київ.: КНЕУ, 2000. – 364 с.

[17] «Проблеми енергозбереження в Україні» / Землюк Г.Я., Круць А.В. *Буковинська державна фінансова академія, Україна*

[18] «Проблеми і перспективи розвитку агропромислового комплексу в умовах глобалізації економіки України» К.е.н., доцент Савош Л.В.
http://www.rusnauka.com/10_NPE_2010/Economics/62662.doc.htm

[19] Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств – Одесса: Полиграф, 2008 – 244с.

[20] Бойко І.А., Камінська І.В. Сучасний стан та проблеми розвитку АПК України. Чернівці 2012.

[21] Бородіна О., Прокопа І. Сільський розвиток в Україні: проблеми становлення // Економіка України. – 2009. – №5. – с.59-67.

[22] Березовський В. Фінансовий механізм регулювання експортно-імпортних операцій із сільськогосподарською продукцією // Економіка АПК. – 2008. – №1. – с.94-100.

[23] Бабенко А. Державне регулювання та підвищення конкурентоспроможності аграрного сектору // Економіка АПК. – 2008. – №5. – с.85-88.

[24] Щекович О. Використання зарубіжного досвіду державного регулювання економіки АПК в Україні // Економіка АПК. – 2009. – №1. – с.140-146.

[25] Електронний довідник. http://www.sushka.com.ua/drying_1

[26] "ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СУШКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ", О.В. Чагин, Н.Р. Кокина, В.В. Пастин : Иван. хим. - технол. ун-т.:Иваново. 2007. 138 с.

[27] Журавлев А.П. Зерносушение и зерносушилки. Кинель 2014

[28] Подпратов Г.И., Скалецкая Л.Ф., Сеньков А.М., Хилевич В.С. «Хранение и переработка продукции растениеводства» – К.: Цель, 2002. – 495 с.

[29] Рогозин Ю.Н. «Инженерно-техническая защита информации» -К.: Москва, 2008.

[30] «Зберігання і переробка продукції рослинництва»/ «2.4.5. Особливості сушіння зерна окремих культур»/ <http://buklib.net/books/21971/>

[31] Сайт компанії «Жменька». <http://zhmenka.com/sonyashnik-seleksiya-nasinnictvo-texnologiya-viroshhuvannya/sushinna-nasinnya-sonyashniku/>

[32] Сайт компанії «Будпостач». http://budpostach.pp.ua/remont-zernosushyloc-informaziya/74-sushca_semian_podsolnechnyca.html

[33] «Гідрофільні властивості соняшникового насіння»/ Манк В.В., Ковалевська Є.І., Мельник О.П., Максимова І.М./ Національний університет харчових технологій, Могилів-Подільський технологічний технікум ВДАУ/ Україна 2008р 2-3с.

[34] Бурдо, О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств. – Одесса: Полиграф, 2008 – 244с.

[35] Бурдо, О.Г. Эволюция сушильных установок. – Одесса: Полиграф, 2010 – 368с.

[36] Ружицкая Н.В. Комбинированные процессы при сушке растительного сырья. 2012

[37] Вараксин В.И., Повышение эффективности функционирования бункера активного вентилирования семян путем применения аэроагрегатной камеры. – К.: Киров. - 1996

[38] Кузнецов І.В., Конвективне сушіння. Стаття з журналу «Нетрадиційні культури» 2014.

[39] Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Карпенко Г.В. Сутягин С.А., Тепловая обработка зерна в установках контактного типа. – К.: Ульяновск. - 2013

[40] Бурдо О.Г., Маренченко Е.И., Пилипенко Е.А., Балагура В.В., Математическая модель микроволновой ленточной сушилки. – Одесса ОНАПТ: «Інноваційні енерготехнології» 2017р. , 381-389 с.

[41] Ткаченко С.Й., Співак О.Ю. Сушильні процеси та установки. Вінниця ВНТУ. 2008. – 87с.

[42] Бурдо О.Г., Калинин Л.Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах: Учебник. – Одесса: Друк, 2008. – 348 с.

[43] Гухман А.А. Введение в теорию подобия. 2-е изд. – М.: Высш. Шк., 1973. – 296 с.

[44] Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высш. шк., 1967, 400с.

[45] Бандура В.М., Маренченко О.І., Пилипенко Є.О. Сушіння насіння соняшнику в електромагнітному полі. – Вінниця: журнал Техніка, Енергетика, Транспорт. АПК. №2 том 98, 63-68с 2017

[46] OPTICSTODAY научные статьи и публикации «Небезпечні та шкідливі фактори при роботі з лазерним випромінюванням»

<http://opticstoday.com/katalog-statej/stati-na-ukrainskom/lazer/nebezpechni-ta-shkidlivi-faktori-pri-roboti-z-lazernim-viprominyuvannyam.html>