

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ

*Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису*

ПАЗЮК ВАДИМ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 664.723.047

ДИСЕРТАЦІЯ

**ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ОСНОВИ СУШІННЯ
НАСІННЄВОГО ЗЕРНА**

05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика
144 - Теплоенергетика

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



В.М. Пазюк

Науковий консультант: Снежкін Юрій Федорович, доктор технічних наук,
професор, академік НАН України

Київ – 2019

АНОТАЦІЯ

Пазюк В.М. Теплотехнічні основи сушіння насіннєвого зерна – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 - технічна теплофізика та промислова теплоенергетика (144 - Теплоенергетика) – Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, 2019.

Дисертація присвячена розв'язанню науково-прикладної проблеми підвищення енергетичної ефективності сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур та впровадженню експериментально обґрунтованих новітніх технічних рішень при розробці технологічних ліній та обладнання.

Світові передумови у підвищенні енергоефективності процесів сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур спрямовані на розробку раціональних режимів сушіння, використання відновлювальних джерел енергії та вторинних енергоресурсів, незалежність від централізованого постачання теплоти та електроенергії.

Науковою основою для розвитку сучасних досліджень підвищення енергоефективності сушіння зерна стали праці А.В. Ликова, А.С. Гінзбурга, В.В. Краснікова, Г.К. Філоненко, М.О. Грішина, В.І. Жидко, В.А. Резчикова, М.І. Маліна, Ю.Ф. Снежкіна, Ж.О. Петрова, Г.К. Станкевича, І.І. Гапонюка, О.Г. Бурдо, В.І. Атаназевича, В.С. Уколова, М.В. Остапчука, Г.М. Окуня та інших вчених.

Проблемою збереження насіннєвого матеріалу присвячені праці наступних дослідників: Г.М. Станкевича, В.І. Атаназевича, В.М. Атаманюка, М.Г. Голика,, М. Soares, М. Jorge, F. Montanuci, M. Markowsky, W. Sobieski, I. Konopka, D. Broker, J. Franca Neto, F. Krzyzanowski, S. Afrakhteh, E. Frahmandfar, A. Hamidi, H. Ramandi, K. Sacilik, R. Guiné, F. Pinho, M. Barroca та ін.

Аналіз досліджень із сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур вказали, що існують проблеми із сушіння насінневих культур, тому для отримання високої якості насіння, потрібно вирішити наступні завдання:

- на основі проведення літературного огляду проаналізувати сучасний стан наукових та практичних досліджень із сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур і встановити причину низької ефективності процесу;
- дослідити кінетику сушіння насінневого матеріалу за розробленою класифікацією;
- дослідити якісні характеристики насінневого матеріалу від режимів сушіння;
- розробити математичну модель процесу сушіння зернових культур та вивести регресійні рівняння із побудовою поверхні відгуку від впливу факторів на тривалість сушіння, схожість та температуру нагрівання насіння;
- виконати теоретичний розрахунок кінетики сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур і отримати узагальнені характеристики кінетики процесу в другому періоді сушіння з визначенням коефіцієнтів та відносних коефіцієнтів сушіння, узагальненої швидкості сушіння;
- розрахувати теоретичну тривалість сушіння та провести порівняння з експериментальними даними кінетики процесу сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур;
- визначити теплофізичні характеристики насіння олійних та овочевих культур;
- дослідити тепломасообмінний процес зневоднення насінневих матеріалів з урахуванням властивостей матеріалу і режимів сушіння;
- розробити енергоефективні низькотемпературні режими сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур із зниженим вологовмістом теплоносія;

- розробити сушильні стенди із тепловим насосом та дослідити кінетику сушіння в енергоефективних низькотемпературних режимах сушіння із зниженим вологовмістом теплоносія насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур;
- дослідити якісні характеристики насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур при сушінні в енергоефективних режимах із зниженим вологовмістом теплоносія на сушильних стендах із тепловим насосом;
- розробити нові ресурсоенергозберігаючі теплотехнології отримання насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур;
- розробити енергоефективну теплотехнічну схему роботи п'ятизонної зерносушарки із тепловим насосом для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур;
- провести виробничу апробацію запропонованих науково-технічних рішень.

Багатоманітність факторів та їх взаємозв'язок значно ускладнює отримання аналітичних залежностей кінетики сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур. Тому при описанні кінетики сушіння були використані емпіричні залежності та визначені коефіцієнти сушіння. Найбільш наближеним методом розрахунку кінетики сушіння насіннєвого матеріалу є метод оснований на вивченні загальних закономірностей процесу, що наближує теорію і практику сушіння. До цих методів відносяться методи А.В. Ликова, Г.К. Філоненко, М.Ф. Докучаєва і М.С. Смирнова та методи В.В. Красникова і В.А. Данілова Розрахунок тривалості сушіння від значення максимальної швидкості сушіння дає розбіжність теоретичних результатів з експериментально отриманими на 3 - 10%.

Для дослідження та вибору режимів сушіння були використані також наступні методи: визначення схожості насіння, статистично-математична обробка експериментальних даних за ортогональним композиційним планом другого порядку, теорія подібності.

Підвищення інтенсивності та енергоефективності процесу сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур досягається:

- за рахунок введення в процес ступеневих режимів сушіння на конвективному сушильному стенді. Тривалість сушіння насіння зменшується на 20 – 80%, схожість підвищується для зернових, олійних від 3 – 6%, для цукрового буряку на 15%;

- зниження вологовмісту теплоносія прискорює процес на 12 – 19%, при схожості насіння на рівні 100%. Питомі витрати теплоти при сушінні насіння зернових та олійних культур на теплонасосному стенді в залежності від режиму сушіння складають 3675 – 4125 кДж/кг вип. вологи;

- сушіння в ступеневому режимі при зниженні вологовмісту теплоносія на теплонасосному стенді зменшує тривалість на 42%. Питомі витрати теплоти в ступінчатому режимі 60/40°C при сушінні насіння гарбуза складають 3700 кДж/кг вип. вологи.

Рекомендовані ступеневі режими сушіння реалізуються при створенні енергоефективних технологій та сушильного обладнання на основі теплових насосів для отримання насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур.

Проведено оцінку енергетичної ефективності застосування схеми теплонасосної шахтної зерносушарки продуктивністю 15,5 т/год для сушіння насіння зернових культур. Запропонована схема дає можливість комплексно вирішувати наступні задачі:

- підвищити енергоефективність процесу сушіння із питомими витратами теплоти 3024 кДж/год., за рахунок встановлення теплового насосу на базі дизель-генератора ДвГА-315;

- одночасно вироблення теплової енергії та електроенергії, не залежність від електромереж;

- можливість комплексного використання теплового насосу для забезпечення технологічного процесу сушіння насіннєвого зерна із

ступеневими режимами сушіння 65/50°C та наступним охолодженням при температурі 5°C;

- утилізація теплоти від дизель-генератора ДвГА-315 в тепловому насосі та теплообмінниках перед надходженням теплоносія в сушильну шахту;

- утилізація теплоти після сушильної шахти та направлення теплоти в конденсатор теплового насоса і одночасне охолодження насіння;

- інтенсивне охолодження насіння з осушуванням повітря від випарника теплового насоса.

Орієнтовний термін окупності капітальних вкладень теплонасосної шахтної зерносушарки ТН-15,5 складає 5,5 роки.

Результати роботи впроваджені на фермерських господарствах «Людмила-агро» (Вінницька обл., с. Плоске) , «Євгенія» (Кіровоградська обл., с. Дорохіївка) та на ТОВ «Іжа майбутнього» (м. Київ).

Практичне значення результатів дисертаційної роботи підтверджується 3 патентами на винахід та 4 ТУ України.

Серед наукових результатів дисертацій, що отримані вперше можна відзначити такі:

- експериментально встановлено та обґрунтовано вплив параметрів конвективного сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур на інтенсивність їх зневоднення та схожість;

- вперше визначені рівняння регресії насіння зернових культур із побудовою поверхні відгуку від трьохфакторного впливу на тривалість сушіння, схожість та температуру нагрівання насіння;

- вперше визначено граничнодопустима температура нагрівання насіння зернових культур за даними експериментальних досліджень кінетики процесу та якісних характеристик матеріалу;

- вперше розроблено та визначено вплив ступеневих режимів на кінетику сушіння та схожість насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур;

- вперше встановлений вплив зниженого вологовмісту теплоносія на кінетику сушіння для насіння зернових, олійних та технічних культур;
- встановлено вплив кінетики сушіння на якість насіння пшениці, ячменю, вівса, ріпаку, сої та гарбуза в сушильному стенді з тепловим насосом із визначенням питомих витрат теплоти;
- із узагальнених кривих сушіння та швидкості сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур розраховані відносні коефіцієнти та коефіцієнти сушіння;
- отримані формули розрахунку узагальненої швидкості та тривалості сушіння насіння зернових, олійних, овочевих і технічних культур;
- вперше визначено теплоємність насіння сої та гарбуза;
- вперше визначено питому теплоту випаровування методом синхронного теплового аналізу при сушінні насіння гарбуза;
- встановлені закономірності зміни тепломасообмінних параметрів в процесах сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур із визначенням температурного коефіцієнту, теплового потоку, коефіцієнту теплопередачі, критеріїв Ребіндера, Нусельта.

Ключові слова: кінетика сушіння, температура, вологовміст повітря, насіння, тепломасообмін, ступеневі режими, сушарка з тепловим насосом, питомі витрати теплоти, енергоефективність, технології.

Перелік опублікованих праць за темою дисертаційної роботи

Монографії

1. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Чалаєв Д.М. Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна. Монографія. Київ: видавництво ТОВ «Поліграф-Сервіс», 2012. 154 с. (Здобувачем у співавторстві).

2. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Енергоефективне виробництво функціональних харчових порошків. Монографія. Вінниця: видавництво «РВВ ВНАУ», 2016. 458 с. (Здобувачем у співавторстві).

3. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Самойленко К.М. Ефективні технології сушіння насіння овочів. Монографія. Вінниця: видавництво «РВВ ВНАУ», 2019. 129 с. (Здобувачем у співавторстві).

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

4. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О. Вплив режимів режиму сушіння на якісні показники зерна насінневого призначення. Наукові праці ОДАХТ, Одеса, 2011. Вип.40, Т.1. С. 39 – 43.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у проведенні досліджень та співавторстві наведених наукових положень).

5. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Михайлик Т.О., Пазюк В.М. Відстежимо закономірності зневоднення пшениці, ячменю та вівса в елементарному шарі в залежності від вологості теплоносія. Зерно і хліб. 2011. № 2. С. 46 – 47.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень).

6. Снежкин Ю.Ф., Петрова Ж.А., Пазюк В.М. Исследование влияние параметров сушки на кинетику и получение качественных, антиоксидатных функциональных порошков. Промышленная теплотехника. 2012. № 5. С. 31 – 36.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у проведенні досліджень з кінетики сушіння функціональної рослинної сировини).

7. Пазюк В.М. Теплові насоси як засіб підвищення енергоефективності процесу сушіння зерна. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету в сфері технічні науки. Вінниця, ВНАУ, 2012. № 11. С. 375 – 378.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у проведенні та аналізу літературних досліджень).

8. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Гідротермічна обробка функціональної сировини. Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2012. Вип. 41. Т.1. С. 13 – 18.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень).

9. Пазюк В.М. Ступінчаті режими сушіння рослинної сировини з антиоксидантними властивостями. Вібрація в техніці та технологіях. 2013. № 3. С. 126 – 129.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у проведенні досліджень з кінетики сушіння антиоксидантної рослинної сировини).

10. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Дослідження процесу подрібнення та класифікації функціональної антиоксидантної буряково-лимонної сировини. Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2013. Вип. 43. Т.1. С. 105 – 109.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень).

11. Пазюк В.М. Основні напрямки зменшення енергетичних витрат в схемах сушіння зерна з тепловим насосом. Відновлювальна енергетика. 2014. № 1(36). С. 76 – 81.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у проведенні та аналізу літературних досліджень).

12. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Тепломасообмінні процеси при сушінні функціональної сировини. Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2014. Вип.41. Т.2. С. 303 – 308.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень).

13. Пазюк В.М., Пазюк О.Д., Савчук В.В. Сучасні зерносушарки та заходи з їх енергетичного вдосконалення. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2015. №2(90). С.57-62.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у визначенні внеску в підвищенні енергоефективності процесу сушіння).

14. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Самойленко К.М., Пазюк О.Д. Застосування ступінчатих режимів при сушінні насіння пшениці. Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2015. Вип. 47. Том 2. С. 29 – 33.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

15. Petrova Zn., Snezhkin Y., Pazyuk V., Samoilenko K. Drying of antioxidant Composite Materials based on Table Beet. Energy engineering and control systems. 2015. Vol.1, № 1. p. 25 – 28.

(Наукове фахове видання України, CrossRef, ICI Journals Master List)

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень).

16. Пазюк В.М., Пазюк О.Д., Романенко М.Д. Енергозберігаючі режими сушіння насіннєвого зерна та реалізація їх у вібраційній зерносушарці. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» 2016. №3 (83). С.202-206.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальненні результатів).

17. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М., Дуб В.В. Створення нових теплотехнологій отримання якісних фолатовмісних функціональних порошків. Збірник наукових праць ХДУХТ. Харків, 2016. Вип. 1 (23). С. 80-89.

(Наукове фахове видання України, Index Copernicus, Google Scholar, Academic Resource Index (Research Bib), Info Base Index, Cite Factor, Scientific Indexing Services (SIS)).

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень).

18. Пазюк В.М. Теплонасосні сушильні установки в процесах сушіння зерна. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2016. №2 (94). С.53-57.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у розробці та підвищенні енергоефективності процесу сушіння насіння зернових культур)

19. Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Розробка комплексного пайку для гарячого харчування спец призначенців. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2017. №2 (97). С.76-80.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень)

20. Pazyuk V. Petrova Zn., Chepeliuk O. Determination of rational modes of pumpkin seeds drying. Ukrainian Food Journal. 2018. Volume 7, Issue 1. P. 135 – 150.

(Наукове фахове видання України, Web of science Emerging Sources Citation Index, Index Copernicus, EBSCO, Google Scholar, UlrichsWeb, CABI full text, Online Library of University of Southern Denmark, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS), Directory of Open Access Journals (DOAJ), InfoBase Index, Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI), FSTA (Food Science and Technology Abstracts)).

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

21. Petrova Zn., Pazyuk V., Samoilenko K., Chepeliuk O. Effect of treatment modes on quality and antioxidant properties of tomato and beet processing products. Ukrainian Food Journal. 2018. Volume 7, Issue 2. P. 291 – 302.

(Наукове фахове видання України, Web of science Emerging Sources Citation Index, Index Copernicus, EBSCO, Google Scholar, UlrichsWeb, CABI full text, Online Library of University of Southern Denmark, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS), Directory of Open Access Journals (DOAJ), InfoBase Index, Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI), FSTA (Food Science and Technology Abstracts)).

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

22. Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Дуб В.В. Сучасний стан проблеми підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння зернових культур. Збірник наукових праць ХДУХТ. Харків, 2018. Вип. 1 (27). С. 231-243.

(Наукове фахове видання України, Index Copernicus, Google Scholar, Academic Resource Index (Research Bib), Info Base Index, Cite Factor, Scientific Indexing Services (SIS)).

(Особистий внесок автора полягає у постановці та в розробці заходів із підвищенні енергоефективності процесу сушіння).

23. Пазюк В.М., Рубаненко О.О., Вишнівський В.М. Підвищення енергоефективності сушіння насіння зернових культур шляхом застосування теплових насосів. Вісник Хмельницького національного університету. 2018. № 4. С.251-253.

(Наукове фахове видання України, Index Copernicus, Google Scholar, РИИЦ, Polish Scholarly Bibliography)

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

24. Пазюк В.М. Дослідження низькотемпературних режимів сушіння рослинних капілярно-пористих матеріалів сферичної форми. КЕРАМІКА: наука і життя. 2018. № 4. С.7-14.

(Наукове фахове видання України, Crossref, Research Bible, Scientific Indexing Services, Journal Factor, Eurasian Scientific Journal Index, General Impact Factor, World Catalogue of Scientific Journals, Google Scholar, Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського, Cosmos Impact Factor).

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

25. Пазюк В.М. Обґрунтування режимів сушіння насіння гарбуза насіннєвого призначення з конвективним підведенням теплоти. Збірник наукових праць ХДУХТ. Харків. 2018. Вип. 2 (28). С. 155-165.

(Наукове фахове видання України, Index Copernicus, Google Scholar, Academic Resource Index (Research Bib), Info Base Index, Cite Factor, Scientific Indexing Services (SIS))

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

26. Paziuk V.M., Liubin M.V., Yaropud V.M., Tokarchuk O.A., Tokarchuk D.M. Research on the rational regimes of wheat seeds drying. INMATEH - Agricultural Engineering. 2018. Volume 56, No 3, p. 39 – 48.

(ELSEVIER /SciVerse SCOPUS, CLARIVATE ANALYTICS' WEB OF SCIENCE- Emerging Sources Citation Index (ESCI), ULRICH'S Web: Global Serials Directory, CABI, SCIPPIO, Index COPERNICUS International, EBSCO Publishing, Elektronische Zeitschriftenbibliothek).

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

27. Пазюк В.М. Дослідження тепломасообмінних процесів сушіння насіння овочевих культур. Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2018. Т. 82. Вип 2. С. 129 – 136.

(Наукове фахове видання України)

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

28. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О. Математична обробка результатів експериментальних досліджень низькотемпературних режимів сушіння капілярно-пористих матеріалів сферичної форми. КЕРАМІКА: наука і життя. 2019. № 1. С.20-25.

Наукове фахове видання України, Crossref, Research Bible, Scientific Indexing Services, Journal Factor, Eurasian Scientific Journal Index, General Impact Factor, World Catalogue of Scientific Journals, Google Scholar, Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського, Cosmos Impact Factor).

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

Наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації

29. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Ефективна технологія отримання антиоксидантних порошоків. Удосконалення процесів та обладнання

– запорука інноваційного розвитку харчової промисловості: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 10 – 11 квітня 2012 р). Київ, НУХТ. 2012. С. 129 –131.

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень)

30. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.А., Пазюк В.М. Энергоэффективный режим сушки антиоксидантного растительного сырья. XIV Минский международный форум по тепло- и массообмену. Тезисы докладов и сообщений (г. Минск, 10 – 13 сентября 2012 г). Минск, ММФ. 2012. С. 608 – 611.

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень)

31. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Функціональні порошки з рослинної сировини. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: матеріали 2-го Міжнародного конгресу (м. Львів, 19 – 22 вересня 2012). Львів, ЗУКЦ. 2012. С. 98.

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень)

32. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.А., Пазюк В.М., Декуша Л.В. О теплоте испарения функционального растительного сырья. Нестационарные, энерго- и ресурсосберегающие процессы и оборудование в химической, нано- и биотехнологии (НЭРПО-2013): материалы 3-й международной научно-технической конференции (г. Москва, 23-26 сентября 2013). Москва, МГОУ. 2013. С. 167 – 171.

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень)

33. Петрова Ж.О., Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М. Розробка енергозберігаючих технологій виробництва функціональних порошків. Сучасні технології харчових виробництв: матеріали 1-й міжнародної науково-практичної конференції (м. Вінниця, 26-27 березня 2015). Вінниця, ВНАУ. 2015. С. 56 – 59.

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень)

34. Пазюк В.М. Сушіння насінневого зерна в теплонасосній сушильній установці. Енергоощадні машини і технології: тези доповідей II Міжнародної

науково-практичної конференції (м. Київ, 29 вересня – 1 жовтня 2015). Київ, КНУБА. 2015. С. 83.

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

35. Пазюк В.М. Удосконалення процесів та обладнання для сушіння насіннєвого зерна. Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: тези доповідей Міжнародно-практичної конференції (м. Харків-Мелітополь –Кирилівка, 8 – 11 вересня 2015). Харків-Мелітополь –Кирилівка, ХДУХТ. 2015. С. 69 – 70.

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

36. Петрова Ж.О., Пазюк В.М., Самойленко К.М. Ресурсозберігаюча технологія отримання насіння томатів та антиоксидантних порошків на основі томату та буряку. Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції - основні засади її конкурентоздатності: матеріали VII Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції (м. Київ, 13 вересня 2018). Київ, НУХТ. 2018. С. 43 – 45.

(Особистий внесок автора полягає у співавторстві наведених положень)

37. Пазюк В.М. Підвищення енергоефективності сушіння насіння зернових культур із тепловими насосами. Удосконалення процесів і обладнання харчових і хімічних виробництв: збірник наукових праць XVII міжнародної наукової конференції (м. Одеса, 3-8 вересня 2018). Одеса, ОНАХТ. 2018. С. 116 – 120.

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

38. Пазюк В.М. Удосконалення процесів та обладнання для сушіння насіння рослинних культур і розробка безвідходних енергоефективних теплотехнологій. Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: матеріали

міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 15 травня 2018).
Харків, ХДУХТ. 2019. С. 229 – 230.

(Особистий внесок автора полягає у розробленні методології досліджень, проведенні експериментальних досліджень, узагальнення результатів).

Наукові праці, що додатково відображають наукові результати дисертації:

Патенти на винахід:

39. Патент на винахід № 107899. (UA) Україна, С2 МПК А23 L1/212. Спосіб одержання фітоестрогенного порошку з насіння ріпаку та моркви. Петрова Ж.О., Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Воронцов М.Є.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики, опубл. 25.02.15, бюл. 4.

(Особистий внесок автора полягає в участі та розробці способу, узагальнення результатів).

40. Патент на винахід № 109083. (UA) Україна, С2 МПК А23 В7/02. Лінія для виробництва композиційних антиоксидантних порошоків з рослинної сировини. Снежкін Ю.Ф. Петрова Ж.О., Пазюк В.М., Гетманюк К.М.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики, опубл. 10.07.15, бюл. 13.

(Особистий внесок автора полягає в участі та розробці лінії для виробництва композиційних антиоксидантних порошоків).

41. Патент на винахід № 115015. (UA) Україна, С2 МПК F26В9/00. Установа для сушіння рослинної сировини. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Ловейко І.О., Петрова Ж.О.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики, опубл. 28.08.17, бюл. 16.

(Особистий внесок автора полягає в участі та розробці установки для сушіння рослинної сировини, узагальнення результатів).

Технічні умови України

42. Технічні умови «Порошки антиоксидантні з рослинної сировини» ТУ У 10.3-05417118-045:2012. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М.,

Гетманюк К.М. *(Автор приймав участь у розробці нових видів харчових продуктів з антиоксидантними властивостями та затвердженні нормативної документації).*

43. Технічні умови «Порошки фолатовмісні з рослинної сировини» ТУ У 10.3-05417118-046:2012. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. *(Автор приймав участь у розробці нових видів харчових продуктів з фолатовмісними властивостями та затвердженні нормативної документації).*

44. Технічні умови «Порошки фітоестрогенні з рослинної сировини» ТУ У 10.3-05417118-047:2012. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. *(Автор приймав участь у розробці нових видів харчових продуктів з пребіотичними властивостями та затвердженні нормативної документації).*

45. Технічні умови «Порошки пребіотичні з рослинної сировини» ТУ У 10.3-05417118-048:2012. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. *(Автор приймав участь у розробці нових видів харчових продуктів з пребіотичними властивостями та затвердженні нормативної документації).*

SUMMARY

Paziuk V.M. Heat engineering basis of drying of seed grain - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining a scientific degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.14.06 - Technical Thermophysics and Industrial Heat Power Engineering (144 - Thermal Power Engineering). - Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to solving the scientific and applied problem of increasing the energy efficiency of drying seeds of cereals, oilseeds, vegetables and technical crops, and introducing experimentally grounded up-to-date technical solutions in the development of technological lines and equipment.

World preconditions for increasing the energy efficiency of drying seeds of cereals, oilseeds, vegetables and industrial crops are aimed at developing rational drying regimes, the use of renewable energy sources and secondary energy resources, and independence from centralized supply of heat and electricity.

Laboratory work on the scientific basis for the development of modern research on energy efficiency improvement of grain drying A.V. Luikova, AS Ginzburg, VV Krasnikov G.K. Filonenko, MO Grishin, V.I. Zhidko, V.A. Rezchikova, M.I. Malin, Yu.F. Snezhkina, Zh.O. Petrova, G.K. Stankevich, I.I. Gaponyuk, O.G. Burdo, V.I. Atanazevicha, V.S. Ukolova, M.V. Ostapchuk, G.M. Okunya, A.G. Chizhikov and other scholars.

The problem of preservation of seed material is devoted to the works of the following researchers: G.M. Stankevich, VI Atanazevicha, V.M. Atamanyuk, MG Golika, M. Soares, M. Jorge, F. Montanuci, M. Markowsky, W. Sobieski, I. Konopka, D. Broker, J. Franca Neto, F. Krzyzanowski, S. Afrakhteh, E. Frahmandfar, A. Hamidi, H. Ramandi, K. Sacilik, R. Guiné, F. Pinho, M. Barroca et al.

Analysis of research on the drying of seeds of cereals, oilseeds, vegetables and industrial crops indicated that there are problems with the drying of seed crops, therefore, in order to obtain high quality seeds, the following tasks should be solved:

- to analyze the current state of scientific and practical research on the drying of seeds of cereals, oilseeds, vegetables and technical crops on the basis of conducting a literary review and to establish the reason for the low efficiency of the process;

- to investigate kinetics of drying of seed material according to the developed classification;

- to study qualitative characteristics of seed material from drying modes;

- develop a mathematical model of the grain drying process and derive regression equations with the construction of the response surface from the influence of the factors on the drying time, the similarity and temperature of the heating of the seeds;

- perform the theoretical calculation of the kinetics of drying seeds of cereals, oilseeds, vegetables and industrial crops, and obtain generalized characteristics of the kinetics of the process in the second drying period with the determination of coefficients and relative drying factors, generalized drying rate;

- calculate the theoretical drying time and make a comparison with the experimental data on the kinetics of the drying process of seeds of cereals, oilseeds, vegetables and technical crops;

- to determine thermophysical characteristics of oilseed and vegetable seeds;

- to investigate the heat-mass-exchange process of dehydration of seed materials taking into account the properties of the material and the modes of drying;

- to develop energy-efficient low-temperature modes of drying seeds of cereals, oilseeds, vegetables and technical crops with a reduced moisture content of the coolant;

- to develop experimental stands with a heat pump and to study the kinetics of drying in energy-efficient low-temperature drying modes with reduced moisture content of the coolant of grain of seeds, oilseeds, vegetables and technical crops;

- to investigate the qualitative characteristics of grain, oil, vegetable and technical crops seeds during drying in energy-efficient regimes with a reduced moisture content of the coolant on experimental stands with a heat pump;
- to substantiate new resource-energy saving technologies for obtaining seeds of cereals, oilseeds, vegetables and technical crops;
- to develop an energy efficient scheme for the operation of a five-ton dryer with a heat pump for drying seeds of cereals, oilseeds and industrial crops;
- carry out the industrial testing of the proposed scientific and technical decisions.

The following experimental stands have been created for solving the above problems:

- experimental convective booth with an automatic system of data collection and processing;
- heat pump stand for drying seeds of cereals, oilseeds and industrial crops;
- heat pump stand for drying of large-sized seeds of vegetable and vegetable crops.

The multiplicity of factors and their interrelationship makes it difficult to obtain analytical dependencies of kinetics of drying seeds of cereals, oilseeds, vegetables and technical crops. Therefore, when describing the kinetics of drying, empirical dependencies and determined drying coefficients were used. The most approximate method for calculating the kinetics of drying of seed material is the method based on the study of the general laws of the process, which approximates the theory and practice of drying. These methods include AV methods. Likova G.K. Filonenko, MF Dokuchaev and MS Smirnov and VV methods Krasnikov and VA Daniilova Calculation of the drying time from the value of the maximum drying rate gives the difference of theoretical results with experimentally obtained at 3 - 10%.

The following methods were used to study and select the drying modes: determining the similarity of the seeds, statistical and mathematical processing of

experimental data by the second order orthogonal compositional plan, the similarity theory.

Increasing the intensity and energy efficiency of the process of drying seeds of plant crops is achieved:

- due to the introduction into the process stepped drying regimes on a convective drying stand. The drying time of the seeds decreases by 20-80%, the similarity increases for cereals, oil seeds from 3 to 6%, for sugar beet by 15%;

- reduction of moisture content of the coolant accelerates the process by 12 - 19%, with similarity of seeds at the level of 100%. Specific heat consumption during drying of seeds of cereals and oilseeds at the heat pump stand, depending on the drying regime, is 3675-4125 kJ / kg vyp. moisture;

- drying in step mode when the moisture content of the coolant is reduced on a heat pump booth reduces the durability by 42%. Specific heat consumption in step mode 60/40°C at drying of pumpkin seeds is 3700 kJ / kg vyp. moisture

The recommended stepped drying modes are implemented in the creation of energy-efficient technologies and drying equipment based on heat pumps for the production of seeds of cereals, oilseeds, vegetables and industrial crops.

An estimation of energy efficiency of the application of the scheme of heat pump mine grain dryer with the productivity of 15.5 t / year is carried out for drying of seeds of grain crops. The proposed scheme provides an opportunity to solve the following problems in a complex way:

- to increase the energy efficiency of the drying process with the specific heat consumption of 3024 kJ / hour, due to the installation of a heat pump based on diesel generator-generator ДВГА-315;

- simultaneously the development of thermal energy and electricity, not dependent on the electricity grids;

- the possibility of integrated use of the heat pump to ensure the technological process of drying seed grain with step-drying modes of 65/50°C and subsequent cooling at a temperature of 5°C;

- utilization of heat from the diesel generator-generator ДВГА-315 in a heat pump and heat exchangers before the heat transfer to the drying shaft;
- utilization of heat after the drying shaft and heat transfer to the heat pump condenser and simultaneous cooling of the seeds;
- intense cooling of the seeds with air drying from the evaporator of the heat pump.

The estimated payback period of the capital investments of the heat pump mine shaft TN-15,5 is 5.5 years.

The results of the work were introduced at the farms "Lyudmila Agro" (Vinnitsa region, Ploske village), "Evheniya" (Kirovograd region., Dorohiivka village) and the "Iza of the Future" Ltd. (Kyiv).

The practical significance of the results of the dissertation work is confirmed 5 patents for invention and 4 TU of Ukraine.

Among the scientific results of the dissertations received for the first time, one can note the following:

- experimentally established and substantiated the influence of parameters of convective drying of seeds of cereals, oilseeds, vegetables and technical crops on the intensity of their dehydration and similarity;
- for the first time, the regression equation of seeds of grain crops was determined with the construction of the response surface from the three-factor influence on the drying time, the similarity and temperature of the heating of the seeds;
- the maximum permissible temperature of heating grain seeds for the first time was determined on the basis of experimental studies of the kinetics of the process and qualitative characteristics of the material;
- for the first time, the influence of step modes on the kinetics of drying and the similarity of grain seeds, oilseeds, vegetables and technical crops has been developed and determined;

- first established the effect of reduced moisture content of the coolant on the kinetics of drying for seeds of cereals, oilseeds and industrial crops;
- the effect of drying kinetics on the quality of wheat, barley, oats, rape, soybeans and pumpkin seeds in a drying stand with a heat pump with the determination of specific heat consumption;
- relative coefficients and drying coefficients are calculated from the generalized drying curves and drying rates of grain, oilseed, vegetable and technical crops;
- formulas for calculating the generalized speed and duration of drying of seeds of cereals, oilseeds, vegetables and technical crops are obtained;
- for the first time, the heat capacity of soybean and pumpkin seeds was determined;
- for the first time, the specific heat of evaporation was determined when drying pumpkin seeds;
- the regularities of the change in the heat and mass exchange parameters in the processes of drying seeds of cereals, oilseeds, vegetables and technical crops are determined, with the determination of the temperature coefficient, the heat flux, the heat transfer coefficient, the Rebinder and Nusselt criteria.

Key words: kinetics of drying, temperature, moisture content of air, seeds, heat and mass transfer, step modes, heat pump dryer, specific heat consumption, energy efficiency, technology.

LIST OF PUBLICATIONS

Monographs

1. Snezhkin YU.F., Paziuk V.M., Petrova Zh.O., Chalaev D.M. Pump Grain Dryer for Seed Grain. Monograph. Kyiv: publishing house Polygraph Service Ltd., 2012. 154 p.

2. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Paziuk V.M. Energy-efficient heat engineering production of functional food powders. Monograph. Vinnitsa: publishing house "RVV VNAU", 2016. 458 p.

3. Snezhkin Yu.F., Paziuk V.M., Petrova Zh.O., Samoilenko K.M. Effective drying technology for vegetable seeds. Monograph. Vinnytsya: publishing house "RVV VNAU", 2019. 129 p.

Scientific papers, in which the main scientific results of the thesis are published:

4. Snezhkin Yu.F., Paziuk V.M., Petrova Zh.O. Influence of drying regime regimes on qualitative indicators of grain of seed purpose. Research Works of ONACHT, Odessa, 2011. Vol.40, Issue 1. P. 39 - 43

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The author's personal contribution consists in conducting research and co-authorship of the given scientific provisions).

5. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Mykhailyk T.O., Paziuk V.M. We will follow the regularities of dehydration of wheat, barley and oats in the elementary layer, depending on the moisture drying agent. Grain and bread. 2011. No 2. P. 46 - 47.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The personal contribution of the author consists in the co-authorship of the above-mentioned provisions).

6. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.A., Paziuk V.M. The study of the effect of drying parameters on the kinetics and obtaining high-quality, antioxidant functional powders. *Industrial heat engineering*. 2012. No 5. P. 31 - 36.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The author's personal contribution is to conduct studies on the kinetics of drying of functional vegetable raw materials).

7. Paziuk V.M. Heat pumps as a means of increasing the energy efficiency of the drying process. Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University in the field of technical sciences. Vinnytsya, VNAU, 2012. No 11. P. 375 - 378.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The author's personal contribution is to conduct and analyze literary research).

8. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Paziuk V.M. Hydrothermal treatment of functional raw materials. *Scientific works ONACHT*. Odessa, 2012. Vol. 41. Issue 1. P. 13 – 18.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The personal contribution of the author consists in the co-authorship of the above-mentioned provisions).

9. Paziuk V.M. Staggered modes of drying of plant raw materials with antioxidant properties. *Vibration in technology and technology*. 2013. No 3. P. 126 – 129.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The author's personal contribution is to conduct studies on the kinetics of drying antioxidant plant material).

10. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Paziuk V.M. Investigation of the process of grinding and classification of functional antioxidant beet-lemon raw materials. *Scientific works ONACHT*. Odessa, 2013. Vol. 43. Issue 1. P. 105 – 109.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The personal contribution of the author consists in the co-authorship of the above-mentioned provisions).

11. Paziuk V.M. The main directions of reduction of energy costs in the schemes of grain drying with a heat pump. Renewable energy. 2014. No. 1 (36). P. 76 – 81.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The author's personal contribution is to conduct and analyze literary research).

12. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Paziuk V.M. Heat-exchange processes during the drying of functional raw materials. Scientific works ONACHT. Odessa, 2014. Vol. 41. Issue 2. P. 303 – 308.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The personal contribution of the author consists in the co-authorship of the above-mentioned provisions).

13. Paziuk V.M., Paziuk O.D., Savchuk V.V. Modern dryers and measures for their energy improvement. All-Ukrainian scientific and technical journal "Engineering, power engineering, transport of agro-industrial complex". 2015. No. 2(90). P. 57 – 62.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The author's personal contribution is to determine the contribution to improving the energy efficiency of the drying process).

14. Snezhkin Yu.F., Paziuk V.M., Samoylenko K.M., Paziuk O.D. Application of stepped modes when drying wheat seeds. Scientific works ONACHT. Odessa, 2015. Vol. 47. Issue 2. P. 29 - 33.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

15. Petrova Zn., Snezhkin Y., Pazyuk V., Samoilenko K. Drying of antioxidant Composite Materials based on Table Beet. Energy engineering and control systems. 2015. Vol.1, No. 1. P. 25 – 28.

(Scientific professional edition of Ukraine, CrossRef, ICI Journals Master List)

(The personal contribution of the author consists in the co-authorship of the above-mentioned provisions).

16. Paziuk V.M., Paziuk O.D., Romanenko M.D. Energy-saving modes of drying of seed grain and their implementation in vibrating grain dryer. All-Ukrainian Scientific and Technical Journal "Vibration in Technology and Technologies" 2016. No. 3 (83). P.202-206.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

17. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Pazyuk V.M., Dub V.V. Creation of new thermal technologies for obtaining high-quality folate-based functional powders. Collection of scientific works of KHDUKHT. Kharkiv, 2016. Vol.. 1 (23). P. 80 - 89.

(Scientific professional edition of Ukraine, Index Copernicus, Google Scholar, Academic Resource Index (Research Bib), Info Base Index, Cite Factor, Scientific Indexing Services (SIS)).

(The personal contribution of the author consists in the co-authorship of the above-mentioned provisions).

18. Paziuk V.M. Heat-pump drying plants in the processes of drying the grain. All-Ukrainian scientific and technical journal "Engineering, power engineering, transport of agro-industrial complex". 2016. No. 2 (94). P. 53 - 57.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The author's personal contribution is to develop and enhance the energy efficiency of the drying process of grain crops).

19. Petrova Zh.O., Paziuk V.M. Development of integrated soldering for hot food special appointments. All-Ukrainian scientific and technical journal "Engineering, power engineering, transport of agro-industrial complex". 2017. No. 2 (97). P.76 - 80.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The personal contribution of the author consists in co-authorship of the above-mentioned provisions)

20. Paziuk V., Petrova Zn., Chepeliuk O. Determination of rational modes of pumpkin seeds drying. *Ukrainian Food Journal*. 2018. Volume 7, Issue 1. P. 135 – 150.

(Scientific professional edition of Ukraine, Web of science Emerging Sources Citation Index, Index Copernicus, EBSCO, Google Scholar, UlrichsWeb, CABI full text, Online Library of University of Southern Denmark, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS), Directory of Open Access Journals (DOAJ), InfoBase Index, Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI), FSTA (Food Science and Technology Abstracts).

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

21. Petrova Zn., Pazyuk V., Samoilenko K., Chepeliuk O. Effect of treatment modes on quality and antioxidant properties of tomato and beet processing products *Ukrainian Food Journal*. 2018. Volume 7, Issue 2. P. 291 – 302.

(Scientific professional edition of Ukraine, Web of science Emerging Sources Citation Index, Index Copernicus, EBSCO, Google Scholar, UlrichsWeb, CABI full text, Online Library of University of Southern Denmark, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Directory of Open Access scholarly Resources (ROAD), European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS), Directory of Open Access Journals (DOAJ), InfoBase Index, Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI), FSTA (Food Science and Technology Abstracts).

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

22. Paziuk VM, Petrova Zh.O., Dub V.V. The current state of the problem of increasing the energy efficiency of the drying process of grain seeds. Collection of scientific works of KHDUKHT. Kharkiv, 2018. Volume 1 (27). P. 231 - 243.

(Scientific professional edition of Ukraine, Index Copernicus, Google Scholar, Academic Resource Index (Research Bib), Info Base Index, Cite Factor, Scientific Indexing Services (SIS)).

(The author's personal contribution is to formulate and develop measures to improve the energy efficiency of the drying process).

23. Paziuk V.M., Rubanenko O.O., Vyshnevsky V.M. Increasing the energy efficiency of drying seeds of grain crops by applying heat pumps. Bulletin of the Khmelnytsky National University. 2018. No. 4. P. 251 - 253.

(Scientific professional edition of Ukraine, Index Copernicus, Google Scholar, PИИЦ, Polish Scholarly Bibliography).

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

24. Paziuk V.M. Investigation of low-temperature modes of drying of plant capillary-porous materials of spherical shape. CERAMICS: science and life. 2018. No. 4. P. 7 - 14.

(Scientific professional edition of Ukraine, Crossref, Research Bible, Scientific Indexing Services, Journal Factor, Eurasian Scientific Journal Index, General Impact Factor, World Catalogue of Scientific Journals, Google Scholar, Cosmos Impact Factor).

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

25. Paziuk V.M. Justification of the modes of drying seeds of pumpkin seedlings with convective heat supply. Collection of scientific works of KHDUKHT. Kharkiv 2018. Volume 2 (28). P. 155 - 165.

(Scientific professional edition of Ukraine, Index Copernicus, Google Scholar, Academic Resource Index (Research Bib), Info Base Index, Cite Factor, Scientific Indexing Services (SIS)).

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

26. Paziuk V.M., Liubin M.V., Yaropud V.M., Tokarchuk O.A., Tokarchuk D.M. Research on the rational regimes of wheat seeds drying. INMATEH - Agricultural Engineering. 2018. Volume 56, No 3. P. 39 – 48.

(ELSEVIER /SciVerse SCOPUS, CLARIVATE ANALYTICS' WEB OF SCIENCE- Emerging Sources Citation Index (ESCI), ULRICH'S Web: Global Serials Directory, CABI, SCIPPIO, Index COPERNICUS International, EBSCO Publishing, Elektronische Zeitschriftenbibliothek).

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

27. Paziuk V.M. Research of heat and mass transfer processes of drying of vegetable seeds. Scientific works ONACHT. Odessa, 2018. Vol. 82. Issue 2. P. 129 - 136.

(Scientific professional edition of Ukraine)

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

28. Snezhkin Yu.F., Paziuk V.M., Petrova Zh.O. Mathematical treatment of the results of experimental studies of low-temperature modes of drying of capillary-porous materials of spherical shape. CERAMICS: science and life. 2019. No. 1. P. 20 - 25.

(Scientific professional edition of Ukraine, Crossref, Research Bible, Scientific Indexing Services, Journal Factor, Eurasian Scientific Journal Index, General Impact Factor, World Catalogue of Scientific Journals, Google Scholar, Cosmos Impact Factor).

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

Scientific works confirming the approbation of the materials of the thesis:

29. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Paziuk V.M. An effective technology for the production of antioxidant powders. Improvement of processes and equipment - the key to the innovative development of the food industry: materials of the international scientific and practical conference (Kyiv, April 10 - 11, 2012). Kyiv, NUKHT. 2012. P. 129 - 113.

(The personal contribution of the author consists in co-authorship of the above-mentioned provisions).

30. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.A., Paziuk V.M. Energy-efficient mode of drying antioxidant plant materials. XIV Minsk International Forum on Heat and Mass Transfer. Theses of reports and messages (Minsk, September 10 - 13, 2012). Minsk, MMF. 2012. P. 608 - 611.

(The personal contribution of the author consists in co-authorship of the above-mentioned provisions).

31. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Pazyuk V.M. Functional powders of vegetable raw materials. Environmental Protection. Energy saving. Balanced Natural Resources: Materials of the 2nd International Congress (Lviv, September 19-22, 2012). Lviv, ZUCTS. P. 98.

(The personal contribution of the author consists in co-authorship of the above-mentioned provisions).

32. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.A., Paziuk V.M., Decusha L.V. About the warmth of evaporation of functional vegetable raw materials. Non-stationary, energy- and resource-saving processes and equipment in the chemical, nano- and biotechnology (NERPO-2013): materials of the 3rd international scientific and technical conference (Moscow, September 23-26, 2013). Moscow, Moscow State University. 2013. P. 167 - 171.

(The personal contribution of the author consists in co-authorship of the above-mentioned provisions).

33. Petrova Zh.O., Snezhkin Yu.F., Pazyuk V.M. Development of energy-saving technologies for the production of functional powders. Modern technologies of food production: materials of the 1 st International Scientific and Practical Conference (Vinnytsya, March 26-27, 2015). Vinnytsia, VNAU. 2015. P. 56 - 59.

(The personal contribution of the author consists in co-authorship of the above-mentioned provisions).

34. Paziuk V.M. Drying of seed grain in a heat pump drying plant. Energy-efficient machines and technologies: abstracts of the reports of the 2 nd International Scientific and Practical Conference (Kiev, September 29 - October 1, 2015). Kyiv, KNUBA. 2015. P. 83.

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

35. Paziuk V.M. Improvement of processes and equipment for drying of seed grain. Innovative aspects of the development of the equipment of the food and hotel industry in the present: abstracts of the reports of the International-practical conference (Kharkiv-Melitopol-Kirilivka, September 8-11, 2015). Kharkiv-Melitopol-Kirilivka, KhDUHT. 2015. P. 69 - 70.

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

36. Petrova Zh.O., Paziuk V.M., Samoilenko K.M. Resource-saving technology for the production of seeds of tomatoes and antioxidant powders based on tomato and beet. Resource and energy-saving technologies of production and packaging of food products - the basic principles of its competitiveness: materials of the VII International specialized scientific-practical conference (Kyiv, September 13, 2018). Kyiv, NUKHT. 2018. P. 43 - 45.

(The personal contribution of the author consists in co-authorship of the above-mentioned provisions).

37. Paziuk V.M. Increase energy efficiency of drying seeds of grain crops with heat pumps. Improvement of processes and equipment of food and chemical industries: a collection of scientific works of the XVII International Scientific Conference (Odessa, September 3-8, 2018). Odessa, ONACHT. 2018. P. 116 - 120.

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

38. Paziuk V.M. Improvement of processes and equipment for drying seeds of plant crops and development of non-waste energy-efficient heat technologies. Development of food production, restaurant and hotel industries and trade: problems, prospects, efficiency: materials of the international scientific and practical conference (Kharkiv, May 15, 2018). Kharkiv, KhDUHT. 2019. P. 229-230.

(The author's personal contribution consists in developing a research methodology, conducting pilot studies, synthesizing the results).

Scientific works, which additionally represent the scientific results of the thesis:

39. Method of preparation of phytoestrogen powder from rape seeds and carrot. . Patent for invention 107899 Ukraine int. C2 A23 L1/212. Petrova Zh.O., Snezhkin Yu.F., Paziuk V.M., Vorontsov M.E.; applicant and patent holder Institute of Technical Thermophysics publication 25.02.2015, bul № 4.

(The author's personal contribution is to participate and develop a method, summarize the results).

40. Line for the production of composite antioxidant powders from vegetable raw materials. Patent for invention 109083 Ukraine int. C2 A23 B7/02. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Paziuk V.M., Hetmanyuk K.M.; applicant and patent holder Institute of Technical Thermophysics publication 10.07.2015, bul № 13.

(The author's personal contribution is to participate and develop a method, summarize the results).

41. Plant for drying vegetable raw materials. Patent for invention 115015 Ukraine int. C2 F26 B9/00. Snezhkin Yu.F., Paziuk V.M., Petrova Zh.O., Loveiko I.O.; applicant and patent holder Institute of Technical Thermophysics publication 28.08.2017, bul № 16.

(The author's personal contribution is to participate and develop a method, summarize the results).

42. Specification of Ukraine "Antioxidant Powders from Vegetable Raw Materials" 10.3-05417118-045:2012. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Paziuk V.M., Hetmanyuk K.M.

43. Specification of Ukraine "Powders of folate-containing plant material". 10.3-05417118-046:2012. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Paziuk V.M.

44. Specification of Ukraine "Phytoestrogenic Powders from Vegetable Raw Materials". 10.3-05417118-047:2012. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Paziuk V.M.

45. Specification of Ukraine "Prebiotic Powders from Vegetable Raw Materials". 10.3-05417118-048:2012. Snezhkin Yu.F., Petrova Zh.O., Paziuk V.M.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	40
ВСТУП	41
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ, ОЛІЙНИХ, ОВОЧЕВИХ ТА ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР	50
1.1. Огляд літературних досліджень із сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур та їх класифікація.	50
1.1.1. Аналіз виробництва та потреба в насінні зернових, олійних, овочевих та технічних культур	50
1.1.2. Класифікація насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур	57
1.1.3. Режими сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур	60
1.2. Характеристика методів сушіння насінневих культур в існуючих типах зерносушарок та рекомендації із збільшення інтенсивності сушіння ..	68
1.3. Аналіз сучасного стану сушильної техніки для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур і їх техніко-економічні показники ...	75
1.4. Структура витрати теплоти на сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур в зерносушарках і заходи з підвищення їх енергоефективності.	83
1.5. Обладнання для сушіння насіння овочевих культур	87
1.6. Напрямки підвищення енергоефективності процесу сушіння насінневого зерна із тепловими насосами	98
Висновки до першого розділу.	116
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ, ОЛІЙНИХ, ОВОЧЕВИХ ТА ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР ЯК ОБ'ЄКТ СУШІННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ..	117

2.1. Характеристика насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур як об'єкт сушіння	117
2.2. Основи теорії тепломасопереносу при сушінні капілярно-пористих матеріалів.	130
2.3. Методика математичного планування за ортогональним композиційним планом другого порядку при сушінні насіння зернових культур.	137
2.4. Експериментальні сушильні стенди.	141
2.4.1. Експериментальний конвективний стенд	141
2.4.2. Експериментальний стенд шахтного типу із тепловим насосом для сушіння насіння зернових та олійних культур.	149
2.5. Методика визначення якісних характеристик насінневого зерна ...	153
2.6. Похибка обробки результатів експерименту	154
Висновки до другого розділу	155
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ ТА ЯКОСТІ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ, ОЛІЙНИХ, ОВОЧЕВИХ ТА ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР	157
3.1. Дослідження режимів сушіння насіння та якості зернових культур .	157
3.1.1. Дослідження режимів сушіння та якості насіння пшениці. ...	157
3.1.2. Дослідження режимів сушіння та якості насіння вівса та ячменю	168
3.1.3. Вибір режимів сушіння насіння зернових культур за статистично-математичним методом обробки експериментальних даних ...	182
3.2. Дослідження ступеневих режимів сушіння і якості насіння зернових та олійних культур (пшениці, вівса, ячменю та сої)	198
3.3. Дослідження режимів сушіння та якісних характеристик насіння овочевих культур (томату, перцю та гарбуза)	211
3.4. Визначення режимів сушіння та якісних властивостей насіння технічних культур (ріпаку, цукрового буряку).	224

	38
Висновки до третього розділу	231
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ, ОЛІЙНИХ, ОВОЧЕВИХ ТА ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР НА СУШИЛЬНИХ СТЕНДАХ ІЗ ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ	232
4.1. Дослідження кінетики сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур (пшениця, ячмінь, овес, ріпак) на сушильному стенді шахтного типу із тепловим насосом	232
4.2. Сушильний стенд камерного типу із тепловим насосом для сушіння насіння олійних та овочевих культур (соя, гарбуз)	239
4.3. Дослідження кінетики сушіння насіння олійних та овочевих культур (соя, гарбуз) на сушильному стенді камерного типу із тепловим насосом	241
Висновки до четвертого розділу	252
РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ПРИ ЗНЕВОДНЕННІ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ, ОЛІЙНИХ, ОВОЧЕВИХ ТА ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР	253
5.1. Методи дослідження кінетики вологообміну при сушінні насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур	253
5.2. Розрахунок тривалості та швидкості процесів сушіння насіння за методами В.В. Краснікова та В.А. Данілова	255
5.3. Дослідження кінетики вологообміну при сушінні насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур	260
5.4. Визначення теплоємності та питомої теплоти насіння рослинних культур на диференційному мікрокалориметру	270
5.5. Дослідження тепломасообмінних процесів при сушінні насіння олійних та овочевих культур	280
Висновки до п'ятого розділу	287
РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ, ОЛІЙНИХ,	

	39
ОВОЧЕВИХ ТА ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР	289
6.1. Розробка енергоефективної теплотехнології та обладнання для отримання насіння зернових, олійних та технічних культур.	289
6.2. Техніко-економічний розрахунок зерносушарки ТН-15,5 із тепловим насосом та газовим двигуном генератором ДвГА – 315 для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур.	297
6.3. Розробка енергоефективних безвідходних теплотехнологій отримання насіння овочевих культур	301
6.4. Розробка енергоефективної безвідходної теплотехнології та обладнання переробки томатів	303
6.5. Розробка енергоефективної безвідходної технології та обладнання переробки гарбуза	308
6.6. Техніко-економічне обґрунтування впровадження безвідходної теплотехнології переробки гарбуза	312
6.7. Розробка енергоефективної безвідходної теплотехнології переробки перцю	319
6.8. Впровадження результатів наукових досліджень	320
Висновки до шостого розділу	327
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	328
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	331
ДОДАТКИ	356

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

W – вологість матеріалу, %;	$F_p, F_{кр}$ – дослідне і критичне значення
W_{II} – початкова вологість матеріалу, %;	критерію Фішера;
W_K – кінцева вологість матеріалу, %;	n – кількість дослідів у
W_p – рівноважна вологість насіння, %;	багатофакторному експерименті;
t – температура теплоносія, °С;	$S_{неад}$ – дисперсія неадекватності;
V – швидкість теплоносія, м/с;	S_y – дисперсія похибки дослідів;
d – вологовміст повітря, г/кг с. п.;	S_c – середня квадратична похибка по
δ – товщина шару зерна, мм;	вибірці;
τ – тривалість процесу сушіння, с;	Δ – середнє арифметичне відхилення;
$N = dW/d\tau$ – швидкість сушіння, %/хв.;	V_m – коефіцієнт варіації;
θ – температура нагрівання насіння, °С;	v – похибка експерименту;
E – енергія проростання, %;	Q_{BT} – питомі витрати теплоти,
C – схожість, %;	кДж/ кг вип. вологи;
α – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м ² К;	χ – відносний коефіцієнт сушіння;
λ – коеф. теплопровідності, Вт/(м·К);	r – питома теплота випаровування
c – питома теплоємність, Дж/(кг· К);	вологи, кДж/кг;
a – коеф. температуропровідності, м ² /с;	q – густина теплового потоку, Вт/м ² ;
ε – коеф. теплової активності, Дж/(м ² ·К·с ^{1/2});	b – температурний коефіцієнт сушіння;
K – коеф. сушіння, с ⁻¹ ;	Rb – критерій Ребіндера;
ρ – насипна щільність насіння, кг/м ³ ;	Nu – критерій Нусельта;
x_1, x_2, x_3 – кодовані значення факторів;	Bi – критерій Біо;
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – інтервали варіювання факторів;	μ – коефіцієнта перетворення
$a_0, a_1, a_2, a_3, a_{11}, a_{22}, a_{33}, a_{12}, a_{13}, a_{23}$ –	теплового насосу.
коефіцієнти рівняння регресії ;	
$G_{max}, G_{кр}$ – максимальне та критичне значення критерію Кохрена;	

ВСТУП

Актуальність теми

Україна велика аграрна держава, що потребує якісного насінневого матеріалу при виробництві зернових, олійних та овочевих культур. Орієнтовна середньорічна потреба в аграрному секторі в насінні складає 6,5 – 7 млн. т., із них зернових та олійних – 4 млн. т., овочевих 2,5 – 3 млн. т.

Підвищення схожості насінневого матеріалу зернових та олійних культур в загальнодержавному масштабі дозволить збільшити прибуток від зменшення витрат насінневого матеріалу і суттєво підвищити врожайність.

Проблемі сушіння насінневого матеріалу присвячені праці багатьох дослідників, але ними не розроблена концепція комплексного підходу для збереження насінневих властивостей матеріалів. Окремі дослідження авторів не дають однозначних рекомендацій із сушіння насіння зернових та олійних культур, насіння овочевих культур та цукрового буряку мало досліджені, що вимагає розробки загальних теплотехнічних основ сушіння насінневого зерна.

Високі енергетичні витрати на процес сушіння пов'язано з тим, що при сушінні однієї тони висушеного продовольчого зерна витрачається в середньому біля 12 кг умовного палива або 60 – 80% від загальних енергетичних витрат на виробництво насіння. При сушінні зерна насінневого призначення витрати теплоти збільшуються в 1,3 – 1,4 рази в порівнянні з продовольчим зерном, що пов'язано з особливими вимогами до якості зерна та із зміною біохімічних і структурно-механічних властивостей матеріалу.

Проблема зменшення енергетичних витрат на виробництво насінневого матеріалу розв'язується через ідею створення нового технологічного обладнання, ефективного використання теплоти в процесі сушіння, вдосконаленням технології сушіння.

При виробництві насіння овочевих культур виникає проблема утилізації відходів м'якоті та шкірки, що для деяких селекційних господарств є екологічною проблемою. Існуючий стан проблеми комплексно вирішується через раціональне використання енергетичних та сировинних ресурсів з

розробкою нових енергоефективних безвідходних технологій та обладнання із використанням теплових насосів.

Тому виникає необхідність розробки теплотехнічних основ сушіння насінневого матеріалу із застосування енергоефективних режимів і розробки теплотехнологій та обладнання для виробництва насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана згідно плану НДР Інституту технічної теплофізики НАН України, за наступними пошуковими тематиками: «Конденсаційний метод сушіння зернових матеріалів з використанням теплонасосної зерносушарки» (0109U002801), «Енергоефективні методи переробки рослинної сировини для отримання функціональних харчових порошоків» (0112U000453) автор дисертаційної роботи був відповідальним виконавцем.

Мета і задачі дослідження

теоретичне та експериментальне обґрунтування теплотехнічних основ сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур, створення безвідходних, ресурсозберігаючих теплотехнологій та розробка енергоефективного сушильного обладнання.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні **задачі дослідження:**

- на основі проведення літературного огляду проаналізувати сучасний стан наукових та практичних досліджень із сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур і встановити причину низької ефективності процесу;
- дослідити кінетику сушіння насінневого матеріалу за розробленою класифікацією;
- дослідити якісні характеристики насінневого матеріалу від режимів сушіння;

- розробити математичну модель процесу сушіння зернових культур та вивести регресійні рівняння із побудовою поверхні відгуку від впливу факторів на тривалість сушіння, схожість та температуру нагрівання насіння;
- виконати теоретичний розрахунок кінетики сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур і отримати узагальнені характеристики кінетики процесу в другому періоді сушіння з визначенням коефіцієнтів та відносних коефіцієнтів сушіння, узагальненої швидкості сушіння;
- розрахувати теоретичну тривалість сушіння та провести порівняння з експериментальними даними кінетики процесу сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур;
- визначити теплофізичні характеристики насіння олійних та овочевих культур;
- дослідити тепломасообмінний процес зневоднення насінневих матеріалів з урахуванням властивостей матеріалу і режимів сушіння;
- розробити енергоефективні низькотемпературні режими сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур із зниженим вологовмістом теплоносія;
- розробити сушильні стенди із тепловим насосом та дослідити кінетику сушіння в енергоефективних низькотемпературних режимах сушіння із зниженим вологовмістом теплоносія насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур;
- дослідити якісні характеристики насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур при сушінні в енергоефективних режимах із зниженим вологовмістом теплоносія на сушильних стендах із тепловим насосом;
- розробити нові ресурсоенергозберігаючі теплотехнології отримання насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур;
- розробити енергоефективну теплотехнічну схему роботи п'ятизонної зерносушарки із тепловим насосом для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур;

- провести виробничу апробацію запропонованих науково-технічних рішень.

Об'єкт дослідження – тепломасообмінні процеси при сушінні насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур.

Предмет дослідження – насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур, закономірності впливу режимів сушіння на інтенсивність і енергоефективність процесу та якість насіння.

Методи досліджень - аналітичні, фізико-технологічні, дослідні, розрахунково-статистичні, теоретичні із застосуванням систем автоматизації і комп'ютерних технологій.

При проведенні досліджень кінетики сушіння насіння застосовували експериментальні методи з використанням сучасних засобів вимірювання параметрів процесу: час проведення дослідів, температура теплоносія, маса та температура нагрівання матеріалу за допомогою автоматизованих систем збору та обробки інформації в розроблених програмах "Sooshka", та "System0" на спеціально спроектованих і виготовлених установках. Для обробки експериментальних даних використовувались методи математичного планування експерименту, а отримані дані оброблялись у сучасних інтегрованих системах Excel та Mathcad 5.

Для оцінки якості насіння використані стандартні методи досліджень передбачені ДСТУ 2240 – 2002, ДСТУ 4138 – 2002.

Теоретичні дослідження проведені з використанням методів, що ґрунтуються на основних положеннях теорії тепломасообміну, теорії подібності, що оброблялись за допомогою комп'ютерних технологій.

Наукова новизна одержаних результатів

- експериментально встановлено та обґрунтовано вплив параметрів конвективного сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур на інтенсивність їх зневоднення та схожість;

- вперше визначені рівняння регресії насіння зернових культур із побудовою поверхні відгуку від трьохфакторного впливу на тривалість сушіння, схожість та температуру нагрівання насіння;
- вперше визначено граничнодопустима температура нагрівання насіння зернових культур за даними експериментальних досліджень кінетики процесу та якісних характеристик матеріалу;
- вперше розроблено та визначено вплив ступеневих режимів на кінетику сушіння та схожість насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур;
- вперше встановлений вплив зниженого вологовмісту теплоносія на кінетику сушіння для насіння зернових, олійних та технічних культур;
- встановлено вплив кінетики сушіння на якість насіння пшениці, ячменю, вівса, ріпаку, сої та гарбуза в сушильному стенді з тепловим насосом із визначенням питомих витрат теплоти;
- із узагальнених кривих сушіння та швидкості сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур розраховані відносні коефіцієнти та коефіцієнти сушіння;
- отримані формули розрахунку узагальненої швидкості та тривалості сушіння насіння зернових, олійних, овочевих і технічних культур;
- вперше визначено теплоємність насіння сої та гарбуза;
- вперше визначено питому теплоту випаровування методом синхронного теплового аналізу при сушінні насіння гарбуза;
- встановлені закономірності зміни тепломасообмінних параметрів в процесах сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур із визначенням температурного коефіцієнту, теплового потоку, коефіцієнту теплопередачі, критеріїв Ребіндера, Нусельта.

Практичне значення одержаних результатів

- на основі проведених комплексних досліджень розроблена інженерна номограма визначення граничнодопустимої температури нагрівання насіння зернових культур;

- розроблені енергоефективні режими для сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур;

- розроблена енергоефективна теплотехнологія сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур із застосування енергоефективних режимів та введення в технологічний процес додаткової зони тепломасообміну після нагрівання матеріалу;

- розроблена комплексна енергоефективна теплотехнічна схема шахтної зерносушарки ТН -15,5 сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур із застосуванням теплового насоса та газового двигуна генератора з комплексним використанням теплоти утилізації димових газів і системи охолодження двигуна генератора;

- проведений техніко-економічний розрахунок впровадження і експлуатації низькотемпературних систем в зерносушарці ТН-15,5 із використанням теплового насоса та газового двигуна генератора в порівнянні з газовим теплогенератором RIELLO;

- розроблені енергоефективні безвідходні теплотехнології та обладнання переробки овочевих культур з отриманням насіння та харчового порошку.

За матеріалами розробки нових теплотехнологій та обладнання було отримано 3 патенти на винахід, розроблено та затверджено 4 ТУ України.

За результатами роботи впроваджені розроблені технології та обладнання на 3-х підприємствах: фермерське господарство “Євгенія” (Кіровоградської обл.), “Людмила-агро” (Вінницької обл.) і на ТОВ “Іжа майбутнього” (м. Київ).

Впровадження результатів роботи підтверджені відповідними актами.

Особистий внесок здобувача

Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані самостійно. Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні і доказі наукових положень, постановці та проведенні експериментальних досліджень і отриманні наукових результатів вказаних у дисертації. Також автор брав активну участь у створенні нових методик, формулюванні висновків і підготовці до публікації результатів досліджень.

Положення опублікованих в співавторстві з колегами і використаних в дисертації статей належать автору на основі рівноправного партнерства.

Особистий внесок здобувача підтверджується представленими документами і науковими публікаціями.

Апробація результатів дисертації

Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані самостійно. Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні і доказі наукових положень, постановці та проведенні експериментальних досліджень і отриманні наукових результатів вказаних у дисертації. Також автор брав активну участь у створенні нових методик, формулюванні висновків і підготовці до публікації результатів досліджень.

Положення опублікованих в співавторстві з колегами і використаних в дисертації статей належать автору на основі рівноправного партнерства.

Особистий внесок здобувача підтверджується представленими документами і науковими публікаціями.

Апробація результатів дисертації

Головні результати теоретичних та експериментальних досліджень включались у програми, докладались і отримали позитивну оцінку на: IV Міжнародній науково-практичній конференції „Современные энергосберегающие тепловые технологии (Сушка и термовлажностная обработка материалов)” (Росія, м. Москва, МДАУ, 2011); XIV Мінському між. форумі по тепло- і масообміну «ММФ 2012» (Беларусь, м. Мінськ 2012), Міжнародній науково-практичній конференції «Удосконалення процесів і обладнання-запорука інноваційного розвитку харчової промисловості» (м. Київ, НУХТ, 2012), Міжнародному конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, НУ «Львівська політехніка», 2012), XII Міжнародній науково-технічній конференції «Вібрації в техніці та технологіях в переробних і харчових виробництвах» (м. Вінниця, ВНАУ, 2012), 3-й Міжнародній науково-технічній конференції «Нестационарные, энерго- и ресурсосберегающие процессы и

оборудование в химической, нано- и биотехнологии (НЭРПО-2013)» (Росія, м. Москва, МДВУ, 2013), XIII міжнародній науково-технічній конференції «Вібрації в техніці та технологіях в переробних і харчових виробництвах» (м. Львів, НУ «Львівська політехніка», 2014), I Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології харчових виробництв» (м. Вінниця, ВНАУ, 2015), Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності» (м. Харків-Мелітополь-Кирилівка, ТДАТУ, 2015), Міжнародній науково-практичній конференції «Енергоощадні машини і технології» (м. Київ, КНУБ, 2015), IX Міжнародній конференції «Проблемы промышленной теплотехники» (м. Київ, ІТТФ-НУХТ, 2015), Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв» (м. Одеса, ОНАХТ, 2016), XV Міжнародній науково-технічній конференції «Вібрації в техніці та технологіях в переробних і харчових виробництвах» (м. Полтава, ПДАА, 2016), V Міжнародній науково-технічній конференції «Земля України – потенціал продовольчої, енергетичної, екологічної безпеки держави» (м. Вінниця, ВНАУ, 2016), Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні аспекти розвитку техніки, енергетики та транспорту АПК» (м. Вінниця, ВНАУ, 2017), II Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності» (м. Харків-Мелітополь-Кирилівка, ТДАТУ, 2017), VII Міжнародній спеціалізованій науково-практичній конференції «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності» (м. Київ, НУХТ, 2018), XVII Міжнародній конференції «Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв» (м. Одеса, ОНАХТ, 2018), Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність» (м. Харків, ХДУХТ, 2019), XI Міжнародній конференції «Проблемы промышленной теплотехники» (м. Київ, ІТТФ-НУХТ, 2019).

Публікації

Матеріали дисертаційної роботи опубліковані в 45 наукових працях, в тому числі: 3 монографії, 25 статей (7 статей у наукометричних базах *Index Copernicus*, *SCOPUS*, *WEB OF SCIENCE*, 23 статті у фахових виданнях за переліком МОН України), 10 тез та матеріалів доповідей на міжнародних наукових конференціях, одержано 3 патенти України на винахід та розроблені 4 ТУ України.

Обсяг і структура дисертаційної роботи

Дисертаційна робота викладена на 382 сторінках і складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел з 258 найменувань та 5 додатках. Основний зміст і результати роботи викладено на 330 сторінках, містить 166 рисунків і 56 таблиць.

РОЗДІЛ 1.

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ, ОЛІЙНИХ, ОВОЧЕВИХ ТА ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР

1.1. Огляд літературних досліджень із сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур та їх класифікація

1.1.1. Аналіз виробництва та потреба в насінні зернових, олійних, овочевих та технічних культур

Виробництво та зберігання високоякісного насіння – це одне з головних завдань суспільства, що передбачає вирішення питання продовольчої безпеки країни. Забезпечення країни посівним матеріалом та сировиною для переробної промисловості та його зберігання є необхідною умовою розвитку економіки, підвищення життєвого рівня людей та додаткові умови для запровадження інноваційних проектів.

Найближчі 100 років за даними ООН населення планети може збільшитись до 12 – 13 млрд. людей, що потребує збільшення виробництва зерна, зокрема пшениці до 1100 – 1200 млн.т. (в 2017 році в світі було вироблено 754 млн.т.) [1,2]. Відповідно, із-за збільшення виробництва виникає потреба у якісному насіннєвому матеріалу.

Основний сегмент ринку посівного матеріалу складає: зернові культури – 53,2%, олійні – 33,3%, овочеві – 13,5% [3].

Науковцями доведено, що оптимум продуктивності сорту перебуває в межах 60–70% його потенційної урожайності, а 30–40% залишається в резерві, якого достатньо для нарощування продуктивності в разі настання сприятливих умов. Світова практика і дані науково-дослідних установ свідчать, що в загальному підвищенні врожайності овочевих культур на частку сорту доводиться від 25 до 50% [4].

У структурі витрат в українських аграрних виробництвах питома вага вартості насіння і посадкового матеріалу у структурі матеріальних витрат на виробництво продукції рослинництва в середньому становить 17%.

Найбільший в світі виробники зернових культур за 2017 рік – це США, Китай, ЄС, Індія та Росія, Україна займає 7 місце, хоча за експортом вона друга після США (рис. 1.1) [2]. Україна понад 47% експортує зернових культур і імпортує лише 0,1%.

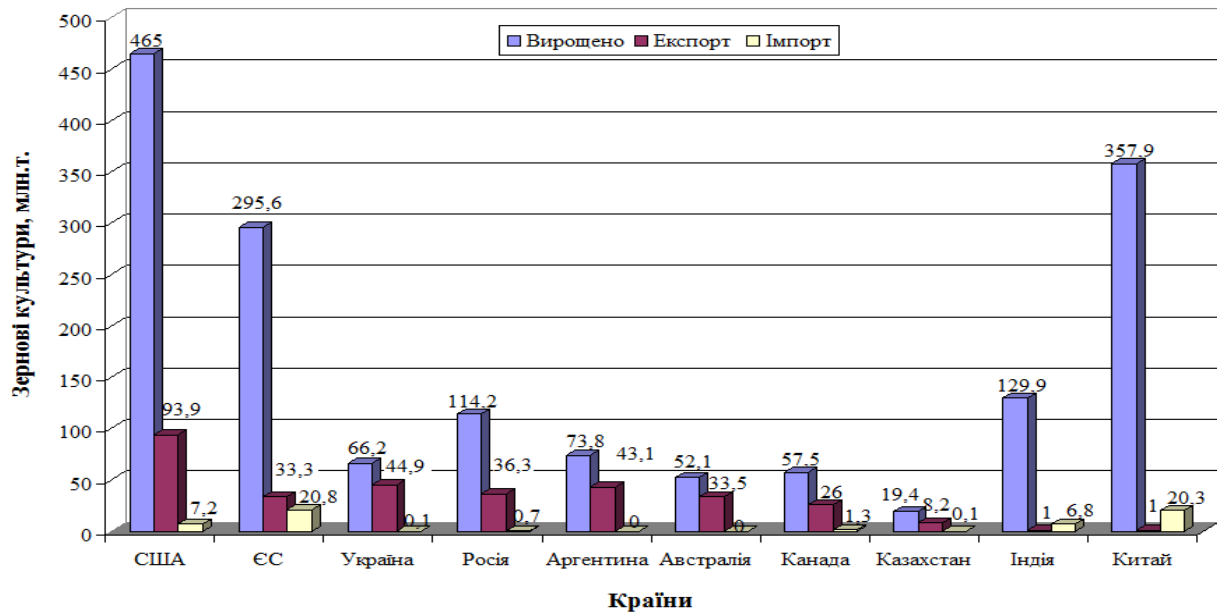


Рис. 1.1. Виробництво, експорт, імпорт зерна в світі за 2017 рік

Обсяги споживання насіння зернових культур в Україні за 1995 – 2017 рік наведено на рис. 1.2 [2,5]. За рахунок збільшення якості насіння, збільшується врожайність і відповідно зменшується потреба в насінні.



Рис. 1.2. Виробництво зерна та споживання насіння зернових та олійних культур в Україні

Орієнтовна середньорічна потреба в аграрному секторі України у насінні 6,5 – 7 млн. т.: зернових, олійних – 4 млн. т. (при виробництві 66,2 млн. тонн зерна). Аналізуючи період з 1995 по 2017 рік з виробництва та необхідності в насіння зернових та олійних культур можна сказати, що виробництво зерна в 2017 році в майже в 2 рази більше, а потреба в насінні навпаки зменшилась на 600 тис. т., що говорить про підвищення якості насіння, також зокрема закупки насіння іноземного виробництва.

У 2017 році в Україну експортували насіння зернових культур на суму 16,1 млн. дол. США, в т.ч.: пшениці – 2429 т., кукурудзи – 7746 т., жита – 446 т., ячменю – 37 т.

Загальна частка сортів національної селекції зернових культур становить 72 відсотки, зокрема озимої пшениці — 84, жита — 96, тритикале — 88, пшениці ярої — 87, гороху — 65, кукурудзи — 52, гречки — 100 відсотків (рис. 1.3) [6].

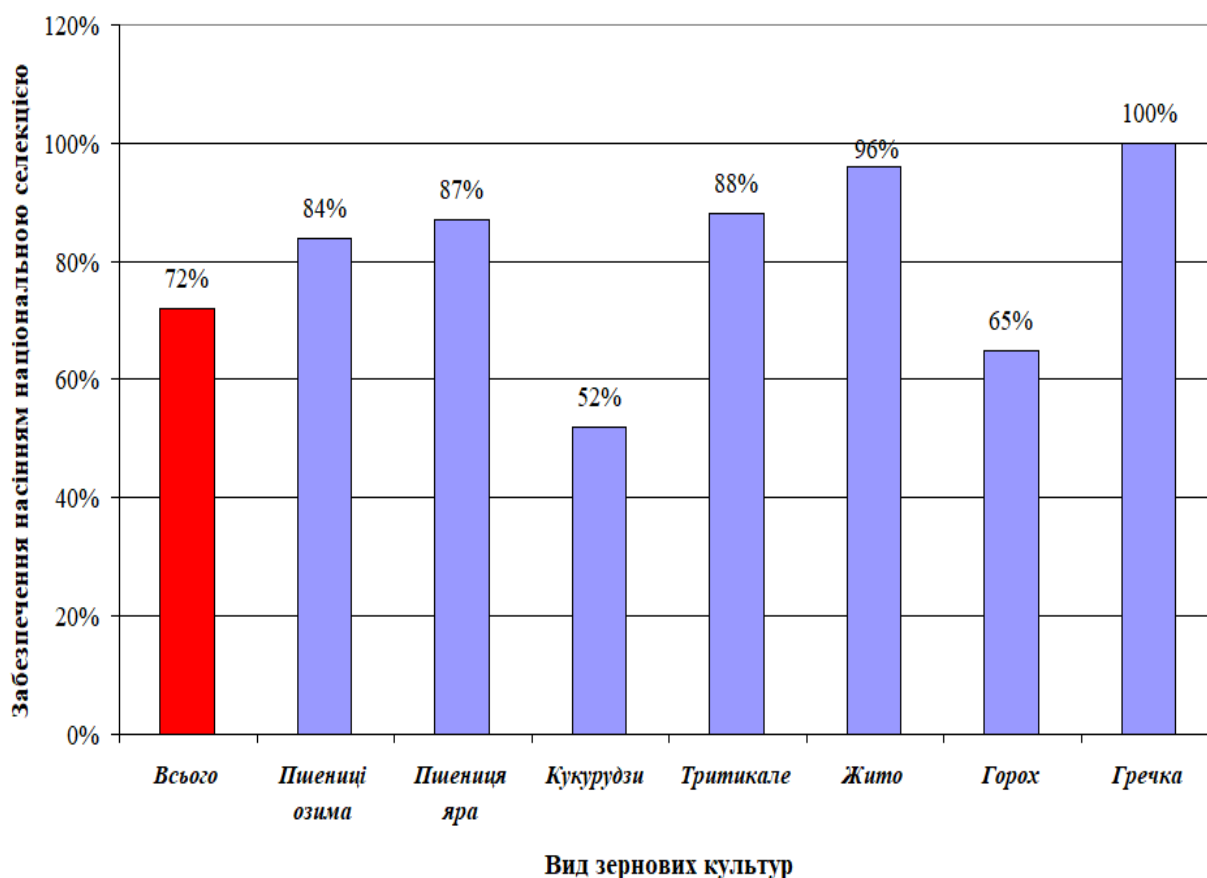


Рис. 1.3. Забезпечення насінням національною селекцією

Найбільше в Україні засівають площі під пшеницю, ячменю, вівса та кукурудзи (рис. 1.4).

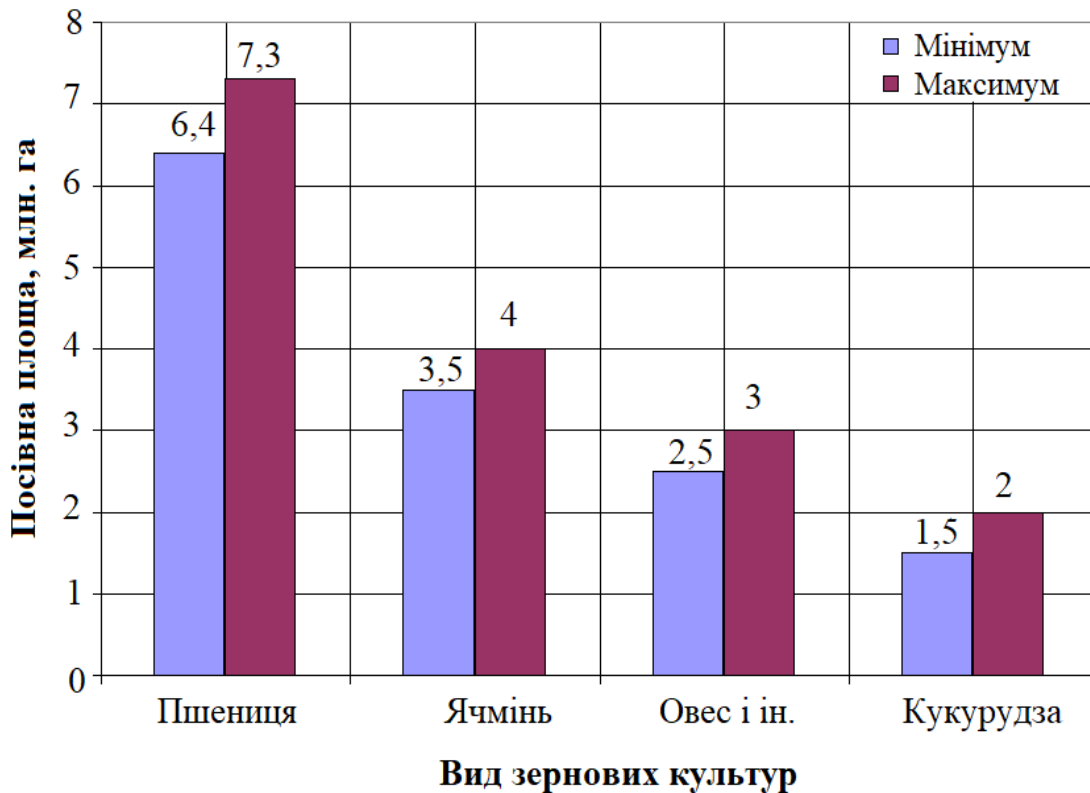


Рис. 1.4. Посівні площі під насіння зернових культур

На сьогодні потенціал збільшення виробництва в Україні не реалізований, які мають багаті земельні ресурси (перш за все, за рівнем врожайності). Так у середньому показник врожайності зернових культур в світі досягає близько 28,3 ц/га, в Європі - 60 ц/га, США - 56,8 ц/га, Китаї - 49,7 ц/га, Україні - 27,2 ц/га, Росії - 18,5 ц/га [5,7]. Однією із головних причин низької продуктивності є недостатня якість насіннєвого матеріалу.

Введення нових сортів насіння збільшує врожайність зернових культур до 40%: кукурудза - 100 - 140 ц/га, пшениці - 80 - 100 ц/га, вівса 65 - 80 ц/га, ячмінь - 60 - 70 ц/га, (рис. 1.5) [8].

Не тільки сортові ознаки насіння можуть підвищити врожайність зернових культур, але це також залежить від організації виробництва в господарстві та його місцезнаходження (рис. 1.6)[8].

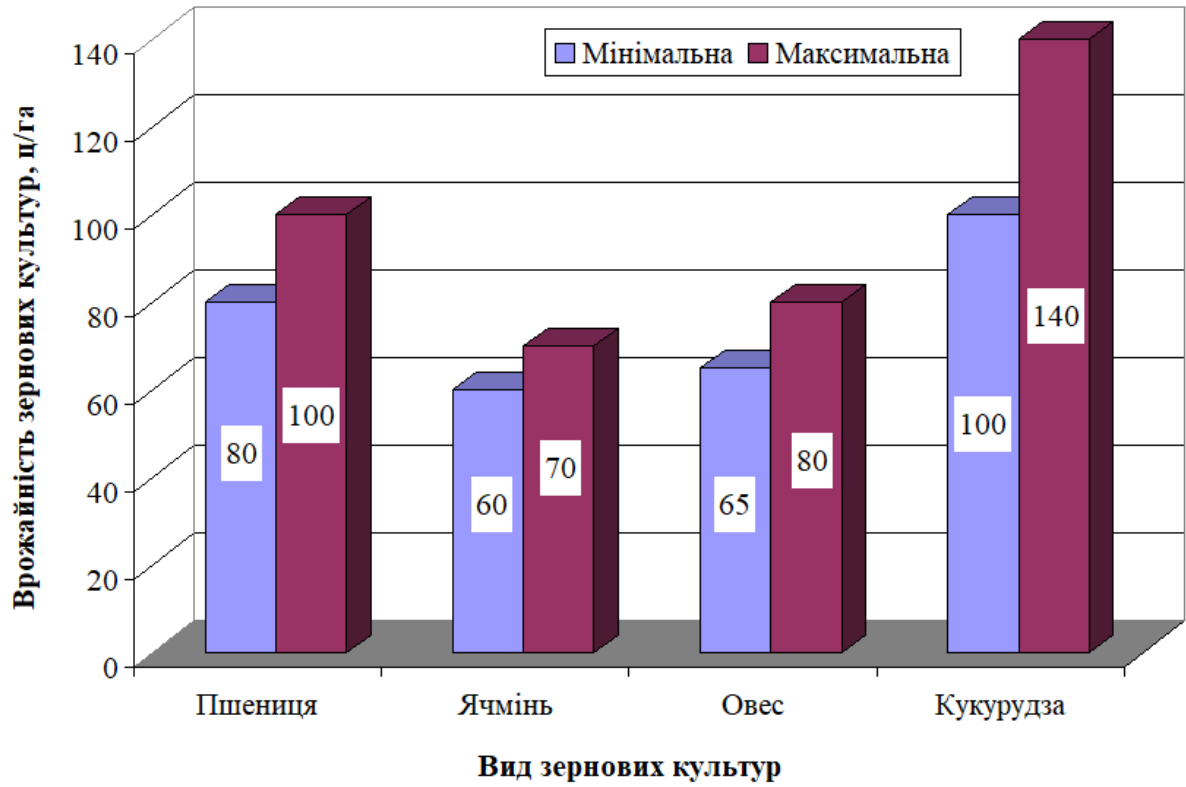


Рис. 1.5. Врожайність нових сортів зернових культур

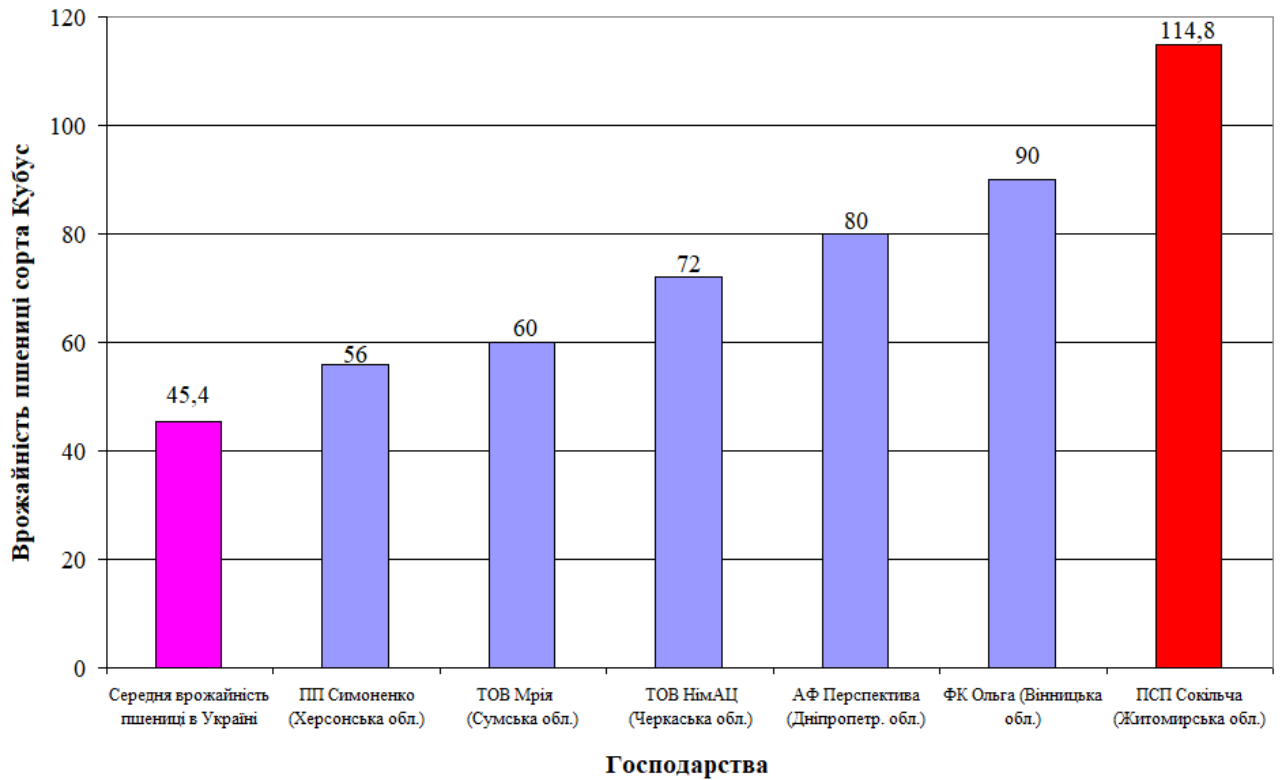


Рис. 1.6. Врожайність пшениці сорту «Кубус» від вирощування в різних господарствах

Найбільша врожайність в ПСП Сокільча Житомирської області, де врожайність насіння пшениці в 2,53 рази більша ніж середня врожайність в Україні.

Загалом в 2017 році порівняно із 2000-м виробництво овочів зросло в 1,6 разу навіть за умов зниження площі їх збирання, що не в останню чергу було досягнуто передусім за рахунок суттєвого підвищення середньої урожайності вирощування в 1,8 разів (рис. 1.7).

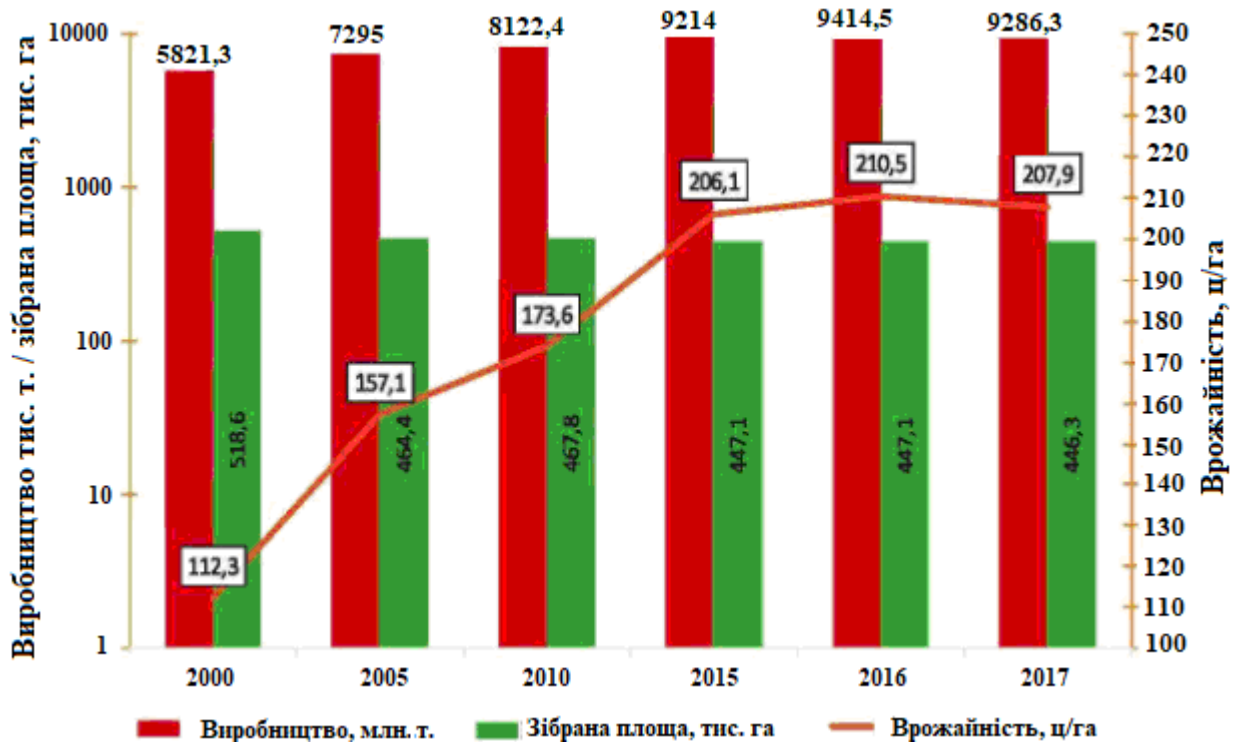


Рис. 1.7. Динаміка виробництва усіх овочевих культур в Україні

Орієнтовна середньорічна потреба в аграрному секторі України у насінні овочевих культур становить близько 2,5 – 3 млн тонн.

Пропозиції насінневого матеріалу на українському ринку формується як насіння іноземної та вітчизняної селекції так і безпосередньо від насінневих господарств, а також насінневих заводів.

Станом на 8 травня 2018 року до реєстру сортів рослин внесено 10 920 сортів, із них 6370 іноземної та 4550 вітчизняної селекції, овочеві культури відповідно 1933 та 709 [9]. За кількість сортів внесеного до реєстру сортів рослин овочеві культури займають друге місце, після зернові (табл. 1.1).

Структура Державного реєстру сортів рослин придатних для поширення в Україні станом на 8 травня 2018 року [9]

Група с/х культур	Всього сортів, шт.	у тому числі, селекції	
		іноземної	вітчизняної
Виноград	50	2	48
Декоративні та лікарські	285	25	260
Плодові та ягідні	482	79	403
Бобові	322	131	191
Буряк	271	218	53
Зернові	3853	2171	1682
Картопля	186	104	82
Кормові	465	142	323
Круп'яні	159	69	90
Овочеві	2642	1933	709
Олійні та прядивні	2101	1462	639
Інші	22	15	7
Інші сільськогосподарські	82	19	63
Всього	10920	6370	4550

Для поповнення державних запасів зерна різних рослинних культур вітчизняної селекції наріла необхідність у розробці наукових рекомендацій, щодо виробництва та збереження насінневих властивостей зерна.

Модель розширеного відтворення насіння зернових культур може складатися із 4 напрямків: сировинного (селекція), виробничого, інфраструктурного та споживчого (рис. 1.8). Вона пов'язує між собою виробництво, експорт і імпорт насіння та зернових і інших культур.

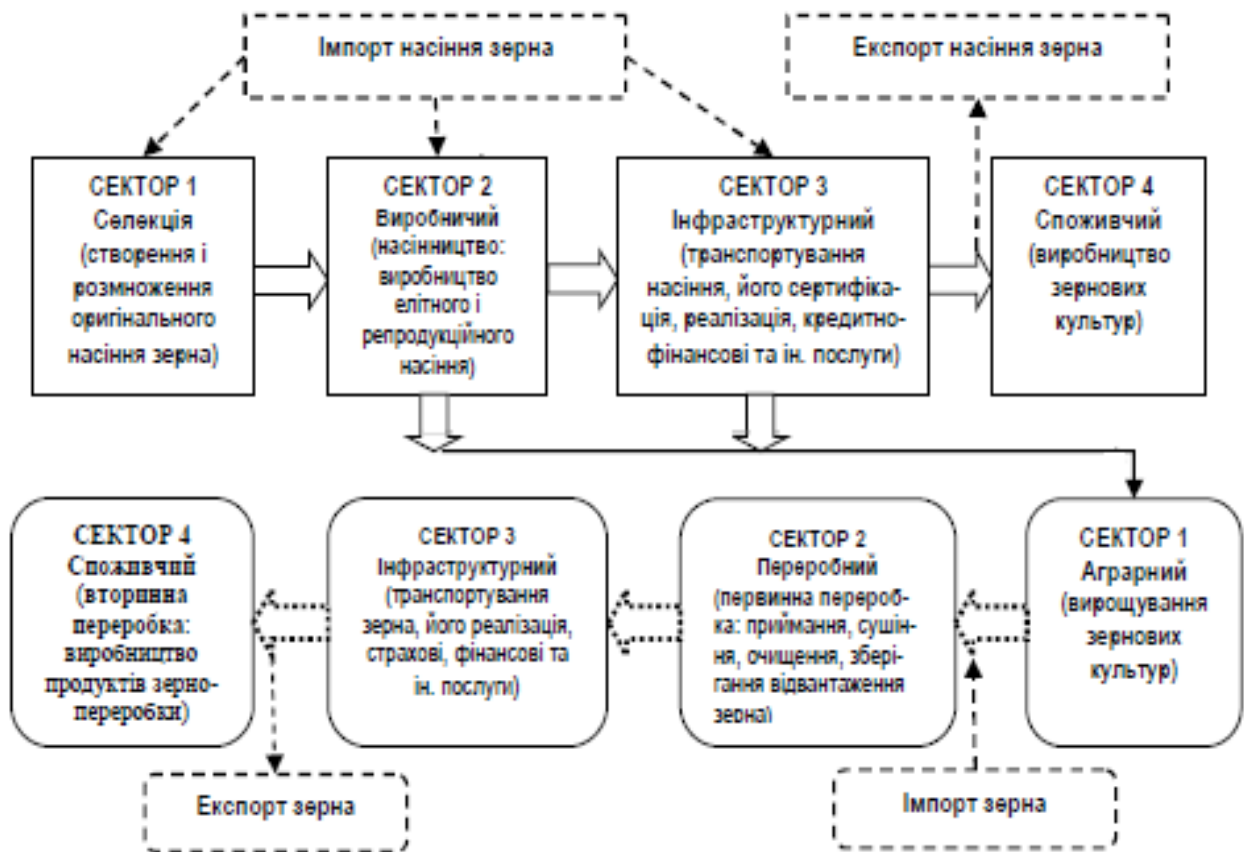


Рис. 1.8. Модель розширеного відтворення насіння зернових культур

Основна увага в даній роботі приділено переробному сектору 2, де і відбувається виробництво та зберігання насіннєвого матеріалу.

1.1.2. Класифікація насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур

Загальна класифікацію насіння рослинних культур пов'язана із визначення властивостей насіннєвого матеріалу і складається із 4-х основних ознак: види рослинних культур, категорії насіння, особливості технології селекції та якісні показники (табл. 1.2).

Серед наведеної класифікації насіння рослинних культур в основному представлені технологічні аспекти селекції, але не представлений виробничий або переробний сектор, що вимагає додаткового технологічного обладнання та вдосконалених технологій безвідходної переробки насіння.

Якісні показники насіння лише поділяються на кондиційне і некондиційне, що повністю не відображає якість насіння, тому в подальшому в роботі

застосовують нормативні вимоги до насіння, які вказують відсоток насіння що проростає.

Таблиця 1.2.

Класифікація насіння зернових, олійних, овочевих
та технічних культур [10]

Класифікаційна ознака	Видові характеристики
Види рослинних культур	1. Пшениця (яра та озима); 2. Ячмінь. 3. Кукурудза. 4. Жито. 5. Овес. 6. Рис. 7. Просо. 8. Зернобобові культури. 9. Олійні культури. 10. Овочеві культури.
Категорії насіння	1. Оригінальне – насіння первинних ланок насінництва, що використовується для подальшого розмноження; 2. Елітне – насіння, отримане від послідовного розмноження оригінального насіння; 3. Репродуктивне – насіння, отримане від послідовного розмноження елітного насіння.
Особливості технології селекції	1. Сорти (місцеві та селекційні) – сукупність рослин, створена в результаті селекції, з певними ознаками, що успадковуються. 2. Гібриди – виведені в результаті схрещування рослин культури, що належить до різних форм, сортів, видів і родів; підвищена врожайність в I поколінні (кукурудза)
Якісні показники	1. Кондиційне – сортові та посівні якості насіння відповідають вимогам нормативних документів 2. Некондиційне – за показниками якості не відповідає вимогам нормативних документів

Наведена класифікація насіння рослинних культур в табл. 1.2 не дає повної картини про виробництво насіннєвого матеріалу, а лише розглядає основні селективні особливості.

Для характеристики особливості обробки насіння, що вимагають більш ретельного підбору технологічних режимів, розроблена їх класифікація з розбиванням на 4 основні групи: зернові, олійні, овочеві та технічні (рис. 1.9).

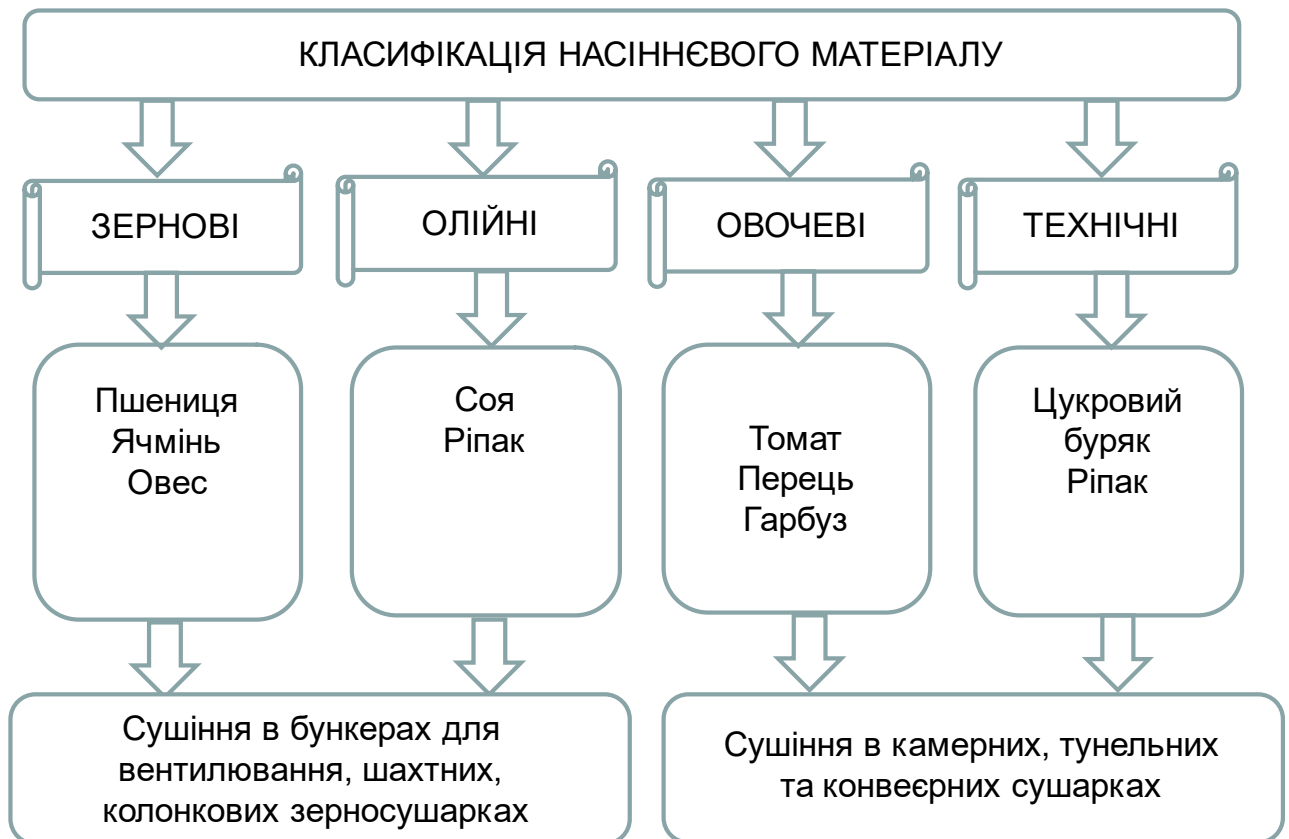


Рис. 1.9. Класифікація насіннєвого матеріалу

До зернових культур за класифікацією віднесено насіння пшениці, кукурудзи, ячменя, жита, вівса та просо. З наведених зернових культур в подальшому в роботі проведений аналіз трьох культур: пшениці, ячменю та вівса.

До другої групи - олійні культури віднесено сою, ріпак, сояшник - з цього класу для подальших досліджень вибрана соя та ріпак.

Овочеві культури в групі представлені наступними видами: помідор, перець, гарбуз, кабачок, столовий буряк. Для наступних досліджень вибране насіння перших трьох культур: помідору, перцю та гарбуза.

Технічні культури поєднують назву культур, що визначають напрямок виробництва. Насіння ріпаку в залежності від переробки відносять до 2 та 4 групи. В цій групі вибрано насіння цукрового буряку та ріпаку.

Кожний наведений клас насіння рослинних культур вимагає особливі умови підготовки та сушіння, а також вибір сушильного обладнання для реалізації процесу.

1.1.3. Режими сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур

Сушіння є основною технологічною операцією із приведення насіння в стійкий рівноважний стан. Технологія сушіння насіння передбачає знання біологічних властивостей зернової маси, як об'єкта сушіння, термостійкість зерна, закономірності випаровування вологи, визначення режимів сушіння та обладнання для реалізації процесу.

Характеризуючи процеси сушіння зерна, умовно їх можна поділити на м'який і жорсткий режими сушіння зерна. Перший характеризується відносно невисокою температурою та швидкістю агента сушіння. При м'якому режимі процеси нагрівання і сушіння зерна проходять з відносно невисокою швидкістю. Жорсткий режим характеризується підвищеними температурою та швидкістю теплоносія.

З економічної точки зору процес сушіння зерна бажано проводити при жорсткому режимі з зменшенням тривалості сушки. Разом з тим при жорсткому режимі внаслідок інтенсивного нагрівання та зневоднення відбувається погіршення його якості: розтріскування насіння, зміна кольору, часткове або повне руйнування зародку, деформація тканин.

Застосування високих температур на початку процесу сушіння вологого зерна призводить до швидкого зневоднення його поверхні, що робить оболонки менш проникливими для вологи (явище теплового «загартування» зерна). В цих умовах у поверхневому шарі утворюється водяна пара, вихід якої ускладнюється.

Сушіння насіння різних культур, пов'язане з певними обмеженнями. Як відомо [3,4] високі температури здійснюють негативний вплив на якість насіння, зменшуючи його енергію проростання і схожість, а також погіршуючи якість матеріалу технологічного призначення.

Тому рекомендується сушити насіння при порівняно м'яких температурних режимах. При м'якому режимі сушіння не має повної гарантії збереження насінневих властивостей зерна, так при тривалому низькотемпературному сушінні (залежність від параметрів навколишнього середовища) можливо утворення на поверхні плісняви і як наслідок псування насінневого матеріалу.

Основні параметри, що визначають вибір режиму сушіння та досягнення високих показників якості просушеного насіння є температура теплоносія, максимальна температура нагрівання зерна, початкова вологість та тривалість сушіння насіння.

Проблемою збереження насінневого матеріалу займаються як вітчизняні так і закордонні дослідники, найбільше досліджено насіння зернових та олійних культур, найменше публікацій зустрічається із сушіння насіння овочевих культур.

Провівши аналіз публікацій із сушіння зернових культур, таких авторів як Станкевича Г.М., Атаназевича В.І., Атаманюка В.М., Голика М.Г., Коваленко О.А., M. Soares, M. Markowsky та ін (рис. 1.10) [11-16].

Температура теплоносія в залежності від конструкції зерносушарки може коливатись від 40 до 80°C і вище. Також під час аналізу насінневих властивостей матеріалу має значення сортові ознаки насіння, зокрема термостійкість зерна.

В даних роботах для визначення режимів сушіння насіння зернових культур розглядаються як експериментальні конвективні стенди, так і промислові зерносушарки (шахтні, камерні, барабанні, в киплячому шарі та з інфрачервоними випромінювачами).

ЗЕРНОВІ	ОЛІЙНІ (СОЯ)	ОВОЧЕВІ (ТАРЕБУЗ)	ТЕХНІЧНІ (РІПАК)
<p><i>Г.М. Станкевич, Т.В. Страхова, В.І. Атаназевич</i> (Одеська національна академія харчових технологій)</p>	<p><i>Г.М. Станкевич, Т.В. Страхова, В.І. Атаназевич</i> (Одеська національна академія харчових технологій)</p>	<p><i>K. Sacilik</i> (Ankara University, Turkey) (Університет Анкари, Туреччина)</p>	<p><i>Г.М. Станкевич, О.М. Берегова</i> (Одеська національна академія харчових технологій)</p>
<p><i>В.М. Атаманюк, І.Я. Маткієвська, Д.М. Сімак</i> (Національний університет "Львівська Політехніка")</p>	<p><i>F.C. Krzyzanowski, S.H. West, J.B. Franca Neto</i> (University of Florida, USA) (Університет Флориди, США)</p>	<p><i>R. P. Guiné, F. S. Pinho, M. J. Barros</i> (Instituto Politécnico de Viseu, Portugal) (Політехнічний університет Візеу, Португалія)</p>	<p><i>В.І. Атаназевич, Т.В. Страхова</i> (Одеська національна академія харчових технологій)</p>
<p><i>M. Soares, M. Jorge, F. Montanuci</i> (Universidade Estadual de Maringá, Brazil) (Державний університет Марінга, Бразилія)</p>	<p><i>S. Afrakhteh, E. Frahandfar, A. Hamidi, H. Ramandi</i> (Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran) (Сарі Університет сільськогосподарських наук і природних ресурсів, Іран)</p>		<p><i>М.Я. Попов, Л.С. Пілявская, М.І. Черніков</i> (Всесоюзний науково- дослідний інститут зерна Сибірське відділення)</p>
<p><i>M. Markowski, W. Sobieski, I. Konopka</i> (University of Warmia and Masuria, Olsztyn, Poland) (Університет Вармії і Мазурії, Ольштин, Польща)</p>			

Рис. 1.10. Дослідження сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур в Україні та світі

Проведені літературні дослідження із сушіння насіння зернових та олійних культур в експериментальних та промислових сушарок вказало на недопустимість перегрівання зерна вище 40°C (В.І. Атаназевич, Т.В. Страхова), хоча в залежності від сортових ознак є можливість підвищення температури до 45°C (Г.М. Станкевич, О.М. Берегова) [11, 17-20].

Із досліджень сушіння насіння сої таких авторів, як Broker D.B., J.B. Franca Neto, Krzyzanowski F.C., Afrakhteh S., Станкевича Г.М., Атаназевича В.І та ін., температура нагрівання матеріалу не повинна перевищувати 43°C [21-25].

Для сушіння насіння бобових культур можуть застосовують одно-, дво- та трьохступінчаті режими сушіння, що застосовують для сушіння насіння гороху та сочевиці (табл. 1.3).

Таблиця 1.3.

Багатоступінчаті режими сушіння насіння гороху та сочевиці [11]

Початкова вологість насіння, %	Режим сушіння	Гранично допустима температура, °C					
		теплоносій для ступенів			зерна для ступенів		
		I	II	III	I	II	III
≤ 20	Одноступінчастий	60	-	-	35	-	-
20 - 25	Двоступінчастий	50	60	-	30	35	-
20 - 25	Трьохступінчастий	50	55	60	25	30	35
>	Двоступінчастий	50	55	-	25	30	-
>	Трьохступінчастий	50	50	60	25	30	35

Для сушіння насіння кукурудзи, запропоновано проводити в два етапа:

- перший етап: прогрівання та сушінні качанів кукурудзи в камерній сушарці СКП-6 при температурі теплоносія 43 – 45°C – температура нагрівання зерна 36 - 39°C, схожість насіння 98%,

- другий етап: обмолочування качанів кукурудзи та досушування зерна в сушарці ДСП-32от. Якість насіння в залежності від періоду обробки знижується і на останній стадії сушіння схожість становила 73% (температура теплоносія складає 50 - 55°C)[26,27].

Граничнодопустиму температуру зерна насіннєвого призначення встановлюють, виходячи з якісних характеристик: енергії пророщування та схожості.

Визначенню максимально або граничнодопустимої температури нагрівання насіння зернових культур присвячені роботи, таких авторів як С.Д. Птіцин, М. Хатчисон, В.І. Жидко, О.Н. Каткова, В.А. Резчиков, Н.Н. Невська, В.Л. Прокофьев, К.С. Есболганов та ін.. Рівняння із визначення граничнодопустимої температури нагрівання насіння зернових культур представлено в таблиці 1.4. [28 - 35].

Знаходження граничнодопустимої температури насіннєвого зерна в запропонованих формулах С.Д. Птіцина та М. Хатчисона залежить від вихідної вологості та часу нагрівання зерна [28 - 30].

В.І. Жидко визначив граничнодопустиму температуру нагрівання зерна через введення коефіцієнтів та значень тривалості нагріву t , n , k та вологовмісту зерна ω_c [31].

В.А. Резчиковим на основі обробки експериментальних даних запропонована емпірична формула в залежності від масової швидкості повітря $V\rho$, яка характеризує стан шару (від якого залежить тривалість сушіння), вологість ω і початкової температури теплоносія t [32].

Н.Н. Невська та В.Л. Прокофьев на основі масс-спектрометричного випромінювання особливостей сушіння насіння пшениці запропонували залежність гранично-допустимої температури зерна від поточної вологості ω і тривалості сушіння τ [33].

К.С. Есболганов в умовах рециркуляційного сушіння для розрахунку граничнодопустимої температури нагрівання насіння пшениці запропонував використовувати масову концентрацію зерна в камері нагрівання μ , температуру теплоносія t і величину вологовмісту ω_c . [34].

М.А. Теленгатор граничнодопустимої температури насіннєвого зерна залежить від поточної вологості ω та часу нагрівання насіння τ [35].

часу впливу на зернівку, що не впливає на процеси життєдіяльності в ній, залежить від вологості зерна – чим вище вологість, тим нижче допустимі значення температур.

Незворотне зниження життєдіяльності вологого зерна починається при 55°C (коагуляція білка в зародку і алейроновому шарі), а сухого при 65°C. При цих значеннях температури зерно не повинно знаходитися більше 5 хв і поступово зменшуватись від зміни вологості під час сушіння (рис. 1.11) [36].



Рис. 1.11. Зміна допустимої температури нагрівання зерна від тривалості сушіння для різної вологості насінневого зерна

Кінцева температура сушіння насінневого зерна через 90 хв: при початковій вологості сухого зерна 13% становить 52°C, а вологого зерна 24% - 45°C.

За денатурацією білку насіння олійних культур проводилась оцінка біохімічного складу та фізико-хімічні зміни в процесі сушіння. Якщо температура нижче 65°C, тоді денатурація білків не відбувається. Збільшення температури до 103°C приводить до денатурації білків до 70% за 20 – 30 хв. Температура вище 80°C приводить до зміни біохімічного та вітамінного складу, що негативно впливає на насінніві властивості насіння [37, 38].

Дослідження сушіння насіння овочевих культур проводилось в м'якому режимі сушіння в 2-х зонній сушильній установці лотково-барабанного типу: в I зоні температура сушіння - 28°C, в II зоні - 35°C (рис. 1.12).

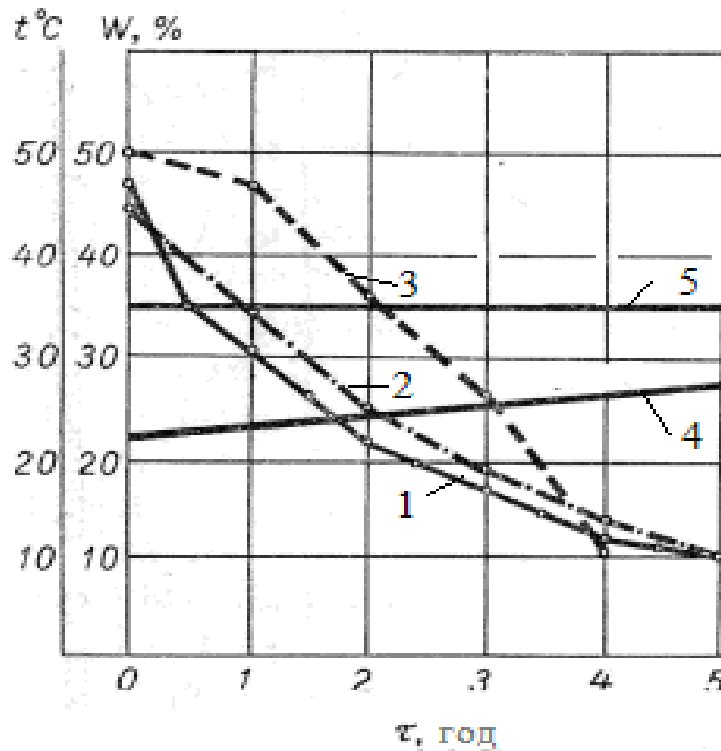


Рис. 1.12. Кінетика сушіння насіння овочевих культур та температурні криві при сушінні в сушильній установці лотково-барабанного типу:

1 – томат; 2 – огірок; 3 – гарбуз;

4 – температура насіння; 5 - температура теплоносія.

Кінетика сушіння насіння овочевих культур вказує, що найшвидше сушіння протікає у насіння гарбуза – тривалість складає 240 хв. [39]

З кривих сушіння видно, що насіння томату, огірка та гарбуза прогрівається на протязі всього часу сушіння.

Кінцева температура нагрівання насіння в кінці процесу становить 28°C, при температурі теплоносія 35°C в II зоні сушіння.

Також при розробці енергоефективних режимів сушіння зерна використовуються заходи із безперервним та імпульсним підведенням теплоти.

Використовують два варіанти подачі теплоносія:

- періодична подача агенту сушіння в сушильну зону;
- подача теплоносія та атмосферного повітря по черзі.

Перерви у подачі теплоносія або короткочасне охолодження зерна сприяють вирівнювання температури та вологості в насінні, дають можливість прискорити процес сушіння.

При застосуванні ізотермічного режиму сушіння замість охолодження атмосферним повітрям здійснюють продування його теплоносієм із невисокою температурою.

У свіжезібраного, недозрілого насіння показники насіннєвих якостей часто бувають порівняно низькими і процес дозрівання їх без відповідної обробки йде повільно і може тривати до 4 – 6 міс. Для суттєвого прискорення цього процесу рекомендується насіння оброблювати теплим повітрям. Якість насіння (схожість і енергія росту) при цьому збільшується і досягає свого найбільшого значення. Температура повітря при нагріванні насіння повинна бути в межах 18 - 36°C. Після обробки насіння теплим повітрям їх необхідно охолоджувати.

Проморожування вологого насіння до від'ємних температур (-10°C і нижче) може привести до зниження пророщування та схожості. Рекомендовано насіннєве зерно охолоджувати до температури 0°C, але не нижче мінус 3- 5°C. Така температура забезпечує тривале надійне збереження, не знижує насіннєвих властивостей насіння і виключає весняне самозігрівання [10].

Для підвищення схожості насіння також застосовують фізичні методи, такі як: осцилююче електромагнітне поле з інфрачервоним випромінюванням, ультразвукове опромінювання та озono-повітряною сумішшю та ін. [40 - 43]

1.2. Характеристика методів сушіння насіннєвих культур в існуючих типах зерносушарок та рекомендації із збільшення інтенсивності сушіння

Для сушіння насіння різних культур найбільш поширений конвективний спосіб сушіння. Реалізація конвективного способу сушіння вимагає розробку конструкцій сушарок, технологій сушіння, які повинні забезпечувати якісні характеристики насіннєвого матеріалу.

Для сушіння насіння зернових та олійних культур розроблена класифікація роботи існуючої сучасної зерносушильної техніки (табл. 1.5).

Стан зернового шару визначає активну поверхню зерна, що контактує з агентом сушіння, а значить збільшує інтенсивність процесу сушіння.

Класифікація роботи основних типів зерносушарок для сушіння
насіння зернових, олійних та технічних культур

Класифікаційна ознака	Характеристика	Класифікаційна ознака	Характеристика
За принципом дії	прямоточні	За типом теплоносія	повітряна
	рециркуляційні		топкові гази
Спосіб сушіння	конвективний		Напрямок потоку матеріалу та теплоносія
	кондуктивний	прямоточна	
	вакуумний	протиточна	
	радіаційний	перехресна	
	високочастотний		
Стан проведення процесу сушіння за рахунок зміни зернового шару	елементарний	Особливості конструкцій зерносушарок	камерні
	щільний нерухомий		шахтні
	щільний рухомий		колонкові
	псевдозріджений		барабанні
	віброкиплячий		карусельні
	падаючий		вібраційні
	завислий		інфрачервоні

Елементарний шар забезпечує високу інтенсивність процесу, а також дає можливість визначити вплив режимів сушіння на насінневі властивості насіннєвого матеріалу.

У щільному шарі контактуюча з агентом сушіння поверхня зерна не змінюється. У зв'язку з тим, що температура теплоносія сушіння низька (не може перевищувати допустимої температури нагрівання зерна), тривалість сушіння вимірюється годинами. Нерівномірність і велика тривалість сушіння частково усувається періодичною зміною напрямку продування зернового шару, тобто застосуванням реверсивного продування.

Гравітаційно-рухомий щільний шар широко використовується в шахтних сушарках, коли зверху у сушильну камеру подається зерно, а знизу

утворюється підпір. Завдяки повільному просуванню зерна в шахті з коробами (середня швидкість зверху вниз не перевищує 3...5 мм/с) [44] шар розширюється та перемішується, шпаруватість його порівняно з нерухомим шаром збільшується, що сприяє прискоренню сушіння зерна.

Товщина гравітаційно-рухомого зернового шару становить 100...250 мм у сушарках з коробами та 300...500 мм у сушарках із сітчастими стінками. Температури агента сушіння вищі, ніж у нерухомому шарі, і лежать в межах 50...60°C; швидкість його у шарі зерна (0,3...0,5 м/с) не повинна призводити до механічного порушення шару.

Якщо крізь шар зерна, що лежить на сітці, пропускати агент сушіння з певною швидкістю, то шар спочатку розрихлюється, а потім переходить у стан, який нагадує киплячу рідину і називається псевдорозрідженим. Внаслідок інтенсивного перемішування забезпечуються рівномірне нагрівання та сушіння окремих зерен, процеси тепловологообміну інтенсифікуються. Характерно, що швидкість випаровування вологи при цьому залишається сталою. Завдяки інтенсивному теплообміну зерно нагрівається до гранично допустимої температури вже за 1..3 хв. залежно від температури агента сушіння. Із збільшенням температури агента сушіння процес прискорюється, але водночас ще швидше інтенсифікується нагрівання зерна. Так, збільшення температури агента сушіння від 60 до 140 °C веде до зростання швидкості сушіння у 2,5 рази, а інтенсивності нагрівання зерна — в 4 рази.

Зерновий шар може бути переведений у псевдорозріджений стан під впливом вібраційних коливань або спільною дією повітряного потоку та вібрації. Застосування вібрації дає змогу зменшити швидкість повітря нижче критичної та розрахувати витрату повітря, виходячи з необхідної кількості теплоти. Найбільше впливає на стан шару амплітуда коливань, яка для різних зернових культур становить 2...10 мм. Частоту коливань беруть у межах 20...30 Гц, щоб забезпечити прийнятну схожість насінневого матеріалу. Для підвищення вібраційного впливу на зерно використовували вібраційні зерносушарки лоткового, спірального та барабанного типів з механічним

віброзбудженням [45 - 49].

Падаючий шар. Зерно рухається у протитечії сушильному агенту, тобто падає зверху вниз в камері нагрівання, а агент сушіння піднімається знизу вгору. Тривалість перебування зерна у камері мала (від 1,5...2,0 до 8...10 с), що залежить від висоти камери та швидкості зустрічного потоку агента сушіння (аеродинамічне гальмування), яку встановлюють на рівні, близькому до швидкості парусності зерна (5,5...6,0 м/с), а також від конструкції гальмівних елементів. Тому використовують агент сушіння з високою температурою (від 200 до 350 °С та вище). Зниження вологи зерна за цей час у камері нагрівання становить лише 0,3...1,0 %. У зв'язку з цим апарати з падаючим шаром застосовують не як самостійні сушарки, а як нагрівники зерна в комбінованих багатокамерних установках.

Завислий шар зерна досягається при швидкості агента сушіння більшій, ніж швидкість парусності зерна; при цьому вся його поверхня бере участь у тепловологообміні з повітрям. Нагрівання та сушіння зерна відбуваються рівномірно, сушіння здійснюється у пневмотрубі, в яку зерно подають у потік агента сушіння. Стабільність пневмотранспорту досягається при середній швидкості агента сушіння 22...24 м/с. У зв'язку з такою високою його швидкістю тривалість перебування зерна у пневмотрубі дуже мала (1,0..1,5 с). Тому навіть при температурі агента сушіння 350...400 °С вологість зерна знижується на 0,5...0,1 %. Разом з тим зерно швидко (за 5..6 с) нагрівається до гранично допустимої температури..

В табл. 1.6 наведені технологічні характеристики зернових шарів, що використовуються в конвективних зерносушарках.

Технологічні характеристики шарів зерна, що використовуються в зерносушарках

Назва шару	Технологічний процес	Тип зерносушарки	Товщина шару, мм	Час перебування зерна в шарі	Температура теплоносія, °С	Вологозміщення, %	Швидкість теплоносія, м/с	Питома витрата теплоносія, м ³ /(т·год)	Переваги	Недоліки
1. Щільний нерухомий	Сушіння	Порційні сушарки Р1-СЖ, S13, S21-S25	600...1500	4...12 годин	50...55 ¹⁾	3...4	(0,3...0,5)	500...1000	Простота конструкції	Значний час сушки, сушіння партій зерна з однією початковою вологістю, невелика швидкість руху зерна
2. Щільний гравітаційно рухомий	Сушіння	ДСП-32-ОТ	100...250 ²⁾ 300...500 ³⁾	25...30 хв.	120...160 ^{1,2)} 70... 90 ^{1,3)}	5...6	(0,3...0,5) 3...5 ⁴⁾	3500...3700	Рівномірне розподілення теплоносія, велика розпушеність шару	Великі габарити, неможливо сушіння невеликих об'ємів зерна, значний вплив атмосферного повітря на час сушіння
3. Псевдо-зріджений	Сушіння	ЗІР-50	200	40...50 с	120...140 ¹⁾	1,0...2,0	2...4	1500...2000	Інтенсивний тепломасообмін	Невисокий % зняття вологи, підвищені пит. витрати теплоти і електроенергії
4. Падаючий	Нагрівання	РД-2х25, У2-УЗБ-50	-	1,5 ... 2 с	200...350 ¹⁾	0,3...1,0	5,5...6,0	900...1350	Невеликі габарити; зручність монтажу	Не можливість регулювання часу перебування зерна
5. Завислий	Нагрівання	ДСП-24	-	1,5...2 с	350...400 ¹⁾	0,5...1,0	20...24	2700...2800	Рівномірне нагрівання зерна	Підвищена пит. витрата теплоти і електроенергії

¹⁾Нагрівання зерна проводиться до гранично допустимої температури: для продовольчого - 50 ... 55°С, для насінневого – 40°С

²⁾Для сушарок с коробами

³⁾Для сушарок з перфорованими стінками

⁴⁾Швидкість руху зерна, мм/с

При кондуктивному сушінні теплота передається насінню теплопровідністю від нагрітою поверхні, що обігривається паром, гарячою водою або газом. Водяна пара, що випаровується, поглинається холодним повітрям і виводиться із сушильної камери. Швидкість сушіння залежить від температури граючої поверхні та товщини зернового шару. Додаткова втрата теплоти на нагрівання граючої поверхні, при цьому може спостерігатися перегрівання та погіршення якості насіння.

Під час терморадіаційного сушіння підведення теплоти до зерна здійснюється завдяки застосування інфрачервоного випромінювання генераторами або сонячних променів. Природне сушіння насіння під сонячними променями розсипають шаром товщиною 100 – 150 мм та періодично перемішують, при цьому зберігаються насінневі властивості. Недоліком сонячного зерносушіння велика трудомісткість і залежить від метеорологічних умов.

При використанні випромінювання густина теплового потоку на поверхні зерна у 20 – 100 разів вища, ніж при конвективному сушінні. Тому доцільно використовувати комбіновані методи сушіння, тому установки інфрачервоного випромінювання застосовують для попереднього нагрівання зерна [50,51].

Найперспективнішим у зерносушінні є методи комбінованого сушіння: конвективно-кондуктивний, конвективно-контактний, радіаційно-конвективний та ін., що використовується як фактор інтенсифікації процесу.

Складовою процесу сушіння після нагрівання зерна є його охолодження. У прямоточних сушарках охолодження застосовується на кінцевій стадії сушіння, що пов'язано з необхідністю переведення зерна у рівноважний стан не тільки за вологістю та температурою, а й з метою його тривалого зберігання. Згідно з інструкцією сушіння температура зерна, що виходить із сушарки, може перевищувати температуру зовнішнього повітря не більш як на 10°C [52].

На рис. 1.13 представлені рекомендації для підвищення інтенсивності процесу сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур на основі літературних досліджень [11, 53 - 61]

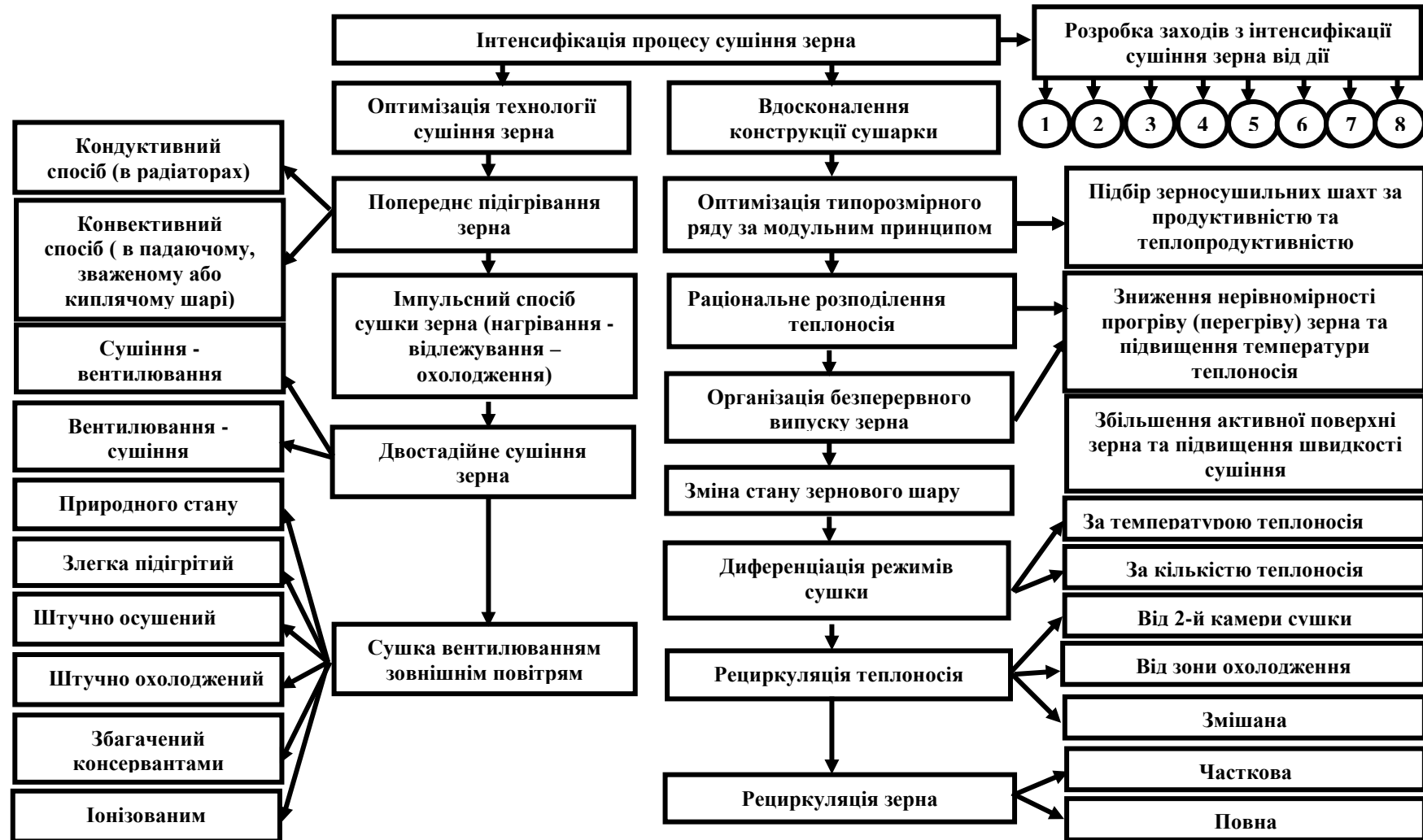


Рис. 1.13. Основні шляхи інтенсифікації сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур в зерносушарках:

- 1 – вібрації, акустичної дії; 2 – температури теплоносія; 3 – вологовмісту теплоносія;
 4 – перемішування зернового шару; 5 – тиску теплоносія; 6 – швидкості руху теплоносія;
 7 – товщини зернового шару; 8 – швидкості руху зерна.

Наведені фактори інтенсифікації процесу в існуючих зерносушарках для сушіння зернових, олійних та технічних культур продовольчого та технічного призначення. І вимагають розробки додаткових заходів із інтенсифікації процесу сушіння насінневого матеріалу. Напрямки інтенсифікації, які реалізовані в дисертаційній роботі для сушіння насінневого матеріалу: вплив температури, швидкості та вологовмісту теплоносія, товщина шару матеріалу.

1.3. Аналіз сучасного стану сушильної техніки для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур і їх техніко-економічні показники

Для сушіння зерна насінневого призначення найбільше використовують безперервно діючі зерносушарки шахтного та колонкового типів. Використання зерносушарок барабанного, карусельного та інших типів обмежено вимогами до якості насінневого матеріалу. Також сушіння насіння можливо в сушарках періодичної дії – порційних, камерних, в бункерах для вентилявання (рис. 1.14)

В бункерах для вентилявання сушіння насіння відбувається зовнішнім або злегка підігрітим повітрям (низькотемпературне сушіння), що ґрунтується на принципі гігроскопічної рівноваги між вологістю матеріалу та відносної вологості повітря, який продувається крізь шар матеріалу. Вентилувати зерно з метою сушіння можливо в тому випадку, коли відносна вологість повітря обумовлює поглинання випареної вологи.

Для досягнення кондиційної вологи зерна відносна вологість повітря в умовах гігроскопічної рівноваги повинна бути 65 – 70%. Підігрів повітря на 1° знижує його відносну вологість на 4-5%. Якщо врахувати, що в вентиляторі повітря нагрівається на 1 – 2°С (за рахунок сил тертя). Навіть при 100% відносної вологості достатньо додатковий підігрів повітря відбувається всього на 5 – 7°С.

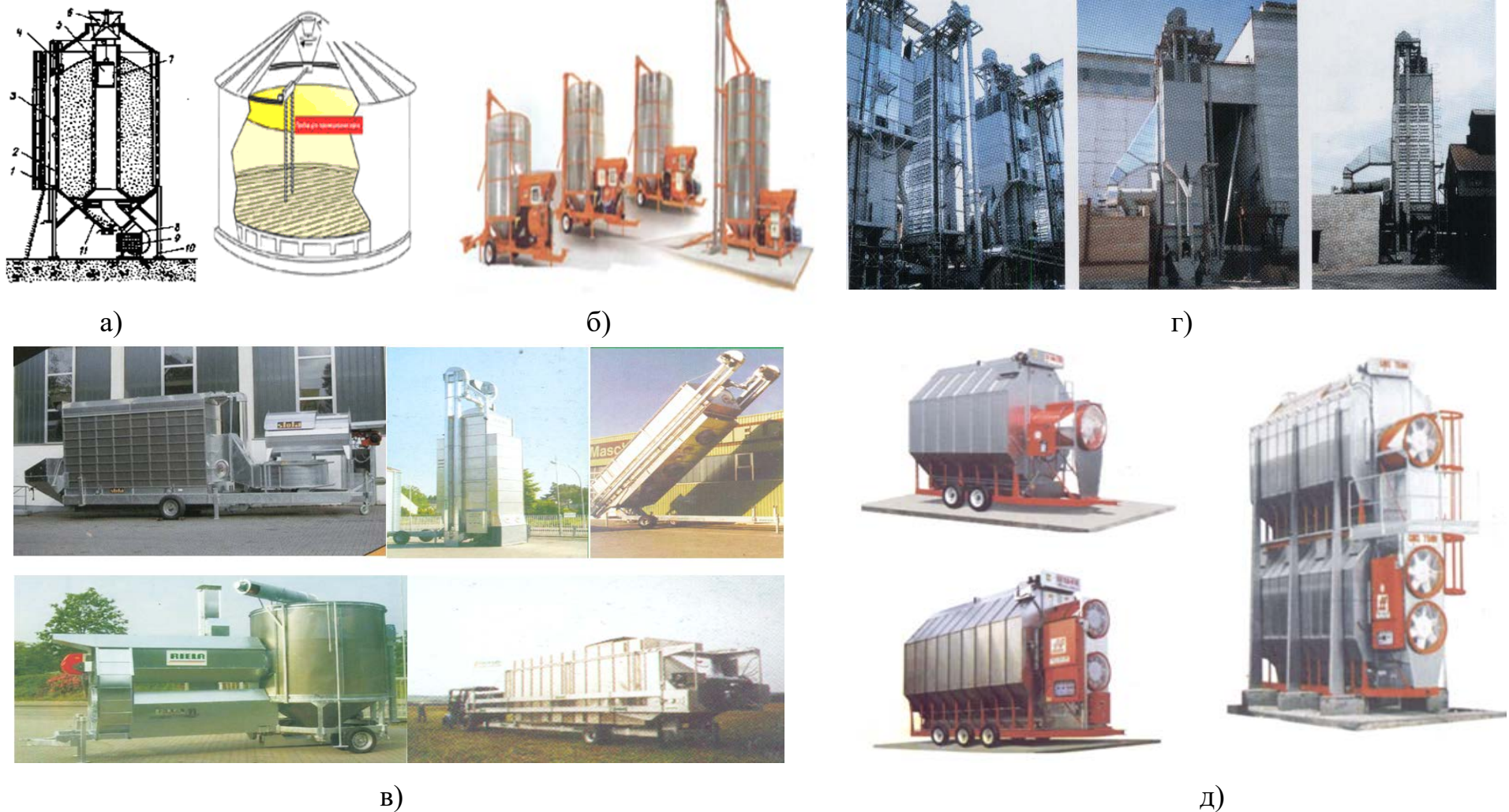


Рис. 1.14. Сучасне обладнання для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур:

а) бункер та силос для вентилявання; б) сушарка періодичної дії фірми Gilmore – Tatge Mfg.,CO (США); в) порційні та прямоточні зерносушарки фірми Stela (Німеччина), RIELA (Німеччина); г) рециркуляційні зерносушарки Карлівського МЗ (Україна) 2хА1 – ДСП – 50, А1 – ДСП – 50 та ДСП – 25; д) колонкові зерносушарки фірми Farm Fans (США)

В умовах Англії для висушування зерна до кондиційної вологи рекомендують підігрівати повітря в холодну вологу погоду – до 4,5 – 5,5°C; в помірну – до 3,5 – 4,5°C і в теплу суху – до 3.5°C. Питома витрата повітря повинна складати 200 – 300 м³/(т · год.) [62].

Найбільш розповсюджений технічний засіб для низькотемпературного сушіння зерна – вентиляований бункер циліндричної форми з вертикальним або радіальним повітряним потоком [11] та силос для вентиляування зерна [63] (рис. 1.14,а).

Переваги: низькотемпературне сушіння – невеликі витрати теплоти на рівні 3000 кДж/кг випареної вологи, відбувається зрівноваження висушеного матеріалу по вологості, простота технічних засобів для його виготовлення.

Недоліки: низькотемпературного сушіння – тривалість процесу вологовіддачі триває декілька діб, що пов'язано з ризиком псування матеріалу.

Для високотемпературного сушіння зерна можна використовувати більшість конструкцій вентиляційних установок (закройні, напільні та ін.), в робочій камері якої зерно розташовується нерухомим щільним шаром. Проте режими сушіння будуть іншими: товщина зернового шару – 0,4 – 0,6 м; питома витрата повітря 500 – 1500 м³/(т год) зерна; повітря нагрівають до температури 35 – 60°C (в залежності від вологості та призначення насіння) [64].

Іноземні фірми випускають сушарки періодичної дії з нерухомим зерновим шаром бункерного типу, лоткові, колонкові і інші. В сушарках механізовані процеси завантаження і вивантаження зерна. Тривалість сушіння зерна в сушарках залежить від температури і швидкості теплоносія (табл. 1.7).

Сушарки фірми Gilmore – Tatge Mfg.,CO (США) мають циліндричну форму, в нижній частині конусоподібну форму (рис. 1.14,б) [65].

Сушильна камера виконано з оцинкованої сталі з круглими отворами діаметром 2,4 мм, перфорація складає 33% від всієї площі стінок. Насіння знаходиться між перфорованими зовнішніми стінками і стінками нагнітаючої камери. Циркуляція насіння відбувається за допомогою вертикального

центрального шнеку. При розвантаженні сушарки насіння подається у розвантажувальну трубу.

Таблиця 1.7.

Тривалість сушіння насіння пшениці при зниженні вологості від 20 до 14% в сушарках періодичної дії при товщині зернового шару 0,6 м [65]

Швидкість теплоносія, м/с	Час сушіння (години) при температурі теплоносія (без врахування часу завантаження і вивантаження)		
	38 °С	48 °С	60 °С
0,15	11,2	8,9	6,1
0,20	8,4	5,9	4,6
0,25	6,6	4,8	3,7
0,30	5,6	4,1	3,1

Сушарки оснащені підігрівачами повітря з осьовими вентиляторами. Передбачений контроль температури теплоносія і насіння, блокування роботи вентилятора та подачі палива, контроль горіння в топці.

Конструкція сушарок з циркуляцією зерна в сушильній камері забезпечує високі питомі подачі теплоносія в зернову масу 2100 – 2800 м³/(т год). Тривалість сушіння насіння продовольчого в сушарці біля 120 хв.

Фірма Stela та RIELA (Німеччина) випускає пересувні порційні та прямоточні зерносушарки (рис. 1.14,в) [66,67].

Недоліки прямоочної схеми сушіння:

1. Потребує партії зерна з однаковою початковою вологістю.
2. Для запобігання перегріванню та погіршенню якості зерна його вологість у прямоочних сушарках знижують не більш як на 6...8 %.

У рециркуляційних сушарках в замкненому контурі безперервно рухається великий потік сухого рециркуляційного зерна [11,68]. До цього потоку додають сире зерно в об'ємі продуктивності сушарки з безперервним виведенням з контуру циркуляції відповідної кількості сухого зерна .

За таким принципом працюють шахтні рециркуляційні зерносушарки 2xA1 – ДСП – 50, A1 – ДСП – 50 та ДСП – 25 Карлівського Машинобудівного

заводу (Україна) (рис. 1.14, г) [68].

Недоліки рециркуляційної схеми сушіння:

1. З збільшенням початкової вологості зерна збільшується кратність рециркуляції.
2. При зниженні температури атмосферного повітря при сушінні відбувається охолодження зерна, що приводить до зниження продуктивності сушарки.

Найбільш відомі виробники колонкових зерносушарок - це американські фірми: Mathews Company, Delux, Sukup, Farm Fans (США) та інші (рис 1.14,д) [11,69-72]. В цих сушарках зерно під дією сили тяжіння рухається зверху вниз між двома перфорованими стінками, які підлягають впливу теплоносія в повздовжньому напрямку. Колонкові сушарки забезпечують більш високу питому подачу теплоносія (без виносу зерна), чим шахтні. Завдяки вільному руху зерна в колонках знижується можливість утворення застійних зон

Для підвищення інтенсивності процесу сушіння в існуючих зерносушарках, на основі проведених літературних досліджень розроблені схеми роботи діючих зерносушарок. Розроблені схеми від звичайної шахтної зерносушарки (сушіння – охолодження) відрізняється кількістю технологічних операцій, що може досягати від 5 до 10 операцій (рис. 1.15).

В представлених схемах найбільше, як засіб інтенсифікації використовується змішування зерна різної вологості, рециркуляція та однократне або багатократне відлежування насіння, кінцеве охолодження насіння.

В табл. 1.8 наведені техніко-економічні показники зерносушарок для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур [67 - 80] щодо продуктивності, питомих витрат електроенергії та енергоносіїв в сушарках, які випускаються на сьогодні в різних країнах світу.

Витрати теплоти в існуючих зерносушарках для сушіння продовольчого зерна складають 4350 – 5000 кДж/кг вип. вологи, для насінневого зерна 5655 – 6500 кДж/кг вип. вологи, що на 8 – 25% вище за нормативні витрати теплоти (ГОСТ 28293 – 89) (рис. 1.16).

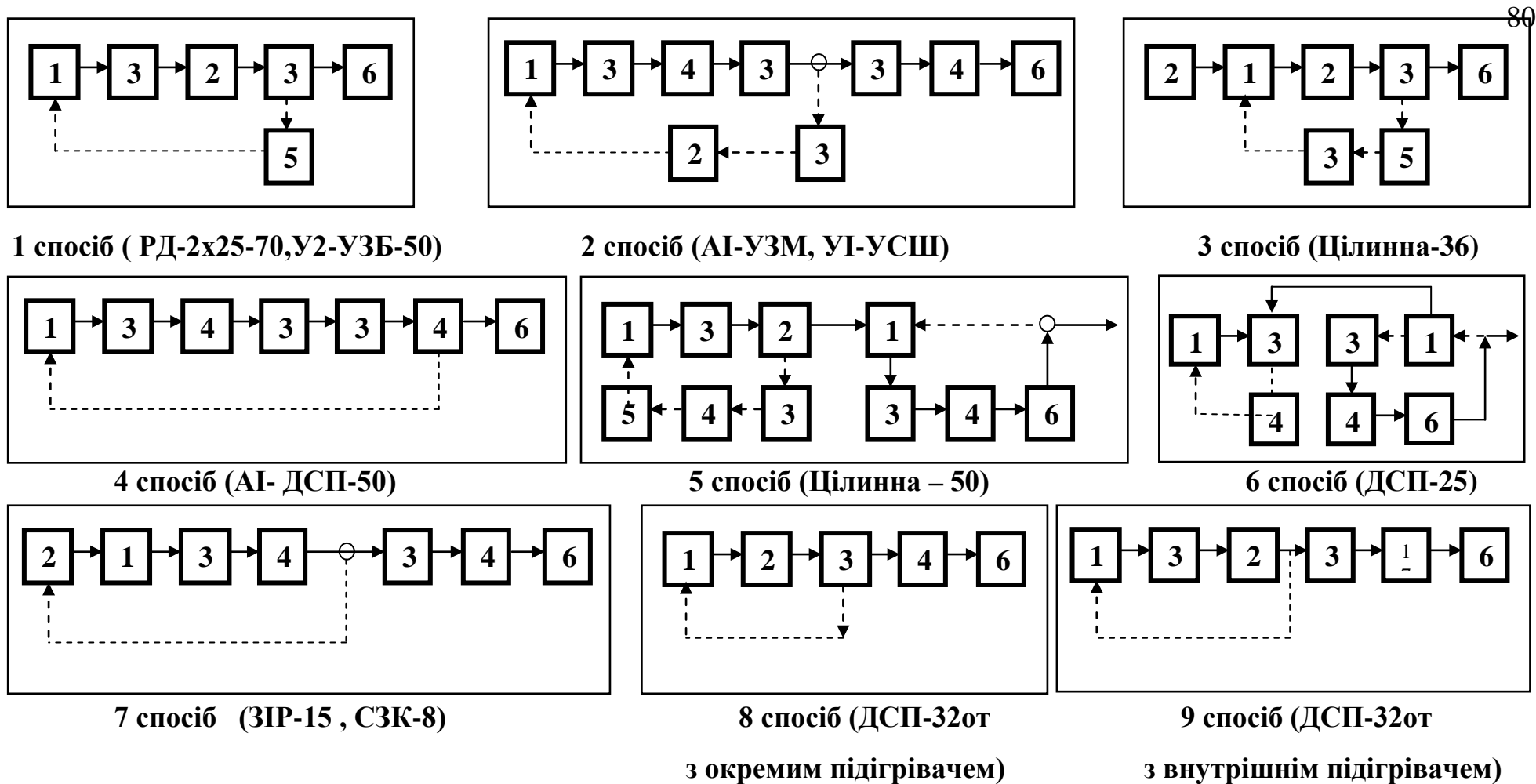


Рис. 1.15. Технологічні режими сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур

в зерносушарках шахтного типу:

1 – змішування зерна різної вологості; 2 – короткочасне нагрівання в киплячому або падаючому шарі;

3 – відлежування багатокомпонентної суміші; 4 – сушіння зерна у гравітаційно-рухомому щільному шарі;

5 - проміжне охолодження з одночасним зниженням вологості зерна; 6 – кінцеве охолодження просушеного зерна.

Таблиця 1.8.

Техніко-економічні показники зерносушарок для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур [68 - 80]

№	Назва	Фірма	Країна	Продуктивність, т/г	Пит. витрати електроен., кВт.год/т	Пит. витрати диз. палива, кг/(т-%)	Пит. витрати газу, м ³ /(т-%)	Тип зерносушарки
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	ДСП-20	Карловський МЗ	Україна	20	2,1	1,22	1,75	Шахтні прямоточні
2.	GDT 300 12/2	RIELA	Німеччина	24	1,05	1,1	1,5	
3.	GDT 300 24/3			50	1,14			
4.	SD6	AG – Project	Польща	26,2	0,85	–	1,3	
5.	S 69	ARAJ	Польща	20,0	1,86	1,1	1,75	
6.	S 424			48,4	1,09			
7.	GDB –XN	Stela	Німеччина	31,3	1,18	1,2	1,31	
8.	CF – 25	MERU	Фінляндія	25	1,5	1,3	1,78	
9.	ДСП-25	Карловський МЗ	Україна	25	2,2	1,22	1,75	Шахтні рециркуляційні
10.	A1-ДСП-50			50	2,2	1,2	1,7	
11.	СВ-20	“Зерномонтаж	Росія	20	3,9	1,833	1,0	
12.	S311P	ARAJ	Польща	6,46	2,12	2,29	3,07	
13.	RCW-200	MERU	Фінляндія	10,6	3,42	1,65	3,16	
14.	СК-25	Брянсельмаш	Білорусь	25	1,76	1,33	–	Колонкові
15.	MC 1075	Mathews	США	28	1,61	–	1,32	
16.	FFI 510H	Farm Fans	США	25,1	1,79	1,25	1,31	
17.	FFI 1500H			46,1	2,82	2,49	2,6	
18.	TE2432E	Sukup	США	20	2,05	–	2,43	
19.	TE2432E			50	1,32		1,82	

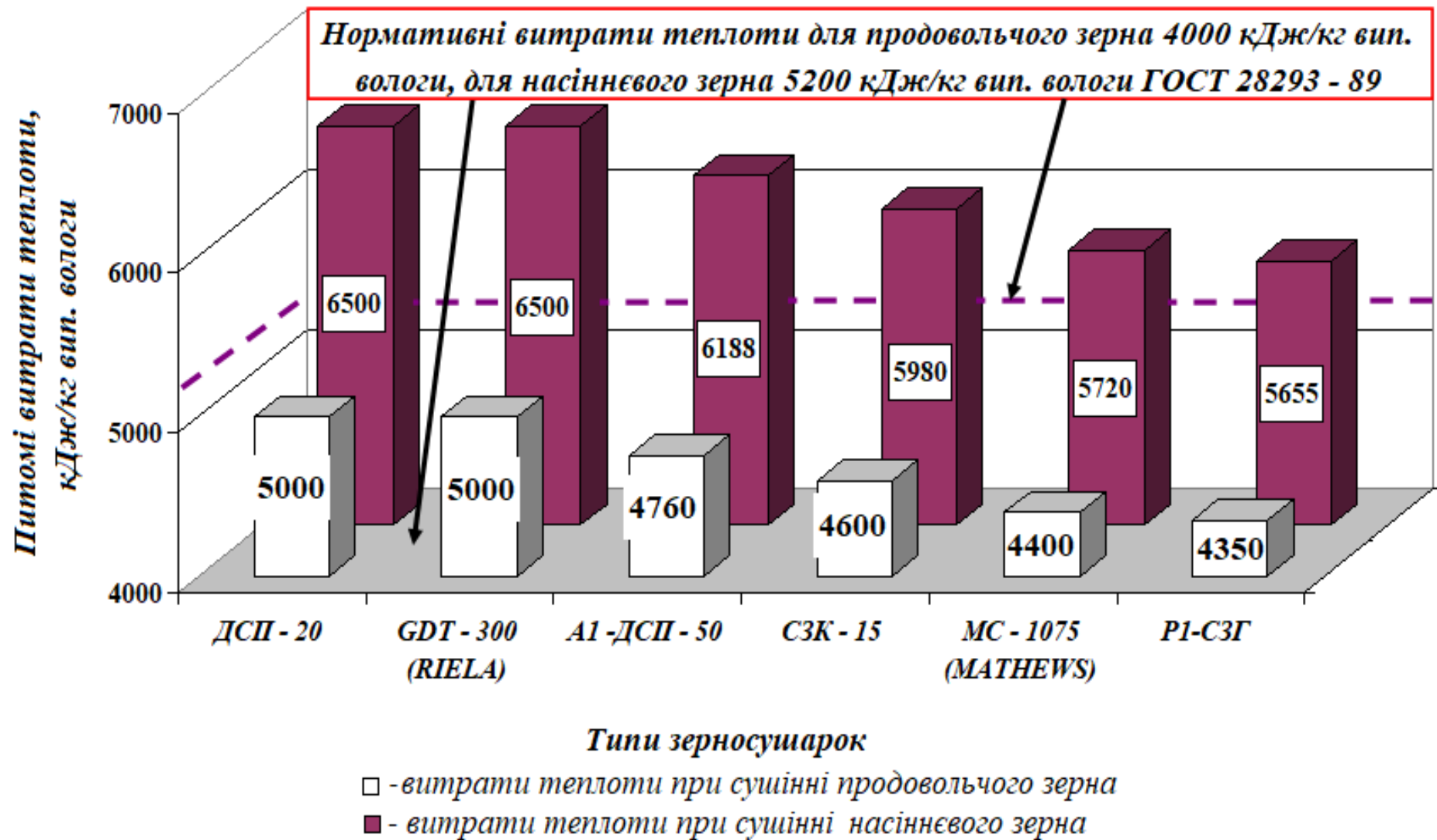


Рис. 1.16. Витрати теплоти в існуючих зерносушарках для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур

1.4. Структура витрати теплоти на сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур в зерносушарках і заходи з підвищення їх енергоефективності

Питомі витрати теплоти ΣQ (кДж/кг) в зерносушарках для сушіння насіння зернових та олійних культур можна визначити за формулою теплового балансу 1.9 і приведені в табл. 1.9:

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (1.9)$$

де Q_1 – втрати теплоти на випаровування вологи, кДж/кг;

Q_2 – втрати теплоти на нагрівання насіння, кДж/кг;

Q_3 – втрати теплоти на нагрівання транспортних засобів, кДж/кг;

Q_4 – втрати теплоти з відпрацьованим теплоносієм, кДж/кг;

Q_5 – втрати теплоти від корпусу зерносушарки, кДж/кг;

Q_6 – втрати теплоти внаслідок неповного згоряння палива, кДж/кг.

Таблиця 1.9.

Втрати теплоти на сушіння насіння в зерносушарці ДСП -32от

№ п/п	Втрати теплоти	Формула	Втрати теплоти в зерносушарках ДСП -32от [81]	
			кДж/кг	%
1	На випаровування вологи	$Q_1 = \omega(r + \Delta r)$	2782,5	53,2
2	На нагрівання насіння	$Q_2 = G_3 c_3 (\theta_3 - \theta_0)$	787,5	15,0
3	На нагрівання транспортних засобів	$Q_3 = G_T c_3 (\theta_2' - \theta_2'')$		
4	З відпрацьованим теплоносієм	$Q_4 = L (H_2 - H_0)$	1265,3	23,9
5	Від корпусу зерносушарки	$Q_5 = \Sigma Fk 3,6 (t_{cp} - t_0)$	362,2	6,9
6	Від неповного згоряння палива	$Q_6 = BQ_H^P (1 - \eta_T) - Q_{вт}$	52,5	1,0
7	Всього втрат	$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$	5240	100

Проведемо розшифровку формул представлених в табл. 1.9.

де: r – скрита теплота пароутворення води при температурі зерна θ , кДж/кг

Δr – питома теплота пароутворення, що затрачується на опір масопереносу при сушінні зерна;

G_3 – продуктивність сушарки, кг/год;

c_3, θ_3 – відповідно питома теплоємність (кДж/кг К) і температура зерна (°С) на виході після зерносушарки;

G_T – продуктивність транспортеру, кг/год;

θ_2', θ_2'' – температура зерна відповідно до і після транспортування, °С;

L – витрата сушильного агента, кг/год;

H_2, H_0 – ентальпія відпрацьованого сушильного агента та зовнішнього повітря, кДж/кг;

$\sum F$ – сума площ нагрітих поверхонь, через які відбуваються втрати теплоти в навколишнє середовище, м²;

k – коефіцієнт теплопередачі крізь стінки зерносушарки, Вт/(м² К);

t_{cp} – середня температура в зерносушарці, °С;

t_0 – температура навколишнього середовища, °С;

B – витрата палива, кг/год;

Q_H^p – нижча теплота спалювання палива, кДж/кг;

η_T – коефіцієнт корисної дії топки;

$Q_{вт}$ – величина втрат теплоти в навколишнє середовище через підігріті поверхні топки, кДж/год.

Для підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння, розроблені заходи із зниженню витрат теплоти в зерносушарці:

1. Для зниження витрат теплоти на випаровування вологи, необхідно:

1.1. Вдосконалювати технологію сушіння зерна:

- вибір і застосування найбільш оптимального поєднання технологічних режимів сушіння;

- змішування насіння різної вологості і температури;

- короткочасне нагрівання насіння рециркуляційним зерном;
- подачу в зону сушіння попередньо нагрітого зерна від сушильного агенту;
- відлежування багатокomпонентної за вологістю та температури зерна;
- проведення процесу сушіння при постійній температурі зерна;
- використання сушильного агенту з максимально можливими значеннями температури та швидкості;
- ефективне охолодження насіння до рівноважної вологості.

1.2. Автоматизація процесу сушіння: організація контролю температури, вологості, швидкості сушильного агенту та насіння для збереження якісних характеристик зерна.

1.3. Вдосконалення конструкцій зерносушарок:

- рівномірне розподілення сушильного агенту по перерізу шахти і по довжині коробів;
- безперервний завантаження та випуск висушеного зерна;
- застосування пристроїв для перемішування в щільному нерухомому шарі;
- впровадження теплонасосних технологій для зневоднення повітря та сушильного агенту.

2. Для зниження витрат теплоти на нагрівання зерна, необхідно:

2.1. Вдосконалення процесу на нагрівання та охолодження зерна:

- застосування проміжного нагрівання та охолодження зерна;
- охолодження до температури навколишнього середовища;
- охолодження зерна за допомогою теплонасосних установок.

2.2. Створення конструкцій нагрівача та охолоджувача на основі теплового насосу:

- створення конструкції безперервної дії, що дозволить регулювати швидкість нагрівання та охолодження повітряного потоку в широкому діапазоні;

- зведення до мінімуму нерівномірності нагрівання та охолодження шарів зерна.

3. Для зниження втрат теплоти з відпрацьованим теплоносієм, необхідно:

3.1. Повторне використання теплоти відпрацьованого теплоносієм:

- використання теплонасосного циклу для зниження вологи високотемпературного відпрацьованого теплоносія і направлення їх для попереднього нагрівання зерна;

- змішування частини відпрацьованого теплоносія і повітря з топковими газами;

- утилізація (рекуперація) теплоти відпрацьованого теплоносія.

3.2. Вдосконалення конструкцій зерносушарок:

- використання раціональної схеми підведення теплоносія до зерна;

- усунення нерівномірності нагрівання та сушіння зерна;

- застосування теплових насосів.

3.3. Автоматизація процесу підтримання оптимальної витрати теплоносія і повітря.

4. Для зниження втрат теплоти в навколишнє середовище через нагріті поверхні, в тому числі на нагрів транспортних засобів, необхідно:

- встановлення теплоізоляції зерносушарок та топкових пристроїв, вдосконалення їх конструкцій та найближче конструктивне розташування;

- правильна організація роботи та технічна експлуатація зерносушарок, зменшення простоїв обладнання.

5. Для зниження втрат теплоти від неповного згорання палива, необхідно:

- автоматизація процесу спалювання палива;

- правильна експлуатація топків (особливо в періоди запуску і виходу на задані режими);

- використання теплоти димових газів топкових пристроїв та направлення теплоти на сушіння зерна в зерносушарку за допомогою теплових насосів.

Заходи направлені на зниження втрат на процес сушіння частково реалізується в сучасних зерносушарках, що відповідно знижує витрати теплоти на сушіння та підвищує коефіцієнт корисної дії зерносушарок до 77,5% [91].

1.5. Обладнання для сушіння насіння овочевих культур

Сучасний стан сушильних установок для сушіння насіння овочевих культур характеризується різноманіттям конструкцій сушильних установок і технологічних прийомів обробки (табл. 1.10).

Таблиця 1.10.

Класифікація сучасних сушарок для сушіння насіння овочевих культур
[39,82 - 84]

Класифікаційна ознака	Характеристики
Тиск в робочій камері	Атмосферні, вакуумні
Режим роботи	Періодичної, безперервної, циклічної дії
Напрямок руху теплоносія	Прямочне, протиточне, перехресне і реверс
Спосіб нагрівання теплоносія	З паровими повітропідігрівниками, шляхом змішування з продуктами згоряння, електронагрівом
Схема нагрівання теплоносія	З централізованим підігрівом, індивідуальними агрегатами і проміжним підігрівом
Варіант сушильного процесу	Викидання сушильного агента назовні, з рециркуляцією, з проміжним підігрівом та з додатковим підігрівом в сушильній камері
Спосіб підведення теплоти до матеріалу	Конвективні, кондуктивні, інфрачервоним випромінюванням із променевим нагріванням (терморадіаційні), комбіновані
Конструкція сушарки	Камерна, тунельна, конвеєрна, барабанна, лоткова, вібраційна тощо

Ефективність застосування сушильних установок залежить від типу установки, застосованих методів та режимів сушіння. Насіння овочевих

культур сушать зазвичай природнім способом на стелажах, асфальтованих майданчиках і безпосередньо в полі. Таке сушіння вимагає великих витрат ручної праці, багато часу і коштів, не гарантує якісного збереження насіння, особливо при несприятливих погодних умовах.

Сушіння дрібного насіння овочевих культур відбувається на камерних, тунельних та в сушарках з киплячим шаром. Для сушіння насіння крупних овочевих культур, крім наведених способів для сушіння дрібного насіння, інколи використовують універсальні сушарки конвеєрного та барабанного типу.

Інтенсивність сушіння залежить від процесів зовнішнього тепло- і масообміну із зміною теплоти і маси.

Для підвищення ефективності сушильних установок використовують збільшення напруження об'єму сушильної камери за вологою, теплоносії з високою початковою температурою, комбіновані методи енергопідведення, раціональне включення сушильних установок в енергетичну та теплову схеми підприємства тощо.

Для сушіння насіння овочевих культур застосовують камерні, тунельні, стрічкові, барабанні та лотково-барабанні сушарки.

Камерні сушарки. Основними елементами камерної конвективної сушарки (рис. 1.17) є встановлена камера з розташованими вагонетками із піддонами в середині. Завантаження і вивантаження матеріалу проводять з передньої сторони сушарки через розсувні двері.

Камерна сушарка працює наступним чином. Вологе насіння розміщують на піддонах 5, що встановлюється на візок 4. Візки з насінням вкочують у сушильну камеру та герметизують. Потім вмикають витяжний вентилятор 2, підігрівають повітря в калорифері 3 й направляють його в секції сушильної камери. Встановлення додаткових нагрівачів 7,8 дозволяє підтримувати температуру в різних секціях сушарки згідно режимів сушіння. При необхідності рециркуляції відпрацьованого теплоносія за допомогою шибера 6 теплоносії частково повертається в сушарку.

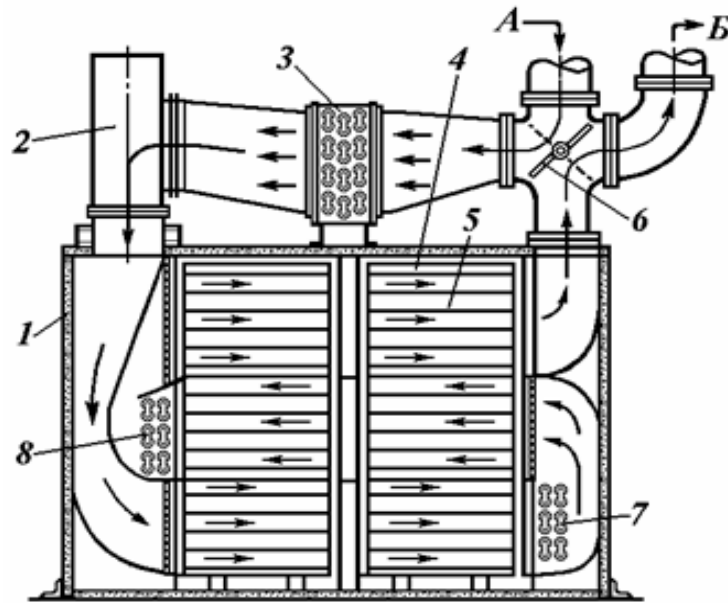


Рис. 1.17. Камерна сушарка для сушіння насіння овочевих культур:

1 – корпус; 2 – вентилятор; 3,7,8 – електричні нагрівачі;

4 – візок; 5 – піддони з вологим матеріалом; 6 – шибер.

А – свіже повітря, Б – відпрацьований теплоносій.

Камерна сушарка оснащена системою автоматичного контролю температури та рівномірного розподілу руху теплоносія по висоті камери.

Недоліками такої сушарки є трудомісткість операцій завантаження й вивантаження матеріалу, низька інтенсивність сушіння та великі енергетичні витрати на процес. Камерні сушарки є сушарками періодичної дії і застосовуються при не великих кількостях матеріалу, що потрібно висушити.

Тунельні (коридорні) сушарки для сушіння насіння овочевих культур поділяються на прямоточні та протиточні, що пов'язано із системою рециркуляції теплоносія.

Загальний вигляд та схема роботи прямоточної тунельної сушарки фірми «Аgro», що представлено на рис. 1.18 [85].

Тунельні сушарки можуть мати різні варіанти сушильних процесів, тобто працювати з однократним використанням теплоносія, рециркуляцією, проміжним підігрівом і з позонною циркуляцією.

Тунельні сушарки працюють наступним чином. Завантажують насіння овочевих культур на візки 4 і направляють в сушарку. Візки з піддонами

переміщуються по рейкам або металічним шинам. В нижньому робочому каналі 1 відбувається переміщення візка 4 та сушка сировини. З обох торців каналу є вільний простір для розподілення потоку теплоносія і його виходу. По торцям цього каналу розташовані металічні двостворчаті двері.

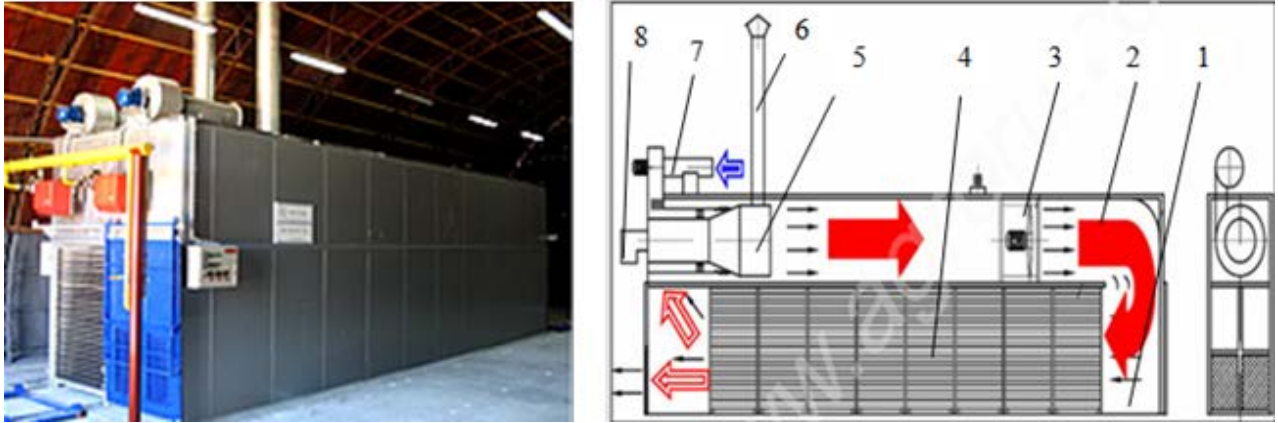


Рис. 1.18. Тунельна сушарка для сушіння насіння овочевих культур
1,2 - канали для переміщення візків та теплоносія; 3 – вентилятор; 4 – візки з матеріалом; 5 – теплогенератор; 6 – витяжна труба; 7 – вентилятор підтримки процесу горіння; 8 – патрубок для додаткової подачі повітря.

Для підготовки теплоносія в верхньому каналі 2 розташований теплогенератор 6 з вентилятором 7, який підтримує процес горіння пального. Потік теплоносія здійснюється паралельно руху візків з сировиною. Після сушіння частина теплоносія йде на вихід з сушарки, інша частина подається на змішування з свіжим повітрям, який надходить через патрубок 8 в верхньому каналу 2 перед теплогенератором 5. Для відведення продуктів згорання палива передбачена витяжна труба 6.

Основною особливістю і перевагою тунельних сушарок є наявність власних, вбудованих теплогенераторів, що працюють на рідкому паливі, що виключає необхідність будівництва котельні.

Основним недоліком є використання ручної праці при завантаженні; використання топкових газів, що в свою чергу може викликати утворення канцерогенних речовин; а також паралельний рух повітря і матеріалу при цьому зменшується контакт і теплообмін між ними.

Конвеєрні сушарки. В стрічкових (конвеєрних) сушарках матеріал розкладається тонким шаром на перфорованих листах, ситах або стрічках, які при переміщенні змінюють його положення. Продукт висушується в щільному шарі висотою 7,5 – 15 см. Швидкість повітряного потоку в стрічкових сушарках відносно невелика (1 – 3 м/с), тому матеріал сушиться в щільному шарі.

В останній час в Україні стали виробляти конвеєрні сушарки з твердопаливним котлом (рис. 1.19) [86].



Рис. 1.19. Однострічкова сушарка з твердопаливним котлом для сушіння насіння овочевих культур

В однозонній сушарці замість теплогенератора на твердому паливі можуть встановлювати керамічні інфрачервоні нагрівачі для нагрівання та сушіння насіння з продувкою повітря вентилятором.

На виробництвах в Європі широко застосовуються системи стрічкових сушарок, які складаються з двох або більше розташованих один над другим транспортерів. Такі сушарки використовують менше корисної площі, оскільки матеріал завантажується на верхню стрічку, а вивантажується з самої нижньої стрічки. Найбільш розповсюджені установки з трьома та п'ятьма стрічками.

Однострічкові багатоступеневі апарати для сушки різних рослинних матеріалів випускає фірма «Proctor & Schwarts, Ltd» (США). Для точного

підтримання заданого технологічного режиму робочий канал цих сушильних установок поділений на декілька зон з незалежним регулюванням температури (рис. 1.20) [88].

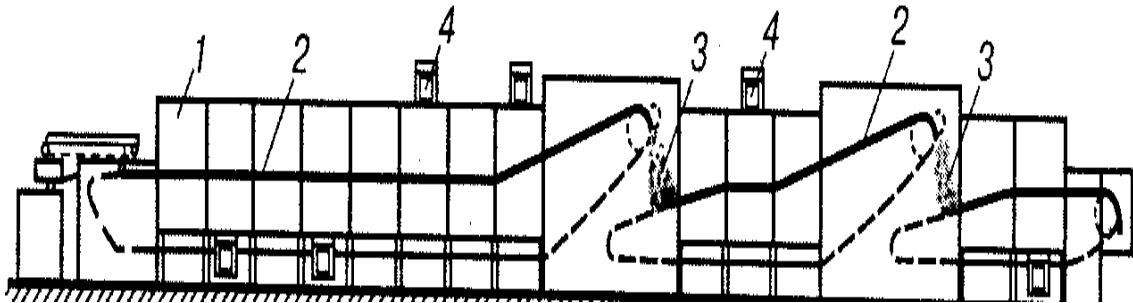


Рис. 1.20. Схема конвеєрної сушарки фірми «Proctor & Schwarts, Ltd» (США):

1 – сушильна зона; 2 – транспортна стрічка; 3 – зона пересипання матеріалу; 4 – вентилятор.

Циркуляцію повітря в стрічковій сушарці можна перемикає з однієї зони в іншу для підтримання оптимального рівня вологості. Вентилятори турбінного типу проводять примусову циркуляцію підігрітого або кондиційного повітря через шар висушуваного матеріалу. По мірі проходження крізь сушарку насіння по черзі обдувається повітрям в різних напрямках, то знизу вгору, то зверху вниз, що забезпечує рівномірне розподілення вологи в шарі матеріалу.

В процесі висушування матеріал можна насипати більш товстим шаром, тому швидкість кожної наступної секції транспортеру знижується в порівнянні з попередньою. Така конструкція дозволяє зменшити габарити машини, знизити температуру робочої зони і підвищити якість висушеного матеріалу [89].

Також можуть бути застосовані парові п'ятистрічкові конвеєрні сушарки Г4-КСК-15, Г4-КСК-30, Г4-КСК-45, Г4-КСК-90 (рис. 1.21) [89].

Для подачі продукту в сушарку служить похилий стрічковий транспортер з розкладниками. Своєю верхньою частиною він встановлюється на сушарку, нижня частина встановлюється на фундамент двома опорами. Стрічковий транспортер складається з наступних основних частин: каркаса, двох барабанів, транспортерної стрічки, розкладника, привода, верхній частині і піддону.

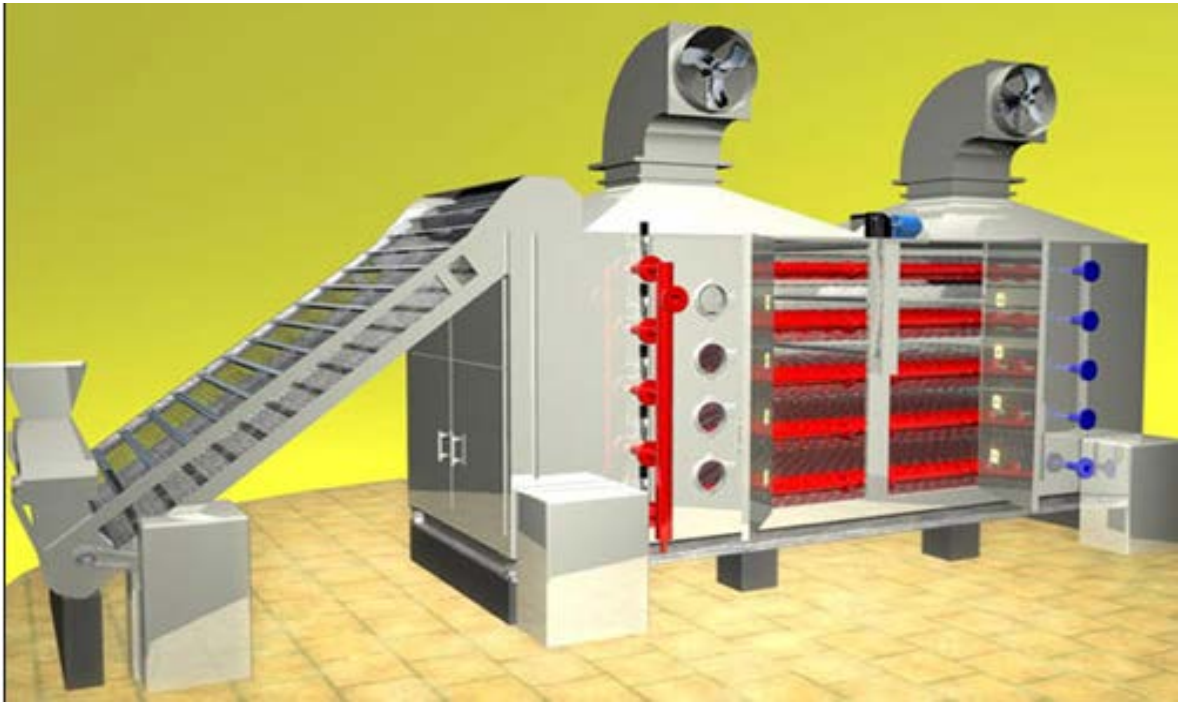


Рис. 1.21. П'ятистрічкова конвеєрна сушарка з паровим калориферами Г4-КСК для сушіння насіння овочевих культур

Усередині сушарки один над іншим розташовані 5 пар барабанів. На кожен пару барабанів натягується нескінченна сітчаста дрова стрічка з нержавіючої сталі. Кожна пара барабанів щодо іншої зміщені по довжині, що запобігає потраплянню сирого продукту в сухий при переході його з однієї стрічки на іншу. На приводних колонках встановлені ланцюгові варіатори з діапазоном регулювання $D=6$, які забезпечують безступінчасте регулювання швидкості руху конвеєрних стрічок.

Для запобігання спікання продукту посередині сушарки над верхніми трьома конвеєрними стрічками встановлені зворушувачі. Для очищення барабанів від налиплого продукту служать скребки, які встановлені на першому, другому і третьому барабанах. Діаметри зірочок провідних барабанів різні, отже, різні швидкості руху і час перебування товару в кожній зоні температур.

Технічна характеристика конвеєрної сушарки з паровим калориферами Г4-КСК представлено в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11.

Технічна характеристика конвеєрної парової сушарки Г4-КСК

№	Параметри	Г4-КСК- 15	Г4-КСК- 30	Г4-КСК- 45	Г4-КСК- 90
1.	Робоча площа конвеєрних стрічок, м	15	30	45	90
2.	Ширина стрічок, м	2	2	2	2
3.	Кіл. конвеєрних стрічок, шт.	5	5	5	5
4.	Швидкість стрічок, м/хв.	0,1 – 0,6	0,1 – 0,6	0,1 – 0,6	0,1 – 0,6
5.	Температура сушки, °С	60 - 100	60 - 100	60 - 100	60 - 100
6.	Номінальний тиск пари, МПа	0,58	0,58	0,58	0,58
7.	Загальна витрата пари, кг/год	400	800	1200	2400
8.	Встановлена потужність, кВт	5,66	11,4	11,4	14,66
9.	Продуктивність вентиляторів, м ³ /год	18300	36700	36700	55000
10.	Кіл. вентиляторів, шт.	1	2	2	3
11.	Загальний ресурс роботи, год.	64000	64000	64000	64000
12.	Габаритні розміри, мм				
	довжина	6815	9270	9070	13700
	ширина	2570	2570	3260	3260
	висота	4900	4900	4900	4900
13	Маса, кг	7100	10230	15380	18850

Для видалення вологого повітря з сушильної камери застосовується система вентиляції, яка складається з витяжних камер і вентиляторів. Продуктивність відсмоктуючих вентиляторів може регулюватися клапанами (дистанційно зі щита управління) через жалюзі, встановленими зверху витяжних камер. Забір свіжого повітря для подачі в сушильну камеру

здійснюється з приміщення в отвори між корпусом сушарки, підлогою і стійками фундаменту.

Основним контрольованим параметром є температура циркулюючого повітря над кожною з п'яти транспортних стрічок. Регулювання температури над кожною транспортерної стрічкою, а відповідно-подача пара під кожному стрічку проводиться індивідуально в залежності від насіння.

Недоліки: Конвеєрна сушарка громіздка, не забезпечує якісного сушіння насіння овочевих культур, а конструкція потребує значної модернізації, можливо приставання насіння під час сушіння..

Барабанні сушарки. Основним елементом барабанної зерносушарки (рис. 1.22) є горизонтальний чи ледве нахилений обертовий циліндричний барабан, що обертається із швидкістю 2 – 8 об/хв, всередині якого по довжині, перемішується й одночасно сушиться матеріал [39].

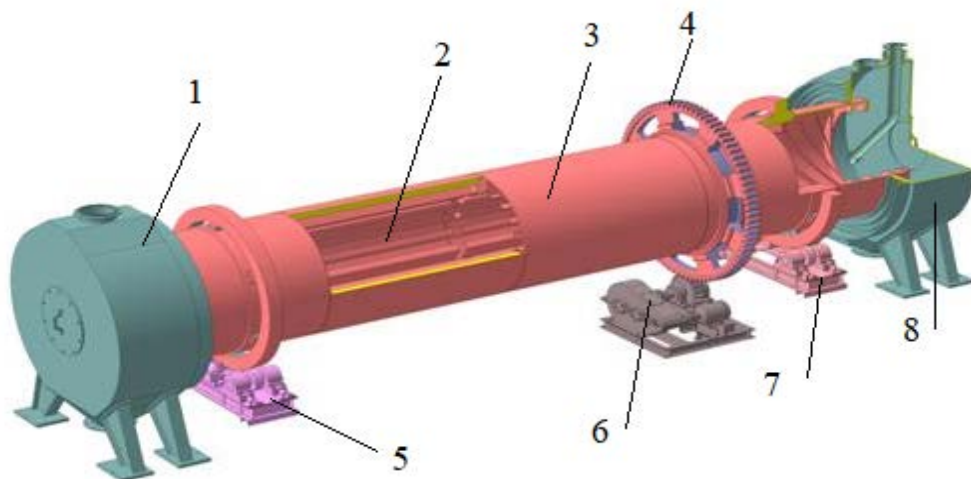


Рис. 1.22. Барабанна сушарка з спеціально встановленими насадками: 1 – камера завантаження; 2 – встановлені насадки; 3 – барабан; 4 – привідне колесо; 5,7 – опорні конуси; 6 – електропривод; 7 - завантажувальний отвір.

Нахил барабана щодо горизонтальної осі передбачений для поступового пересування матеріалу від одного кінця до іншого і складає звичайно до 6°.

Всередині барабана в залежності від матеріалу, що піддається сушінню, іноді встановлюють різні насадки чи поздовжні лопаті – мішалки, що сприяють інтенсифікації процесу сушіння і не шкодять якості насіння.

Основні недоліки барабанної сушарки – це мала продуктивність і незначне видалення вологи (6 - 8 %) за пропуск через барабан, що викликає необхідність багаторазового пропуску (4 -6 разів) насіння через сушарку. Крім того, сушарка практично не придатна для сушіння насіння деяких рослинних культур.

Сушильна установка лоткового-барабанного типу безперервної дії. Сушильна установка лоткового-барабанного типу безперервної дії для сушіння насіння овочевих культур, дозволяє багатократно використовувати теплоносії, механізувати та автоматизувати процес сушіння насіння (рис. 1.23) [39].

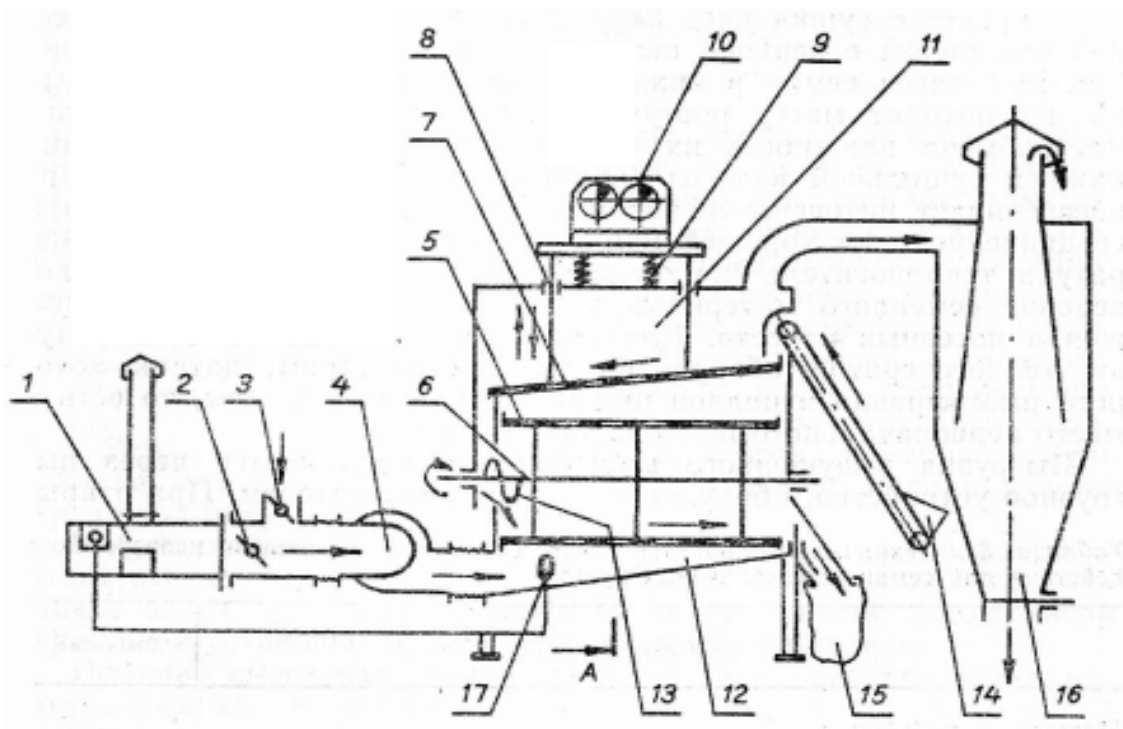


Рис. 1.23. Конструктивна схема сушильної установки безперервної дії для насіння овочевих культур: 1 – теплогенератор ТГ-1,5; 2 – засувка регулювання виходу підігрітого повітря із теплогенератора; 3 – засувка атмосферного повітря; 4 – нагнітаючий вентилятор Ц 470 № 8; 5 – сітчатий сушильний барабан; 6 – привідний вал сушильного барабану; 7 – вібруюче решето; 8 – штанги; 9 – пружини вібратора; 10 – вібратор інерційного типу; 11 – верхня сушильна камера вібраційного типу; 12 – нижня сушильна камера барабанного типу; 13 – шнек подачі насіння; 14 – завантажувальний транспортер; 15 – вивантажувальний пристрій з мішкотримачем; 16 – пиловловлювач; 17 – датчик підтримання ладанної температури.

Насіння, що надходить після механічного зневоднення за допомогою завантажувального транспортера подається на вібруючу газорозподільну решітку верхньої сушильної камери. Так як решітка встановлена з нахилом 2° в сторону вивантажувального вікна, то насіння поступово переміщується до вивантажувального вікна і переміщується в нижню сушильну камеру, тобто в внутрішню частину барабану.

Теплоносій на початку подається в піддон нижнього сушильного барабану, проходить через шар насіння всередині барабану і потім направляється під верхню газорозподільну решітку. Швидкість теплоносія знаходиться в межах швидкості парусності насіння, в наслідок чого в барабані утворюється «киплячий шар».

В процесі перемішування насіння за рахунок обертання барабану і дії теплоносія відбувається інтенсивне знімання вологи. Дана сушильна установка дозволяє на початку подавати теплоносій в зону попередньо підсушеного насіння, з більш високою температурою, а потім при меншій температурі – в першу зону, де насіння має більш високу вологість.

Під дією вібрації і швидкісного напору теплоносія шар насіння на решітці верхньої камери приводиться у зважений стан, в результаті чого інтенсивно проходить процес видалення поверхневої вологи, насіння набувають достатню сипкість для їх досушування в нижній камері. Швидкість переміщення насіння на верхній решітці регулюється шляхом зміни кута нахилу вібруючої решітки.

Після закінчення процесу сушіння насіння виключається подача палива і матеріал вентилується атмосферним повітрям на протязі півгодини. Це дозволяє охолодити насіння і зняти температурні напруження в зерні.

Технічна характеристика сушильної установки безперервної дії представлено в табл. 1.12.

Таблиця 1.12.

Технічна характеристика для сушіння насіння овочевих культур

№	Показники	Значення
1.	Продуктивність по сухому насінню, кг/год	50
2.	Витрата пального, кг палива/кг насіння	0,3
3.	Витрата електроенергії, кВт/кг насіння	0,6
4.	Температура теплоносія, °С	
	в I зоні	28
	в II зоні	35
5.	Вібруюче решето верхньої сушильної камери	
	довжина, мм	2000
	ширина, мм	700
6.	Сітчастий барабан нижньої сушильної камери	
	довжина, мм	2000
	діаметр, мм	800
7.	Частота обертання, об/хв	10
8.	Товщина шару насіння, мм	
	в I зоні	20
	в II зоні	300
9.	Вібратор інерційний	
	частота коливань	25
	амплітуда коливань, мм	6

1.6. Напрямки підвищення енергоефективності процесу сушіння насіннєвого зерна із тепловими насосами

Вирішення проблеми збереження якості насіннєвого матеріалу напряму пов'язано з енергетичними втратами в процесі сушіння, так як при зменшенні

температури теплоносія на вході в сушарку знижується інтенсивність та збільшується час висушування. Тому разом із вирішенням питання якості насіннєвого матеріалу, піднімається питання про використання більш дешевих видів палива для зменшення вартості сушіння. Одним із напрямком енергоефективності є заміна традиційних видів палива на альтернативні та відновлювальні джерела енергії.

До 2040 року у розвиток відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в світі інвестують до \$10,2 трильйон. Інвестиції в нову енергетичну технологію буде інвестуватись, завдяки швидкому падінні витрат на сонячну та вітрову енергію та росту ролі батарей, в тому числі електричних акумуляторів. Найбільші інвестиції до 2040 року в відновлювальні джерела енергії вкладають інвестиції Китаю та Індія – відповідно 28% та 11% від загальної кількості (біля 4 трильйонів доларів) [90].

Згідно з даними Renoble Policy Network розподіл відновлювальної енергетики у світі за видами отриманої енергії наступний: 47% - вітрова енергія, 30% - електроенергія від фотовольтажних геліосистем, 23% - інші види відновлювальних джерел енергії [91].

Потенціал впровадження ВДЕ в теплоенергетиці навіть більший, у цьому сегменті ВДЕ можуть повністю замінити традиційні джерела енергії до 2030 року. За оцінками IRENA, у 2030 році з ВДЕ в Україні може бути вироблено близько 57 млн Гкал теплової енергії, з яких значна частка (32,7 млн Гкал) – енергія біомаси. Виконання цього прогнозу дозволить економити близько 7 млрд м куб. природного газу щороку [92].

Найбільший потенціал використання ВДЕ в Україні, показує що основним напрямком розвитком відновлювальних джерел енергії є енергія доквілля (25%) та біоенергетика (9%), що потребує розробки нових сучасних систем опалення, зокрема теплових насосів та більш економічних теплогенераторів на твердому та рідкому паливі, що також вирішують проблему екологічності (рис. 1.24).

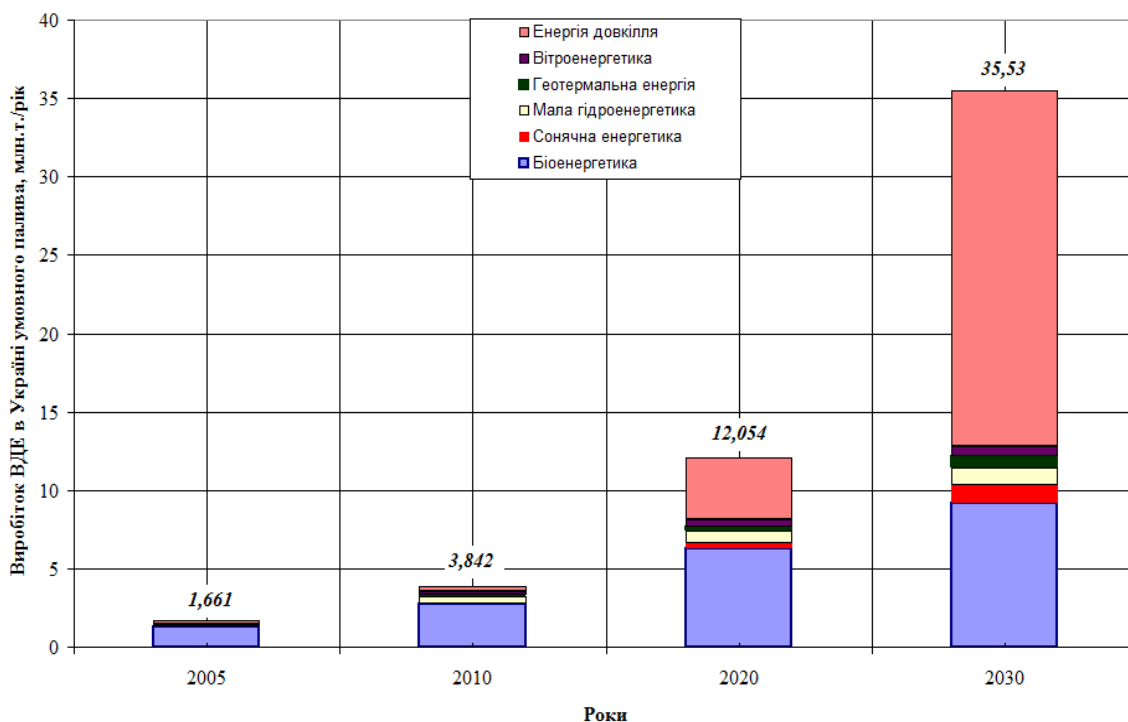


Рис. 1.24. Розвиток відновлювальних джерел енергії в Україні

Для отримання теплової енергії в теплогенераторах зерносушарки можна використовувати біомасу, як дешевий вид палива. Біомаса відіграє домінуючу роль серед інших видів ВДЕ, формуючи біля 46% ринку відновлюваних джерел енергії. Вона може забезпечувати виробництво тепла, електроенергії та різних видів газоподібного (біогаз), рідкого (біоетанол, біодизель) та твердого палива. Технології переробки біомаси дозволяють також вирішувати проблему утилізації шкідливих побутових та промислових відходів, одержувати як побічні продукти високоякісні добрива, будівельні та інші корисні матеріали, так за рахунок біогазу вже сьогодні в країнах ЄС отримується щороку понад 10 млн. МВтгод електричної та близько 10 млн. Гкал теплової енергії. Лідерами з використання біогазових технологій є такі країни як: Німеччина, Велика Британія, США, Канада, Бразилія, Данія, Китай, Індія та інші [93].

Набуває розвиток біоенергетики, так до 2030 року в світі можливо замінити 9,2 млн. т.у.п. викопних палив за рахунок енергетичного використання залишків с/г культур в млн. т. у.п. , зокрема: соломи – 2,9; дров та відходів деревини – 1,9; торфу – 0,6; побутових відходів – 1,1; одержання та використання біогазу – 1,3; виробництво паливного етанолу та біодизельного

пального – 1,8. Загальний обсяг інвестицій у розвиток біоенергетики для забезпечення таких темпів нарощування складе до 2030 року близько 12 млрд. грн. [94]

Головним фактором розвитку сонячної енергетики є значне падіння світових цін на кристалічний кремній — з 475\$/кг у 2008 р. до 17 \$/кг у 2014 р., а також зниження вартості сонячних модулів — з 76\$/кг у 1977 р. до 0,3 \$/Вт у 2014 р. [95,96].

Для сушіння, вентилявання та зберігання зерна в США від сонячної енергії використовують стіни та дахи бункерів на яких встановлюються колектори. З цією метою $\frac{2}{3}$ поверхні бункерів, які обернені на південь, фарбують чорним кольором і накривають (з зазором) листами прозорого рифленого пластика. Повітря нагнітається та відсмоктується через простір між стінкою та прозорим покриттям, підігрівається та подається в зернову масу. Площа сонячних колекторів складає 0,35 – 2,65 м²/т зерна. Нагрівання повітря в середині дня становить 2,8 – 16,7°C (в середньому за добу на 0,55 – 3,3°C). Кожні 9,3 м² поверхні колекторів забезпечують цілодобове надходження енергії, еквівалентне 18,6 кВт/год електроенергії або рівну кількість теплоти при спалюванні 2,5 л рідкого палива [97].

Іншим видом ВДЕ який вже сьогодні в окремих країнах та регіонах забезпечує вагомий внесок в промисловості є теплова енергія довкілля (води, ґрунту, повітря), яка за допомогою теплонасосних установок (ТНУ) переводить енергію низькопотенційних джерел у придатну для використання енергію. Економічна доцільність використання ТНУ підтверджена світовим досвідом. Вже сьогодні у розвинутих країнах ТНУ широко використовуються для систем опалення та кондиціювання (США, Канаді, Швеції, Швейцарії, Німеччині, Австрії та ін.), налагоджено промисловий випуск ТНУ у досить широких масштабах (США – 1 млн ТНУ щороку, у Японії – 3 млн) [98].

Для більш детальної характеристики використання теплових насосів розглянемо напрямки підвищення енергоефективності процесу сушіння насінневого зерна із використанням теплових насосів (рис. 1.25) [101 – 125].

Розроблена схема на рис.1.25 показує застосування теплових насосів через:

- використанням низькопотенційної теплоти альтернативних джерел енергії (сонячна, навколишнє середовище, геотермальні джерела) та сушіння насіння при постійній температурі сушильного агента 40 – 60°C, що залежить також від коефіцієнту перетворення теплового насосу;
- зниження втрат теплоти на сушіння зерна в прямоточних та рециркуляційних зерносушарках, через заходи направлені на рециркуляцію, утилізацію та рекуперацію теплоти відпрацьованого теплоносія і направлення в зону сушіння;
- комплекс заходів направлених на підвищення енергоефективності та інтенсивності сушіння із отриманням високої температури сушильного агента 80 – 90 °С, а також виконання одночасно декількох технологічних операцій;
- заходи по енергозбереженню також залежать від типу робочої речовини в системі ТН, а також розробці та керуванні більш сучасних ТНУ із коефіцієнтом перетворення 3 і вище.

Використання низькопотенційної теплоти альтернативних джерел енергії залежить від природно-кліматичних умов регіону і не завжди дає можливість ефективного застосовування в процесах сушіння насінневого зерна.

Для поглинання сонячної радіації і передачі теплоти теплоносію застосовують спеціальні геліоколектори та геліоконцентратори. Наукові дослідження із використанням сонячної енергії часто проводились із комбінаціями з іншими джерелами енергії, а також з тепловими насосами [99,100].

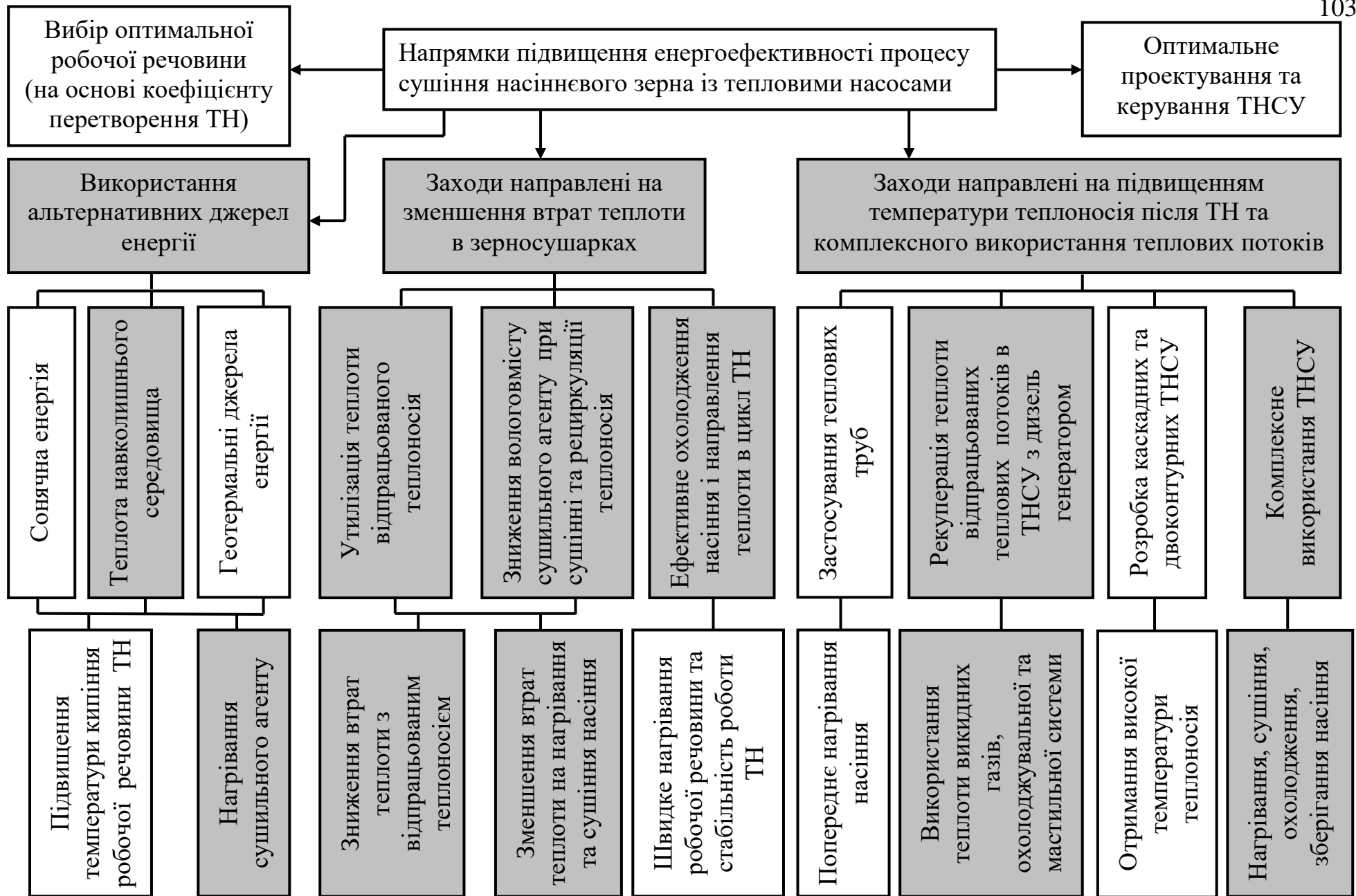


Рис. 1.25. Напрямки підвищення енергоефективності процесу сушіння насіннєвого зерна із тепловими насосами

На основі проведених літературних досліджень та результатів експерименту проводимо порівняння ефективності технологій сушіння насіння зернових культур і заносимо в табл. 1.13.

Таблиця 1.13.

Ефективність технологій сушіння насіння зернових культур

№	Технологія	Витрати теплоти, кДж/кг	Переваги	Недоліки
1	Сушіння на традиційних видах палива	5000 - 11000	Високе знімання вологи, не потребує додаткового обладнання	Великі енергетичні витрати, зниження якості при порушенні технології
2	Активне вентилування	2500 - 3000	Енергозбереження, висока якість насіння	Тривалість процесу, невелике знімання вологи
3	Застосування енергозберігаючих технологій сушіння	3244 - 4800	Енергозбереження, висока якість продукції	Потрібні додаткові капітальні вкладення та введення нового обладнання
4	Сушіння із застосування теплових насосів (власні дослідження) [84]	3000 - 3800	Низькі енергетичні витрати, висока якість насіння, зниження собівартості	Необхідно розігрів на початку процесу та додаткові капітальні вкладення

Порівняння запровадження технологій сушіння насіння зернових культур за витратами теплоти, показують переваги теплових насосів перед традиційними технологіями, а також конкурують із розробленими енергоефективними режимами.

У сушильних установках із ТНУ можна досягти підвищення температури сушильного агенту до 60...80°C. За необхідності більш високих температур, доцільно застосовувати високотемпературні киплячі холодоагенти, схеми теплових насосів з комбінованим енергопідведенням [101].

Представлені варіанти схем на I-x діаграмах дають можливість оцінити необхідність застосування теплових насосів при сушінні насінневого зерна (рис. 1.26) [102].

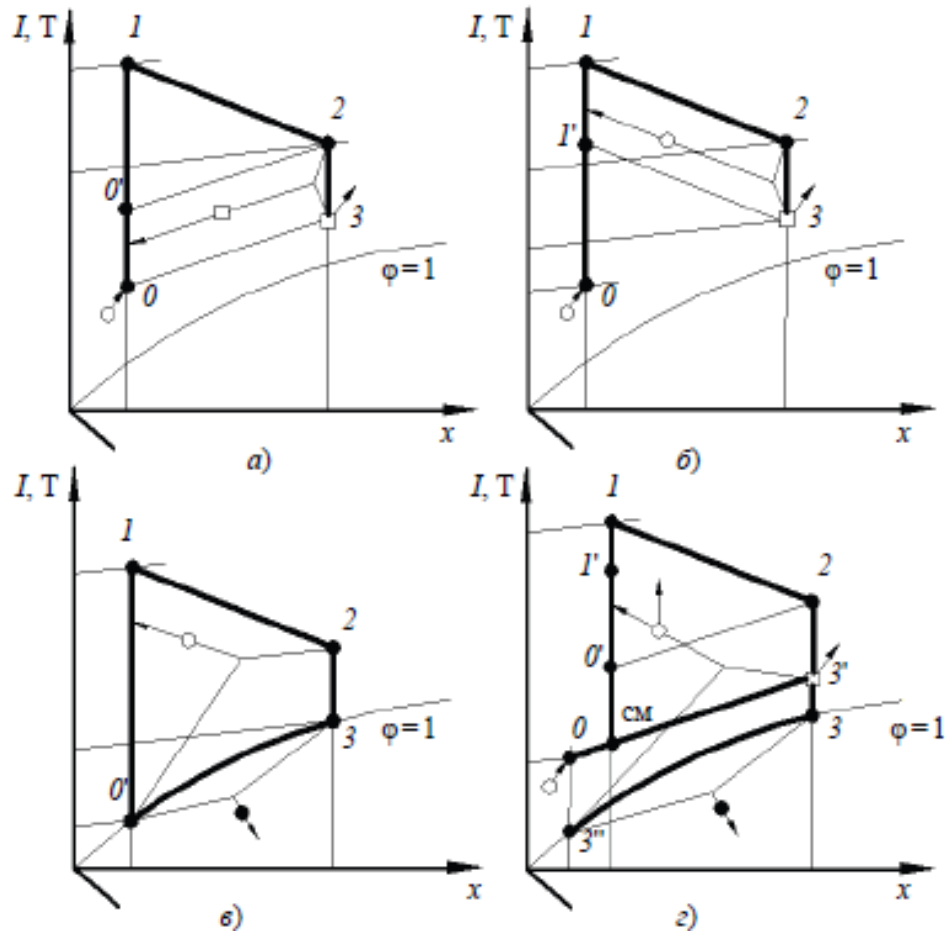


Рис. 1.26. Схеми сушки зерна на I-x діаграмах:

- а) без теплового насоса; б) тепловий насос з попереднім підігрівом в калорифері; в) тепловий насос з повною рециркуляцією теплоносія; г) тепловий насос з частковим змішуванням відпрацьованого теплоносія.

○ → - точка подачі свіжого повітря; □ → - точка викиду відпрацьованого теплоносія; ▽● → - область утворення і вивода конденсату; ▽□ → - область теплообміну в рекуператорі; ▽○ → - область теплопереносу в ТН сушарки; ▽○ → - область теплопереносу в ТН сушарці та теплогенератора.

а) без теплового насосу: 0 – 0' та 2 – 3 – теплообмін вхідного свіжого повітря з вихідним в рекуператорі; 0' – 1 – підігрів теплоносія до необхідної

температури в калорифері; 1 – 2 – лінія сушіння (охолодження і зволоження повітря при віддачі теплоти на випаровування вологи.

б) тепловий насос з попереднім підігріванням повітря в калорифері (повний викид відпрацьованого теплоносія після випарника теплового насосу в атмосферу). 0 - 1' - попереднє підігрівання повітря в калорифері; 1' - 1 – догрівання в конденсаторі ТН; 1 – 2 – сушіння; 2 - 3 – відбір теплоти в випарнику ТН.

в) тепловий насос з повною рециркуляцією теплоносія (замкнутий повітряний цикл). 0' - 1 - підігрівання повітря в конденсаторі ТН; 1 – 2 – процес сушіння зерна; 2 – 3 - 0' - охолодження повітря і конденсація вологи в випарнику ТН.

г) тепловий насос з частковим змішуванням відпрацьованого теплоносія. 0' - 1' - нагрівання повітря в конденсаторі ТН; 1 – 2 – сушіння в сушарці; 2-3' - охолодження відпрацьованого теплоносія в рекуператорі; 3'-3-3'' - охолодження повітря і конденсація вологи в випарнику ТН; 0 – см - 3' - змішування свіжого повітря і відпрацьованого теплоносія із рекуператора; см - 0' - початковий підігрів повітряної суміші в рекуператорі.

Вдосконалення схем з тепловим насосом дозволяє збільшити енергоефективність теплонасосного способу сушіння насіння рослинних матеріалів використовуючи заходи із рециркуляцією теплоносія та з частковим змішуванням з відпрацьованим теплоносієм.

Схеми теплових насосів для сушіння різних матеріалів з використанням сонячної енергії та з двома температурними рівнями представлено на рис. 1.27 [103]. В даній схемі передбачено підігрівання повітря в підігрівачі 6 від контуру рециркуляції підігрітого теплоносія в сонячному підігрівачі 12. Теплоносій охолоджується та зневоднюється в випарнику 1 теплового насосу і направляється в рекуперативний теплообмінник 7, де підігрівається за рахунок рекуперації теплоти викидної частини теплоносія з сушарки 8. В конденсаторі теплоносій підігрівається 2 і направляється вентилятором 11 в сушарку 8.

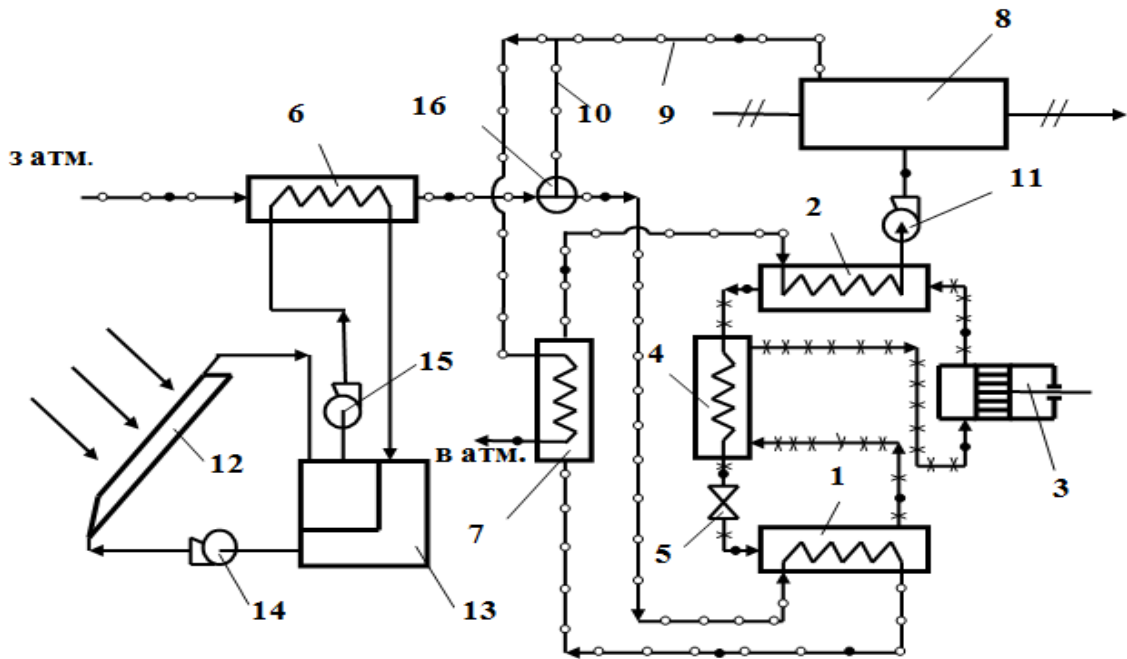


Рис. 1.27. Схема теплонасосної сушильної установки з сонячним підігрівачем:
 1 – випарник; 2 – конденсатор; 3 – компресор; 4 – регенеративний теплообмінник; 5 – регулюючий вентиль; 6 – підігрівач; 7 – рекуперативний теплообмінник; 8 – сушарка; 9 – лінія відведення відпрацьованого сушильного агента; 10 – лінія відведення рециркуляційного потоку сушильного агента; 11 – вентилятор; 12 – сонячний підігрівач; 13 – бак – акумулятор; 14, 15 – насоси; 16 – вузол змішування.

—○—○— сушильний агент; *—*—*— робоча речовина;
 ————— проміжний теплоносій; //—//— продукт, що сушиться.

Підвищення енергоефективності сушіння зерна при утилізації теплоти відпрацьованого теплоносія в теплообмінниках з шахтної прямої зерносушарки, дозволяє економити 10% палива [104,105]. В даній схемі передбачено підігрівання в топці відпрацьованого теплоносія та введення в схему рециркуляції свіжого зовнішнього повітря. При температурі відпрацьованого теплоносія на виході з зони нагрівання $t = 120^{\circ}\text{C}$, теплообмінник дозволяє нагріти зовнішнє повітря до температури $80\text{...}90^{\circ}\text{C}$ перед надходженням його в топку.

Схема комплексної утилізації відпрацьованого теплоносія в теплообмінниках, економайзері та тепловому насосі представлені на рис. 1.28 [106].

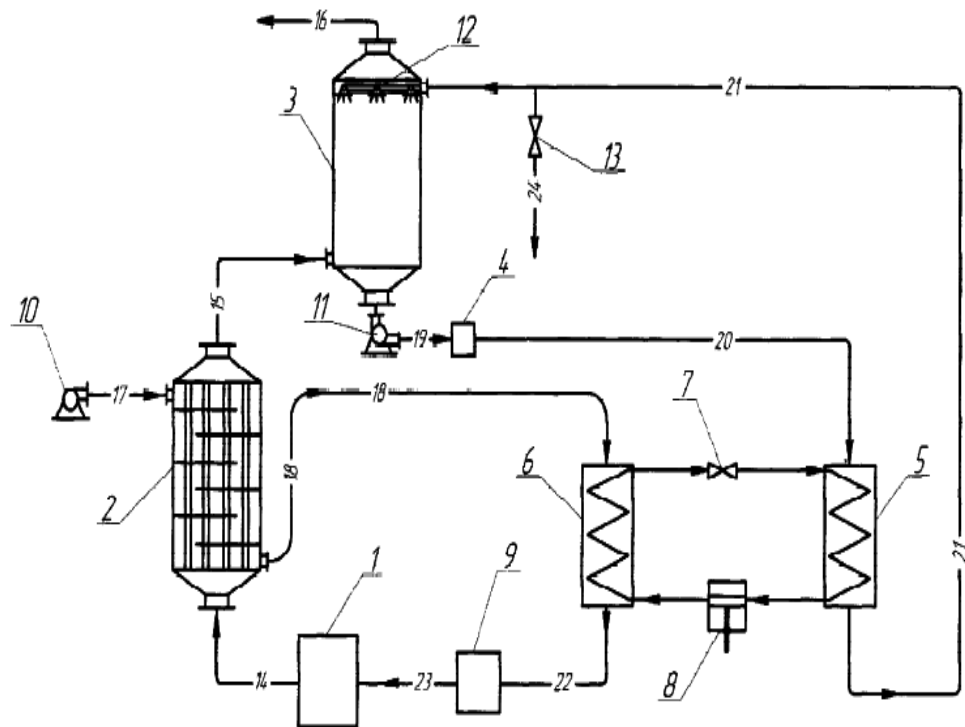


Рис. 1.28. Комплексна схема утилізації відпрацьованого теплоносія в теплообмінниках, економайзері та тепловому насосі:

1 – сушарка; 2 – теплообмінник; 3 – економайзер; 4 – фільтр; 5 – випарник; 6 – конденсатор; 7 – дросель; 8 – компресор; 9 – калорифер; 10 – вентилятор; 11 – насос; 12 – розпилювальний пристрій; 13 – вентиль; 14,15,16,18,22,23 – повітропровід; 19,20,21,24 – трубопровід.

Насіння сушиться в сушарці 1, звідки відпрацьований теплоносій направляється на теплообмінник 2. В теплообміннику відбувається теплопередача від відпрацьованого теплоносія до сушильного агенту, який направляється для подальшого нагрівання в конденсаторі теплового насосу 6 та в паровому підігрівачі 9 і подається в сушильну камеру сушарки 1.

В схемі передбачено контур циркуляції теплоносія 18,22,23,14 та контур циркуляції підігрітої води 19,20,21. Випарник 5 відбирає тепло і через компресор 8 надходить на конденсатор 6, де робоча речовина конденсується виділяє теплоту.

В економайзері 3 відбувається відбір теплоти на нагрівання води і направлення на випарник теплового насосу.

Таким чином в схемі передбачено 4-х кратне використання теплоти відпрацьованого теплоносія для нагрівання сушильного агенту і води.

Для утилізації та рекуперації теплоти в барабанній сушарці розроблена схема із використанням теплового насоса та теплообмінника (рис. 1.29) [107]

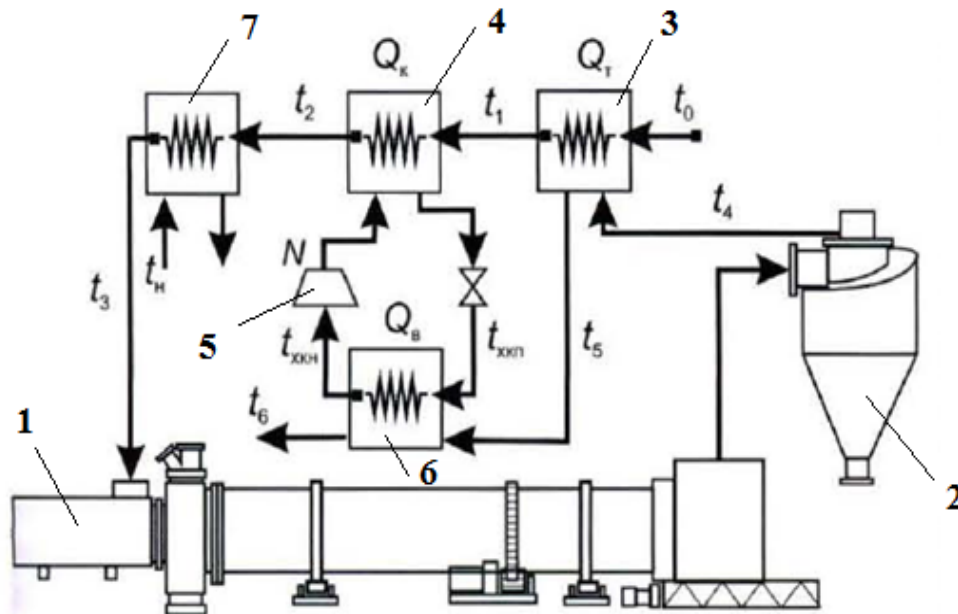


Рис. 1.29. Схема рекуперації теплоносія в барабанній зерносушарці:
1 – барабанна зерносушарка; 2 – циклон; 3, 7 – трубчастий підігрівач;
4 – конденсатор; 5 – компресор; 6 - випарник

Представлена схема рекуперації теплоти відрізняється від попередньої на встановленні циклону 2 на виході із барабанної сушарки 1. В ній використовується теплота відпрацьованого теплоносія після очищення в циклоні 2.

Для зневоднення продуктів, сушіння яких у відповідності з технологічним регламентом повинен проводитись в декількох секціях сушарок при різних температурах теплоносія, розроблена схема теплонасосної сушарки з двосекційним конденсатором (рис. 1.30) [106].

Теплоносій більш високого температурного потенціалу (для сушарки 11) підігрівається послідовно в секціях 2 і 3 конденсатора і направляється на

сушарку 11, де зволожується і охолоджується. Відпрацьований теплоносій, змішується з свіжою порцією повітря, осушується.

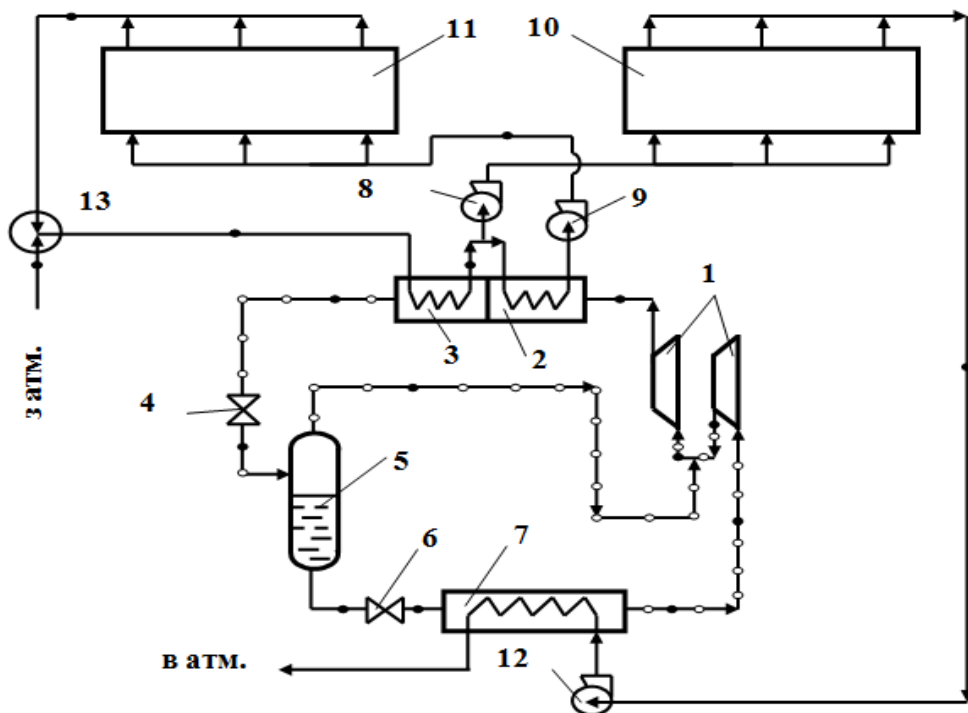


Рис. 1.30. Теплонасосна сушарка з двома температурними рівнями теплоносія :

- 1 – двоступеневий компресор; 2, 3 – двосекційний конденсатор;
 4, 6 – регулюючий вентиль; 5 – проміжна ємність; 7 – випарник;
 8, 9, 12 – вентилятор; 10, 11 – сушарка; 13 – вузол змішування.
 ————— теплоносій; -○-○- робоча речовина.

Теплоносій більш низького температурного потенціалу вентилятором 8 направляється в сушарку 10, а потім у випарник 7 для рекуперації теплоти, що дозволяє проводити процес кипіння робочої речовини при більш високій температурі.

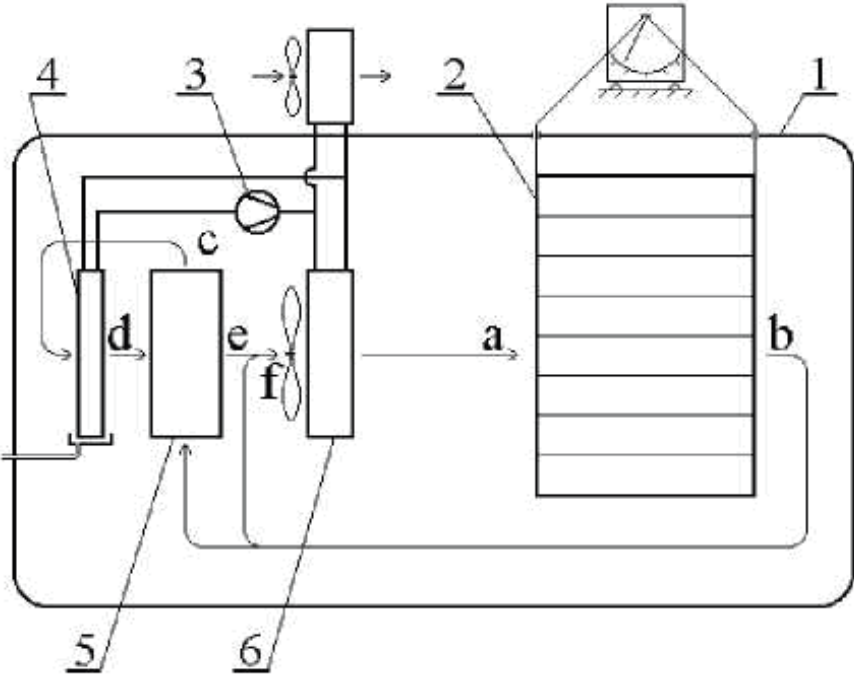
В університеті штату Айова проводили дослідження сонячної установки з тепловим насосом для сушіння зерна, споживання енергії при сушінні знизилось на 37% [108]


Експериментально-промислові установки з тепловим насосом, що використовувались в різних галузях народного господарства - може бути використано для сушіння насіння рослинних культур (табл. 1.14) [109 - 137].


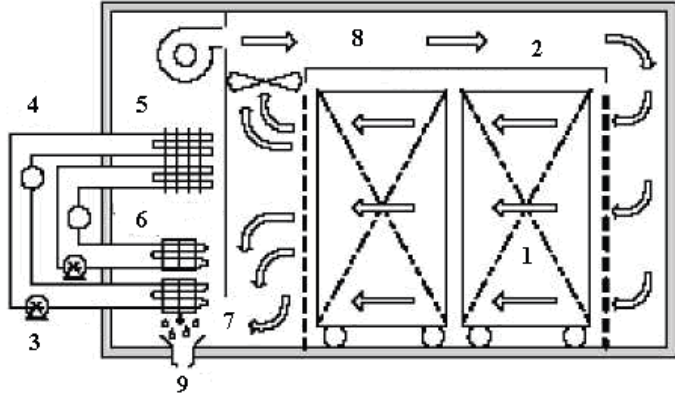
Таблиця 1.14.

Експериментально-промислові установки з тепловим насосом

Автори, місце проведення, назва установки	Схема (фото) установки	Характеристики установки та рекомендації авторів
1	2	3
<p data-bbox="159 469 589 576">1. О.Ю .Гузев, О. Алвес-Фільо, С.В. Алвес-Гончарова, 2008 [109].</p> <p data-bbox="152 836 589 871">НУНТ, г. Трондхайм, Норвегія</p> <p data-bbox="203 1209 544 1390">Лабораторна установка 2 – х стадійної сушки парокompресійного ТН псевдоожигенного шару (холодоагент – аміак)</p>	<p data-bbox="712 1254 1509 1326">Схема експериментальної установки 2 – х стадійної сушки фармацевтичного протеїну:</p> <p data-bbox="680 1329 1541 1469">1 – сушильна камера; 2 – циклон; 3 – випарник; 4 – компресор; 5 – трьохходовий клапан; 6 – внутрішній конденсатор; 7 – зовнішній конденсатор; 8 – збірник конденсату; 9 – дросельний клапан; 10 - вентилятор</p>	<p data-bbox="1666 475 2119 655">Схема експериментальної установки 2 – х стадійної сушки фармацевтичного протеїну складається з двох частин: із сублимаційної та теплової стадій</p> <p data-bbox="1632 994 2152 1174">Найкращими умовами з точки зору енергетичної ефективності установки і якості продукту: час сублимаційної сушки – 3 год, час теплового сушіння – 2,5 год.</p>

1	2	3
<p>2. Снежкін Ю.Ф., Чалаєв Д.М., Дабижа Н.О.</p> <p>Інститут технічної теплофізики НАН України, 2004 [110]</p> <p>Лабораторна теплонасосна конвективна сушильна установка (холодоагент R-134A)</p>	 <p>Схема теплонасосної сушильної установки: 1 – сушильна камера; 2 – візок; 3 – компресор; 4 – випарник; 5 – рекуперативний теплообмінник; 6 – двохсекційний повітряний конденсатор.</p> <p>a – b – видалення вологи з матеріалу в сушильній камері; b – c – віддача теплоти в рекуператорі; c – d – охолодження і зневоднення на випарнику; d – e – нагрівання в рекуператорі; e – f і b – f – змішування теплоносія перед конденсатором; f – a – нагрівання в конденсаторі</p>	<p>Сушарка камерного типу має чотири робочих зони, в кожній із яких підтримується свої режимні параметри теплоносія.</p> <p>Установка призначена для сушіння 450 кг/год фруктів, ягід та грибів до кінцевої вологості матеріалу 4%</p>

1	2	3
<p data-bbox="147 272 412 339">3. Venkatesh Sosle , G.S.V. Raghavan</p> <p data-bbox="244 678 492 745">Moun teal, Canada: McGill Un</p> <p data-bbox="181 1046 555 1230">Лабораторна установка з парокомпресійним ТН (холодоагент R-22) для сушки овочів, фруктів, зерна iv., 2002 [111]</p>	 <p data-bbox="875 1342 1346 1409">Лабораторна установка для сушки сушки овочів, фруктів, зерна</p>	<p data-bbox="1630 277 2154 421">ТН потужністю 2,3 кВт марки МAM 024 (Decton Inc, Монреаль, Канада), гвинтовий компресор (Copeland ZR24K3-PFV).</p> <p data-bbox="1630 572 2154 751">Сушильна камера габаритні розміри: (0,175 м³; $l \times h \times w = 0,7 \times 0,5 \times 0,5$ м), матеріал полікарбонат (GE Lexan), товщина 0,25" (6 мм).</p> <p data-bbox="1630 831 2154 938">Овочі, фрукти, зерно висушені за допомогою ТН, мали високі органолептичні показники.</p> <p data-bbox="1630 1051 2154 1230">Сушка з ТН проводилась при температурі теплоносія 45 - 65°C, в якості матеріалу для сушіння овочів використовувались яблука, що мали високі якісні показники.</p>

1	2	3
<p>4. Arif Hepbasli, Neslihan Colak, Ebru Hancioglu, Filiz Icier, Zafer Erbay.</p> <p>Saudi Arabia, Turkey, 2010 [112]</p> <p>Експериментальна конвеєрна сушарка з ТН (холодоагент R-407°С)</p>	 <p>Експериментальна конвеєрна установка з ТН</p>	<p>Експериментальна установка складається із гвинтового компресора, 2 – х конденсаторів (внутрішнього і зовнішнього), сушильної камери, модуля регенерації теплоти.</p> <p>Розмір сушильної камери 3х3х1 м. Температура теплоносія 45, 50, 55°С. Швидкість сушильного агента 1,5 м/с.</p> <p>Теоретичні значення COP 3,92 – 4,35 і практичні значення COP 2,56 – 2,81.</p>
<p>5. Kong Hoon Lee , Ook Joong Kim, Jong-Ryul Kim</p> <p>Daejeon, Seoul, Korea, 2008 [113]</p> <p>Лабораторна камерна сушарка з двохступінчатим парокompресійним ТН для високотемпературної сушки рослинних матеріалів (холодоагент R-134А)</p>	 <p>Схема лабораторної камерної сушарки з двохступінчатим парокompресійним ТН для високотемпературного сушіння рослинних матеріалів:</p> <p>1 – візок; 2 – сушильна камера; 3 – компресор; 4 – дросель; 5 – конденсатор; 6 – випарник; 7 – вологе повітря; 8 – осушене повітря; 9 – дренажний отвір</p>	<p>Сушарка з двохступінчатим ТН, в якому працюють два різних цикла, щоб отримати теплоносії з високою температурою</p> <p>Двохступінчатий ТН необхідний для отримання температури теплоносія вище за 80°С.</p>

1	2	3
<p>6. Siew Kian Chin; Chung Lim Law.</p> <p>Malaysia: 2010 [114]</p> <p>Сушарка з ТН для висушування грибів</p>	 <p>Схема експериментальної установки з ТН: 1 – насос; 2 – компресор; 3 – теплообмінник; 4 – конденсатор; 5 – клапан; 6 – випарник; 7 – теплообмінник; 8 – вентилятор; 9 – калорифер; 10 – сушильні камери; 11 – клапан; 12 – гаряче вологе повітря; 13 – холодне сухе повітря; 14 – гаряче сухе повітря</p>	<p>Визначено вплив режиму осциляції на збереження розчинення полісахаридів і зміну кольору висушеного продукту.</p> <p>Вказано, що безперервне сушіння з ТН і підігрівачем зменшує втрату водорозчинних полісахаридів в висушеному продукті.</p>

ВИСНОВКИ ДО ПЕРШОГО РОЗДІЛУ

1. Проведений енергетичний аналіз зерносушильної техніки, показав що сушильні установки споживають в 2...2,5 раз більше енергії, ніж фізично необхідно. В діючих зерносушарках питомі витрати теплоти для насіннєвого зерна мають коефіцієнт корисної дії близько 50%.

Високі енерговитрати на процес сушіння зерна спонукають до пошуку нових способів та розробки обладнання і технологій для сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур.

2. Реалізація енергоефективного процесу сушіння насіння із тепловими насосами дозволяє проводити процес при низькотемпературних режимах, знизити вологість теплоносія та одночасно реалізовувати дві або три технологічних операцій (нагрівання, сушіння, охолодження), використовувати теплоту навколишнього середовища, альтернативних або відновлюваних джерел енергії.

Основний зміст цього розділу опублікований у працях [46 – 49, 84, 115 - 120].

РОЗДІЛ 2.

**ХАРАКТЕРИСТИКА НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ, ОЛІЙНИХ,
ОВОЧЕВИХ ТА ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР ЯК ОБ'ЄКТ СУШІННЯ,
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

2.1. Характеристика насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур як об'єкт сушіння

Насіння володіє унікальними властивостями, для покращення технологічних та насінневих властивостей застосовують сушіння. Правильне використання властивостей насіння при сушінні знижує витрати енергії та приводить до стійкого зберігання.

Сушіння насіння займає важливе значення в процесі збереження нативних властивостей матеріалу та характеризується гігроскопічними, фізико-механічними, хімічними та теплофізичними ознаками.

Для аналізу форм зв'язку води використовують ізотерми сорбції-десорбції вологих матеріалів, що є функціональною залежністю між відносною вологістю повітря і рівноважною вологістю матеріалу при сталій температурі і тиску (рис. 2.1) [3,56].

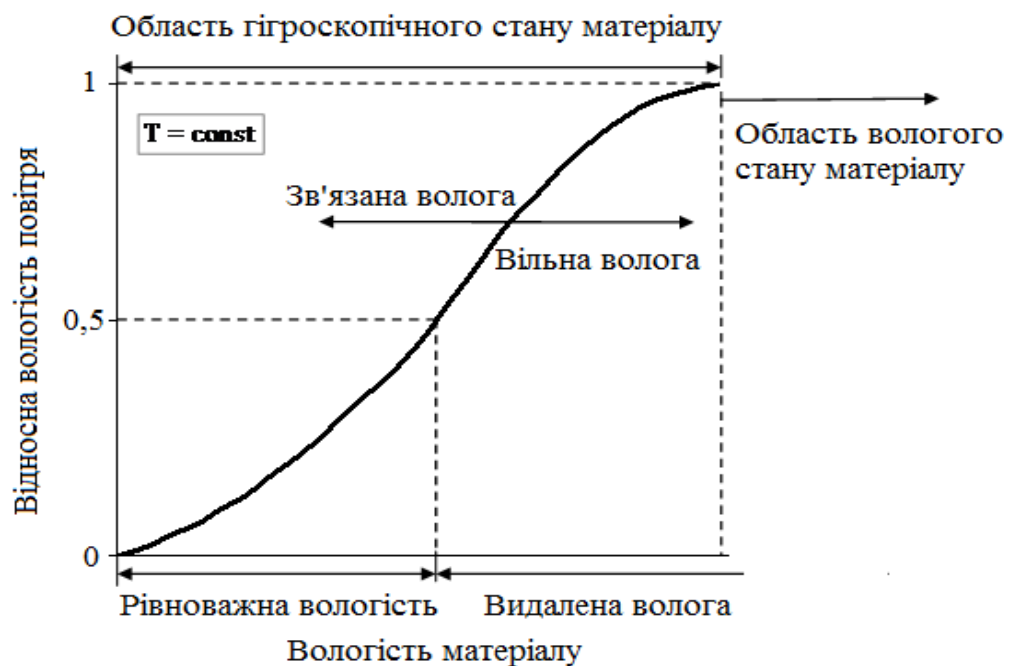


Рис. 2.1. Ізотерма адсорбції капілярно-пористих матеріалів

Рівноважна вологість є основною характеристикою гігроскопічних властивостей матеріалів. Знання закономірності зміни рівноважної вологості зернових культур в залежності від вологості повітря і температури необхідно для викриття механізму процесу сушіння і зволоження, які обумовлені властивостями цих культур. Поряд з цим знання гігроскопічних властивостей насіння дає можливість вибрати раціональний режим сушіння, вентилявання та зберігання.

Рівноважна вологість насіння залежить від сорту та величини гісторезису при сорбції та десорбції зразків, тому визначають середнє значення рівноважної вологості та величину гістерезису. Так для різних сортів насіння пшениці величина рівноважної вологості при сорбції та десорбції може відрізнятись на 1,5% (табл. 2.1) [121].

Таблиця 2.1.

Рівноважна вологість насіння пшениці при температурі 30°C

Сорт насіння	Відносна вологість повітря, %								
	11,8	22,0	32,8	43,3	56,3	64,6	75,6	84,5	90,7
	Десорбція								
Елгін	6,20	8,20	9,70	11,0	12,63	13,98	15,52	17,59	21,56
Стеварт	5,78	7,66	9,17	10,56	12,18	13,31	14,87	16,91	21,34
Міда	6,08	7,96	9,45	10,89	12,46	13,68	15,12	17,15	21,45
Середнє значення	6,02	7,94	9,44	10,82	12,42	13,66	15,17	17,21	21,45
	Сорбція								
Елгін	4,87	6,73	8,42	9,61	11,39	12,94	14,58	17,03	21,44
Стеварт	4,19	6,07	7,67	9,25	10,90	12,95	14,11	16,71	21,11
Міда	4,50	6,29	7,91	9,45	11,10	12,78	14,36	16,84	21,34
Середнє значення	4,52	6,36	8,00	9,44	11,13	12,89	14,35	16,86	21,30
Гісторезис	1,5	1,58	1,44	1,38	1,29	0,77	0,82	0,35	0,15

Рівноважна вологість насіння зернових, олійних та технічних культур наведено в табл. 2.2, 2.3 [3, 4].

Таблиця 2.2.

Рівноважна вологість насіння зернових культур [11, 121]

Культура	Температура, °С	Відносна вологість повітря,							
		20	30	40	50	60	70	80	90
Пшениця	0	8,7	10,1	11,2	12,4	13,5	15,0	16,7	21,3
	20	7,8	9,2	10,7	11,8	13,1	14,3	16,0	20,0
	30	7,4	8,8	10,2	11,4	12,5	14,1	15,7	19,3
Кукурудза	0	9,4	10,5	11,6	12,7	13,8	15,6	17,6	20,1
	20	8,2	9,4	10,7	11,9	13,2	14,9	16,9	19,2
	30	7,9	9,0	10,1	11,2	12,4	13,9	15,9	18,3
Ячмінь	0	9,2	10,6	12,1	13,1	14,4	16,4	18,3	21,1
	20	8,3	9,5	10,9	12,0	13,4	15,2	17,5	20,5
	30	7,6	9,1	10,4	11,5	12,2	14,3	16,6	19
Жито	0	8,9	10,4	11,6	12,7	13,9	15,8	18,3	21,9
	20	8,3	9,5	10,9	12,2	13,5	15,2	17,4	20,8
	30	7,8	9,0	10,4	11,5	12,8	14,3	16,5	20,3
Овес	0	7,8	9,1	10,5	11,8	12,9	15,2	17,9	20,7
	20	6,7	8,3	9,4	10,8	12,0	14,4	16,8	19,9
	30	6,2	7,9	8,7	9,8	11,6	13,8	16,2	19,0
Просо	0	8,7	10,2	11,7	12,5	13,6	15,2	17,1	19,1
	20	7,8	9,1	10,5	11,6	12,7	14,3	15,9	18,3
	30	7,2	8,7	10,2	10,2	12,1	13,6	15,3	17,7

Таблиця 2.3.

Рівноважна вологість насіння олійних та технічних культур [11, 121 - 124]

Культура	Температура, °С	Відносна вологість повітря,							
		20	30	40	50	60	70	80	90
Соя	0	5,8	7,0	7,7	8,7	9,6	12,0	16,2	21,5
	20	5,4	6,5	7,1	8,0	9,5	11,6	15,3	20,9
	30	5,0	5,7	6,4	7,2	8,9	10,6	14,5	20,2
Соняшник	20	6,0	7,7	9,2	10,7	12,2	13,9	15,9	18,7
	25	5,9	7,4	8,9	10,4	11,9	13,5	15,5	18,2
	30	5,7	7,2	8,7	10,1	11,5	13,1	15,1	17,7
Ріпак	3	–	–	–	9,4	9,7	10,5	11,3	–
	15	–	–	–	7,0	7,8	9,0	10,0	–
	20	8,2	9,4	10,7	11,9	13,2	14,9	16,9	19,2
	30	7,9	9,0	10,1	11,2	12,4	13,9	15,9	18,3
Насіння цукрового буряку	4,4		9,0	10,0	11,5	13,5	14,1	16,2	19,9
	15,5	-	8,0	9,1	10,4	11,6	12,9	14,7	18,0
	26,6		7,0	8,3	9,2	10,4	11,5	13,2	15,8

До фізико-механічних властивостей відносять: розміри, маса, насипна щільність, кут природного укусу, пористість шару, шпаруватість та ін.

В залежності від сортових ознак змінюються фізико-механічні властивості, так наприклад для кукурудзи змінюється густина насіння в залежності від початкової вологості матеріалу (табл. 2.4) [124].

Таблиця 2.4.

Густина насіння кукурудзи різних сортів при зміні вологості зерна [124]

Сорт	при вологості, %			
	12	16	23	28
Краснодарський	1,27	1,21	1,19	1,15
Стерлінг	1,29	1,28	1,24	1,20
Вороніжський	1,30	1,28	1,26	1,23

Зміна фізико-механічних властивостей для насіння ріпаку наведено в таблиці 2.5.

В залежності від сорту та вологості насіння ріпаку найбільший за масою сорт Східносибірський. Збільшенням вологості насіння з 6 до 23,4% приводить до збільшення майже всіх властивостей ріпаку: маси на 9 – 20%, кут природного укусу на $1^{\circ}30'$, кут зовнішнього тертя спокою в залежності від поверхні тертя на 1,1 – 2 рази, коефіцієнт тертя руху на 24% та пористості шару на 3 – 5% [125 - 127].

Для порівняння фізико-механічних властивостей зернових, олійних та овочевих культур значення характеристик зводимо в табл. 2.6.

Найбільша маса у зазначених видах насіння у кукурудзи, гороху та сої, найменша у моркви та люцерни. Кут природного укусу знаходиться в межах 17° до 38° , лише у вівса він може становити 54° . Найменша швидкість парусності у перцю до 4,7 м/с і найбільша у сої може досягати 20,2 м/с. [11, 128 - 139].

Таблиця 2.5.

Основні фізико – механічні властивості насіння ріпаку від сортових ознак [125 - 127]

Властивість		Сорт											
		[125] Український (озимий)		[126] Східносибірський (озимий)					[127] Світоч (озимий)				
Вологість ріпаку, %		6,2	7,8	6,0	12,8	17,4	23,4	28,2	6,0	10,6	16,6	20,0	23,4
Маса 1000 насінин, г		4,8	5,2	5,2	5,41	5,48	5,56	5,63	3,70	3,71	3,75	3,77	4,45
Насипна щільність, кг/м ³		688	667	662	657	656	641	638	600	598	600	596	597
Кут природ. укосу, град		24	26	20°15′	20°20′	20°50′	21°10′	21°50′	31°20′	30°54′	32°22′	33°38′	32°57′
Кут зовнішнь ого тертя спокою	сталь	0,283	0,285	0,287 – 0,466			0,325 – 0,510		0,292	0,300	0,315	0,287	0,322
	алюміній	–	–	–	–	–	–	–	0,237	0,255	0,325	0,335	0,328
	пластмаса	0,356	0,309	–	–	–	–	–	0,194	0,219	0,364	0,338	0,401
	гума	0,302	0,396	0,466 – 0,541		0,499 – 0,625			0,262	0,246	0,352	0,322	0,364
Коефіцієнт тертя руху		0,321	0,262	–	–	–	–	–	0,338	0,356	0,400	0,414	0,418
Пористість шару, %		67,53	68,51	–	–	–	–	–	56,7	59,2	58,5	56,6	59,7
Шпаруватість,%		32,47	31,49	–	–	–	–	–	43,3	40,8	41,5	43,4	40,3

Таблиця 2.6.

Основні фізико – механічні властивості насіння зернових, олійних та овочевих культур [11, 128 - 139]

Властивість	Зернові									Олійні			Овочеві		
	Пшениця	Кукурудза	Ячмінь	Жито	Овес	Просо	Квасоля	Горox	Люцерна	Соняшник	Ріпак	Соя	Морква	Перець	Диня
Розміри насіння, мм															
товщина	1,5 - 3,8	3,0 - 8,0	1,4 - 4,5	1,2 - 3,5	1,2 - 3,6	1,0 - 2,2	7,2 - 18,5	3,5 - 8,0	0,8 - 1,5	1,7 - 6,0	1,3 - 2,0	5,0 - 10,5	0,5 - 1,2	0,6 - 0,8	1,5 - 1,9
ширина	1,6 - 4,0	5,0 - 11,0	2,0 - 5,0	1,4 - 3,6	1,4 - 4,0	1,2 - 3,0	4,7 - 11,0	3,7 - 8,0	1,2 - 1,9	3,5 - 8,6	1,4 - 2,1	4,5 - 8,0	1,0 - 1,7	3,0 - 3,7	4,3 - 4,9
довжина	4,2 - 8,6	5,2 - 14,0	7,0 - 14,6	5,0 - 10,0	8,0 - 18,6	1,8 - 3,2	2,7 - 10,0	4,0 - 8,8	2,2 - 2,9	7,5 - 15,0	1,5 - 2,9	4,0 - 7,0	2,0 - 2,7	3,4 - 4,4	9,4 - 10,7
Маса 1000 насінин, г	22 - 42	205 - 345	31 - 51	13 - 32	20 - 42	6 - 6,5	52 - 64	155 - 190	2 - 2,5	53 - 69	3,7 - 5,6	125 - 135	1,1 - 1,2	4,1 - 7,5	30,7 - 40
Густина, г/см ³	1,2 - 1,5	1,0 - 1,35	1,3 - 1,4	1,2 - 1,5	1,2 - 1,4	0,8 - 1,2	1,2 - 1,4	1,1 - 1,4	0,8 - 1,1	-	0,8 - 1,3	1,05 - 1,3	-	0,8 - 1,0	0,8 - 0,9
Насипна щільність, кг/м ³	730 - 850	680 - 820	580 - 700	680 - 750	400 - 550	680 - 780	745 - 820	750 - 800	-	275 - 400	596 - 688	690 - 720	-	395 - 505	405 - 543
Кут природ. укусу, град	30 - 38	30 - 40	28 - 32	23 - 34	31 - 54	20 - 27	29 - 35	24 - 31	-	31 - 45	31 - 33	25 - 32	-	21 - 35	17 - 20
Кут зовн. тертя спокою, ° (1 - сталевий лист) (2 - алюміній) (3 - оцинкована сталь)	17 - 35 ¹	-	-	-	-	-	5 - 23 ¹	4 - 22 ¹	21 - 24 ²	24 - 28 ¹	13 - 21 ¹	6 - 26 ¹	31 - 35 ²	31 - 37 ¹ 25 - 33 ²	21 - 27 ¹ 21 - 24 ² 21 - 27 ³
Щільність укладання, %	55 - 65	45 - 65	45 - 55	55 - 65	30 - 50	50 - 70	30 - 47	55 - 60	60 - 70	53 - 55	57 - 69	-	-	45 - 49	37 - 54
Шпаруватість, %	35 - 45	35 - 55	45 - 55	35 - 45	50 - 70	30 - 50	53 - 70	40 - 45	30 - 40	45 - 47	31 - 43	-	-	51 - 55	46 - 63
Швидкість парусності, м/с	8,9 - 11,5	10 - 17	8,4 - 10,8	8,4 - 10	8,4 - 10,8	2,5 - 9,5	-	7 - 16	-	4 - 14	-	9 - 20,2	-	2,9 - 4,7	-

Хімічний склад різних сортів насіння гарбуза багатий на вміст білків, жирів та вуглеводів, що поєднує в собі властивості зернових, олійних та бобових культур (табл. 2.7) [140].

Таблиця 2.7.

Хімічний склад насіння гарбуза різних сортів [140]

Показник	Сорт гарбуза		
	Столова зимня	Вітамінна	Голосеменна
Вода	6,36	6,45	6,82
Жири	28,42	29,19	31,79
Білки	31,36	34,03	35,26
Вуглеводи, в тому числі:	30,82	26,19	21,39
цукор	13,57	6,37	17,17
клітковина	17,25	19,82	4,22
Мінеральні речовини, мг			
- Na	14,96	14,21	16,03
- K	536,74	675,95	924,15
- Ca	289,44	346,98	380,48
- Mg	345,34	350,78	507,64
- P	1388,26	1946,65	2292,15
- Fe	62,10	65,40	82,20

Середній хімічний склад насіння зернових, олійних та овочевих культур наведений в табл. 2.8.

Насіння зернових культур особливо багаті вуглеводами, олійні культури – жирами, овочеві культури – білками та жирами,. Дослідження хімічного складу овочевих культур проводилось на насінні гарбуза та дині. Відмінність наведених сортів за жирами та білками на 12%, вуглеводи на 44%. За мінеральними речовинами найбільший вміст у гарбузу фосфору та калію.

Таблиця 2.8.

Середній хімічний, мінеральний, вітамінний склад насіння зернових, олійних та овочевих культур [11, 140 - 150]

Властивість	Зернові									Олійні			Овочеві	
	Пшениця	Кукурудза	Ячмінь	Жито	Овес	Просо	Квасоля	Горох	Нут	Соняшник	Ріпак	Соя	Гарбуз	Диня
Вода, г.	14,0	14,0	14,0	14,0	13,5	13,5	14,0	14,0	14,0	8,0	8,1	12,0	5,2	7,03
Білки, г	11,6	9,3	11,5	9,9	10,1	11,2	23,3	23,0	20,1	12,3	30,8	34,9	30,2	45,16
Жири, г	1,6	4,0	2,0	1,6	4,7	3,8	1,7	1,2	5,0	31,0	43,6	17,3	49,0	36,35
Вуглеводи, г	68,7	69,4	65,8	70,9	57,8	60,7	54,5	53,3	54,2	22,7	7,2	26,5	4,7	17,2
Клітковина, г	2,4	2,1	4,3	1,9	10,7	7,9	3,9	5,7	3,7	23,2	5,8	4,3	6,0	16,93
Зола, г	1,7	1,2	2,4	1,7	3,2	2,9	3,6	2,8	3,0	2,6	4,5	5,0	4,8	1,04
Мінеральні речовини, мг														
- Na	24	14	41	22	75	28	40	69	72	160	139	44	7	16,03
- K	379	387	453	424	421	328	1100	873	1084	647	979	1607	809	924,15
- Ca	50	-	93	59	117	51	150	115	193	367	454	348	46	380,48
- Mg	111	120	153	120	135	131	103	107	126	317	311	191	592	507,64
- P	339	218	353	310	361	320	541	329	444	530	840	510	1233	2292,1
- Fe	5,1	5,0	12,1	5,4	11,0	9,6	12,4	9,4	2,6	61	2,8	11,8	8,82	82
Вітаміни, мг														
- B ₁	0,41	-	0,33	0,44	0,48	0,67	0,50	0,81	0,08	1,84	0,11	0,94	0,27	-
- B ₂	0,17	-	0,13	0,20	0,12	0,07	0,18	0,15	-	0,18	0,25	0,22	0,15	-
- PP	5,04	-	4,48	1,30	1,50	2,85	2,10	2,20	-	10,12	15,9	2,20	4,99	-
Енергетична цінність, кДж	1331	1393	1301	1339	1255	1284	1293	1268	1376	2416	2274	1653	2336	-

У різних точках зернової маси одночасно відбуваються два процеси: переміщення теплоти і накопичення або виділення теплоти різними ділянками зерна. Від кількісного співвідношення цих процесів залежить швидкість поширення температурної хвилі, глибина проникнення теплової зони, швидкість зміни температури та теплового потоку в кожній ділянці зернової маси. Розвиток перелічених вище процесів залежить від теплофізичних властивостей зерна.

До числа теплофізичних характеристик відносять теплоємність матеріалу c , коефіцієнт теплопровідності λ , коефіцієнт температуропровідності a . Теплофізична характеристика a , λ , c залежить від природи речовини.

В практиці зерносушіння приймають питому теплоємність зерна та зернової маси однаковою, так як маса повітря міжзернового простору по відношенню до маси зерна порівняно не велика. На питому теплоємність c має великий вплив вологість зерна та характер вологи з матеріалом [151 - 153]:

$$C_3 = \frac{c_B \cdot \omega}{100} + \frac{100 - \omega}{100} \cdot c_{C.B.} \quad (2.1)$$

де: c_B – питома теплоємність води, $c_B = 4,176$ кДж/(кг К);

$c_{C.B.}$ - питома теплоємність сухої речовини зерна, $c_{C.B.} = 1,55$ кДж/(кг К)

Теплоємність характеризує властивість матеріалу акумулювати теплоту при підвищенні його температури. Так як теплоємність залежить від температури, кожне її значення необхідно відносити до температури або її середньому значенню до визначеному інтервалу температур.

Коефіцієнт теплопровідності λ характеризує теплопровідні властивості зерна і залежить від тиску, температури, вологості, пористості, об'ємної маси та додаткового перенесення теплоти за рахунок конвекції та променевого обміну в порах.

Зерновий шар різниться низькою теплопровідністю, яку можна прирівняти до теплопровідності високоякісних теплоізоляційних матеріалів (азбесту, сукна, деревини). Внаслідок малої теплопровідності теплота у зерновій масі затримується переважно у тонкому шарі, який безпосередньо контактує з

гарячими поверхнями сушарки. Отже, зерно у цьому шарі може перегрітися і його якість погіршиться.

Теплопровідність зернової маси у 3 – 5 разів менша за теплопровідність однієї зернини через наявність у ній повітряних порожнин. Внаслідок низької теплопровідності зернова маса здатна тривалий час зберігати сталу температуру. Охолоджене взимку зерно за товщини шару 1,5 – 2 м витримує мінусову температуру до початку сівби, тому після висівання такого насіння отримують запізнілі і недружні сходи. Зерно, прогріте перед сівбою до 35 - 40°C, швидше проростає і забезпечує появу дружних сходів [130].

З збільшенням температури коефіцієнт теплопровідності збільшується приблизно за лінійним законом. Коефіцієнт теплопровідності можна визначити за формулою [151]:

$$\lambda_3 = \frac{Q \cdot l}{F \cdot \tau_1 \cdot \Delta T} \quad (2.2)$$

де Q – кількість теплової енергії передачі, Дж;

l – дальність передачі, м;

F – площа поверхні зерна, м²;

τ_1 – час проходження теплової енергії, с;

ΔT – різниця температур, °C

Коефіцієнт температуропровідності характеризує швидкість вирівнювання температури в різних точках температурного поля тіла при нагрівання та охолодженні. Зернова маса ріднитья малою температуропровідністю, внаслідок чого температурна хвиля поширюється дуже повільно (за 150 с на 20 мм).

Коефіцієнт температуропровідності визначається за формулою (м²/с) [152 - 155]:

$$a = \frac{\lambda_3}{c_3 \rho} \quad (2.3)$$

де: λ_3 – коефіцієнт теплопровідності зерна, Вт/(м·К);

c_3 – питома теплоємність зерна, Дж/(кг·К);

ρ – щільність матеріалу, кг/м^3 .

Коефіцієнт теплозасвоєння або теплова активність характеризує відведення теплоти з поверхні всередину зерна (або підведення теплоти із середини до поверхні зернової маси). Коефіцієнт теплозасвоєння зерна визначається за формулою ($\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}^{1/2})$):

$$\varepsilon = \sqrt{\lambda(c\rho)} \quad , \quad (2.4)$$

тобто коефіцієнт теплозасвоєння – це комплексна характеристика яка враховує теплоакумуючі і теплоінерційні властивості матеріалу.

В роботі Піляєвої О.В. визначено коефіцієнт теплопровідності та температуропровідності зернових матеріалів в щільному шарі зерна [156] і результати представлені на рис. 2.2.:

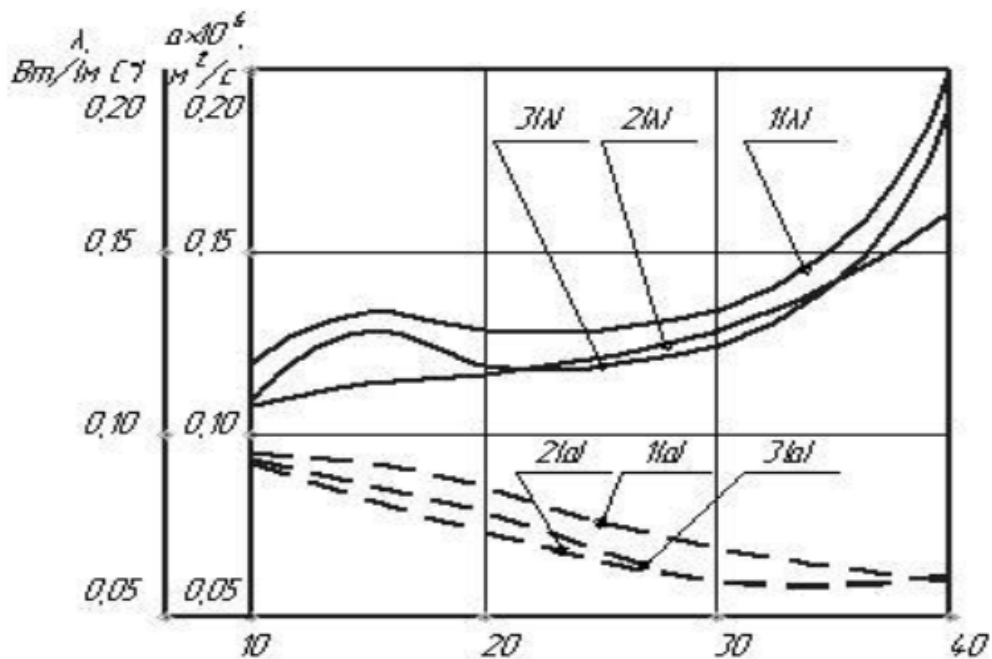


Рис. 2.2. Залежність теплофізичних показників шару зернових культур від вологості насіння при температурі 20°C : 1 – ячмінь; 2 – жито; 3 – овес.

Збільшення вологості зернових культур підвищує теплопровідність і зменшує температурність насіння зернових культур. Так теплопровідність насіння зернових культур збільшується від $0,12 - 0,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а температуропровідність зменшується від $0,09 \cdot 10^6$ до $0,06 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$.

В таблиці 2.9 наведені теплофізичні характеристики насіння зернових та олійних культур.

Таблиця 2.9.

Теплофізичні характеристики насіння зернових та олійних культур [155 - 167]

Культура	Вологість $W, \%$	Темпера- тура $t, ^\circ\text{C}$	Насипна щільність ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$	Питома теплоємність $c, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	Коеф. тепло- провідності λ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	Об'ємна теплоємність $(c\rho) \cdot 10^{-6}$, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	Коеф. температуро- провідності $a \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$	Коеф. теплової активності ε , $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}^{1/2})$	Автор
Пшениця	20	30	692	1863	0,116	1,2892*	9,0*	387*	[43]
			756	1956	0,1584	1,4787*	8,7	484*	[44]
Кукурудза	20	30	730	1953	0,156	1,4257*	10,3	472*	[45]
		60	730	2030	0,244	1,4819*	13,3	601*	[46]
Ячмінь	19,8	10	697	1807	0,14	1,2595*	9,0	420*	[47]
Жито	20	10	724	1753	0,12	1,2692*	9,5*	390*	[48]
Овес	20	60	544	2049	0,12	1,1147*	8,3	366*	[49]
Просо	20	60	755	1965	0,12	1,4836*	10,3	421*	[50]
Соя	8,1	60	750	2050**	0,116	1,537*	7,6*	422*	[вл,51]
Сояшник	7,1	30	446	-	0,081	-	9,6	-	[52]
Ріпак	19,64	19	628	1812	0,12	1,138*	9,0	370*	[53]
	20	24	600	2045	0,179	1,290	13,9	480	[54]

* - розраховано за формулою 2.2 – 2.4

** - власні дослідження

Для практичних розрахунків коефіцієнтів теплоємності, теплопровідності та температуропровідності насіння зернових (пшениці), олійних (соя), овочевих (гарбуз) та технічних (ріпак) культур запропоновані наступні формули і занесені в табл. 2.10 [157,161,165,166,168]:

Таблиця 2.10.

Формули для визначення теплофізичних коефіцієнтів зернових, олійних, овочевих та технічних культур [157,161,165,166,168]:

Культура	Вологість W , %	Питома теплоємність c , Дж/(кг·К)	Коеф. теплопровідності λ , Вт/(м·К)	Автор
Пшениця	10 - 30	$1520 + 21,8 W$	$0,129 + 0,00147 W$	[157]
Соя	8,1 - 25	$1444 + 58,6 W$	$0,0872 + 0,035 W$	[161]
Ріпак	0...28,5	$1244 + 58,7 W$	$0,16 + 0,006 W$	[165]
	5...22	-	$0,067 + 0,00215 \cdot W + 0,00157 \cdot T$	[166]
Гарбуз	5,32 - 24	$2359 + 32,12 W$	$0,1042 + 0,0013 W$	[168]
	0 - 60	$1632 + 23 W + 1,78 t$	-	[власні дослідження]

2.2. Основи теорії тепломасопереносу при сушінні капілярно-пористих матеріалів

Розгляд механізму і швидкості перенесення вологи у вигляді рідини та пари, а також переносу теплоти між матеріалом та теплоносією проходить декілька етапів:

- перенесення теплоти до матеріалу (теплоперенесення);
- віддача теплоти від теплоносія до поверхні матеріалу (теплообмін);
- випаровування вологи та перехід з поверхні матеріалу до теплоносія (масообмін);
- перенесення теплоти та вологи в матеріалі (тепломасообмін);

- перенесення вологи у вигляді пари теплоносія (масоперенесення).

На початку процесу сушіння відбувається прогрівання поверхневих шарів матеріалу, вологість яка вища за рівноважну. Тому волога з поверхні матеріалу починає випаровуватися і виходить у вигляді пари.

При сушінні відбувається нерівномірне розподілення вологості по перерізу матеріалу: на поверхні вологість менша, ніж усередині. В матеріалі виникає градієнт концентрації вологи, під дією якого волога у вигляді рідини переходить до поверхні.

Подальше зниження кількості вологи, що надходить із матеріалу, приводить до поглиблення зони випаровування з поверхні всередину матеріалу. У міру її поглиблення середня температура зернини підвищується, а температура її поверхні наближається до температури агента сушіння. При цьому змінюється також механізм перенесення вологи в зернині: волога із центра доходить до зони випаровування у вигляді рідини, а від цієї зони до поверхні зернини вона рухається вже у вигляді пари.

Рух рідини в порах і капілярах пористих тіл може відбуватися капілярним переносом під дією капілярних сил, плівковою течією, поверхневою дифузією, термокапілярним переносом при наявності градієнту температури в об'ємі тіла і по висоті капіляру, фільтраційним переносом під дією градієнту загального тиску в матеріалі і т. ін.

Перенесення пари в матеріалі може відбуватись молекулярною дифузією внаслідок різниці концентрації пари, кнудсеновською дифузією в вузьких порах за рахунок співударяння молекул з поверхнею пор, стефанівською дифузією в тупикових порах, термодифузією, шляхом теплового ковзання в мікро- та мікропорах, бародифузією внаслідок молекулярного переносу компоненту з більшою масою в область високого тиску і т. ін.

Перенесення теплоти в вологому тілі відбувається теплопровідністю, викликаний градієнтом температури. В капілярному просторі не виключений термодифузійний ефект (ефект Дюфура), внаслідок градієнту концентрації [3, 169 - 171].

Описаний механізм руху вологи всередині матеріалу спостерігається лише при відносно низьких температурах агента сушіння та невеликій швидкості сушіння. В разі інтенсифікації сушіння поверхня випаровування починає поглиблюватися всередину зернини з самого початку процесу, причому вологовміст зони випаровування наближається до значення рівноважного вологовмісту [151].

На швидкість сушіння можуть впливати умови проведення процесу (температура, тиск і ін.), особливість пористої структури матеріалу (кількість і конфігурація пор, розподіл за розмірами, характер з'єднання між собою), ступінь заповнення пор рідиною, властивість пористого тіла до міжмолекулярної взаємодії з вологою, форма зв'язку вологи з матеріалом (хімічна, фізико-хімічна, фізико-механічна за П.А. Ребіндером) [3,56,197,200].

Прогрівання матеріалу зумовлює появу в ній не тільки градієнта вологості, а й градієнта температури, під дією якого також усередині матеріалу рухається волога. Цей її рух називають термовологопровідністю, або термодифузією [172].

Термовологопровідність є причиною руху вологи в напрямку теплового потоку. При конвективному сушінні градієнт температури направляє потік вологи від поверхні матеріалу до її центра, тобто протилежний потоку вологи, зумовленому градієнтом вологовмісту. Термовологопровідність у цьому разі перешкоджає руху вологи із матеріалу до поверхні. При охолодженні - напрямки потоків вологопровідності та термовологопровідності збігаються.

Рівняння теплопереносу [173,174]

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \Delta t \cdot \tau , \quad (2.5)$$

де $\alpha = f(\lambda, \alpha)$ – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);

Δt – різниця температур;

F – площа контакту, м²;

τ - час, с.

Рівняння масопереносу в формі рівняння сушіння

$$-\frac{dW^c}{d\tau} = k \cdot (W^c - W_p^c), \quad (2.6)$$

де $k = f(\alpha_{з.м.}, \alpha_{вн.диф.})$ – коефіцієнт сушіння, c^{-1} ;

$\alpha_{з.м.}$ – коефіцієнт зовнішнього масообміну, m^2/c (функція парціального тиску);

$\alpha_{вн.диф.}$ – коефіцієнт внутрішньої дифузії, m/c (функція температури нагрівання зерна).

Найбільш узагальненою формою математичного опису процесу тепломасоперенесення вважають запропоновану теорію А.В. Ликова та Ю.А. Михайловим [3, 175, 176].

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial \tau} = k_{11} \nabla^2 u + k_{12} \nabla^2 \theta + k_{13} \nabla^2 P \\ \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = k_{21} \nabla^2 u + k_{22} \nabla^2 \theta + k_{23} \nabla^2 P \\ \frac{\partial P}{\partial \tau} = k_{31} \nabla^2 u + k_{32} \nabla^2 \theta + k_{33} \nabla^2 P \end{cases} \quad (2.7)$$

де k_{ii} і k_{ij} ($i, j = 1; 2; 3$) – кінетичні коефіцієнти:

k_{ii} - характеризують прямі ефекти переносу для відповідних потоків тепла, молекулярного переносу вологи і молярного переносу пари, що виникають за рахунок ∇u , ∇T и ∇P ,

k_{ij} - характеризують ефекти накладення на основний потік супутніх потоків .

$$k_{11} = a + a_m \delta \varepsilon r \frac{c_m}{c_p}, m^2/c; \quad k_{12} = a_m \varepsilon r \frac{c_m}{c_p}, m^2/c; \quad k_{13} = a_m \delta_p \varepsilon r \frac{c_m}{c_p}, m^2 K/(c Pa)$$

$$k_{21} = a_m \delta, m^2/(c K); \quad k_{22} = a_m, m^2/c; \quad k_{23} = a_m \delta_p, m^2/(c Pa)$$

$$k_{31} = -a_m \delta \varepsilon \frac{c_m}{c_p}, m^2 Pa/(c K); \quad k_{32} = -a_m \varepsilon \frac{c_m}{c_p}, m^2 Pa/c$$

$$k_{33} = a_p - a_m \varepsilon \frac{\delta_p}{c_p}, m^2/c; \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \text{оператор Лапласа;}$$

де $a = \lambda/(c_p \rho)$ – коефіцієнт температуропровідності, m^2/c ;

$a_m = \lambda/(c_m \rho)$ – коефіцієнт дифузії вологи, m^2/c ;

a_p – коефіцієнт молярного перенесення вологи;

δ – відносний коефіцієнт термодифузії вологи;

δ_p – термоградієнтний коефіцієнт;

ε_ϕ – критерій фазового перетворення;

r – питома теплота фазового перетворення, Дж/кг;

c_p – коефіцієнт ємності вологого повітря в пористому тілі;

c_m – масоємність, кг вологи/кг сухої речовини.

Система рівнянь (2.7) є найбільш загальною, вона справедлива для будь-якого виду тепломасопереносу, але за умови сталості кінетичних коефіцієнтів (система лінійних диференціальних рівнянь).

Градiєнт загального тиску ∇P в капілярно-пористому тілі виникає при високотемпературних режимах сушіння. Для термолабільних матеріалів сушіння здійснюється при температурах нижчих за 100 °С, тобто в системі рівнянь (2.7) буде відсутній градієнт загального тиску і система рівнянь після перетворень має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \nabla^2 u + a_m \delta \nabla^2 \theta \\ \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \nabla^2 \theta + \varepsilon \frac{r}{c_m} \frac{\partial u}{\partial \tau} \end{cases} \quad (2.8)$$

Враховуючи, що основним визначальним параметром сушіння є перенесення вологи, а температура швидко досягає свого граничного значення і залишається практично незмінною, то використовують тільки одне диференційне рівняння масопереносу.

Плановський А.Н. запропонував розглядати сушіння як чисто масообмінний процес. При цьому вплив температурного поля на кінетику дифузії враховується експериментально отриманих функцій взаємозалежності між середньооб'ємною температурою та вологістю матеріалу [177].

Процес дифузії в зерні можна розглядати у відповідності із законом Фіка [56]:

$$dm = D \frac{dc}{dx} s \cdot dt \quad (2.9)$$

де m – кількість продифундованої речовини;

D – коефіцієнт дифузії, залежить від властивість продифундованих часток та середовища;

$\frac{dc}{dx}$ – градієнт концентрації;

s – площа, через яку йде дифузія, м²;

τ – тривалість дифузії, с.

У свою чергу коефіцієнт дифузії визначається за рівнянням Ейнштейна [178]:

$$D = \frac{RT}{N_A} \cdot \frac{1}{6\pi\eta r} \quad (2.10)$$

де R – універсальна газова постійна, рівна 8,314 Дж/(моль К);

T – абсолютна температура, К;

N_A – число Авогадро, 6,02 10²³ моль⁻¹;

B – характерний розмір часток матеріалу.

У багатьох випадках приймається постійний коефіцієнт D і форма об'єктів сушіння приймається: пластина, циліндр, шар.

Оскільки радіус молекул води r невеликий і її в'язкість η також мала, то коефіцієнт дифузії D буде достатньо великий і не потребує великих значень енергії активації.

А.С. Гінзбург розробив математичну модель тепло- і масопереносу в щільному шарі капілярно-пористого матеріалу [174,179]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \Delta^2 \theta + \frac{r}{c_3} \varepsilon \frac{\partial u}{\partial \tau} - \frac{c_B \rho_B}{c_3 \rho_3} \mathcal{G}_B \Delta \theta - \frac{c_{II} \rho_{II}}{c_3 \rho_3} \quad (2.11)$$

де a – коефіцієнт теплопровідності, м²/с;

r – теплота фазового переходу, кДж/кг;

ε – критерій фазового перетворення;

u – питомий вологовміст, кг/кг;

Δ - оператор Лапласа;

c_3, c_B, c_{II} – об'ємна теплоємність зерна, води та пари, кДж/м² К;

$\rho_z, \rho_v, \rho_{II}$ – щільність зерна, води і пари, кг/м^3 .

Також для математичного опису процесу використовують критерії подібності, що призначені для визначення температури і вологи у будь-якій точці простору [180181]:

$$f(Re, Nu, Pr, Fo, Ko, Gu, St, Pe, Bi, H_0, d/h_{uv}) = 0, \quad (2.12)$$

де числа Рейнольдса $Re = vl/\lambda$, Нусельта $Nu = al/\lambda$, Прандтля $Pr = \nu/a$, Фур'є $Fo = a\tau/l^2$, Косовича $Ko = r\Delta u/(c\Delta\theta)$, Гухмана $Gu = (T_c - T_m)T_c$, Стентона $St = a/c\rho\nu$, Пекле $Pe = vl/a$, Біо $Bi = al/\lambda$, гомохронності $H_0 = \nu\tau/e$, d/h_{uv} – критерій геометричної подібності.

Для описання процесу тепломасообміну Нестеренко А.В, запропонував наступне критеріальне рівняння [170,171]:

$$Nu_m = A \cdot Re^n \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175} \cdot (T/T_0)^2 \quad (2.13)$$

де число $Re = 10^2 \dots 10^5$ та сталих $A = 0,27 \dots 1,07$ і $n = 0,48 \dots 0,90$, які визначено експериментально.

Характерним для зерна є критерій Ликова, що визначає його тепловологоінерційність:

$$Lu = \frac{a_m}{a} \cong 10^{-3}, \quad (2.14)$$

тобто зерно швидко нагрівається, але довго віддає вологу.

Зв'язок між інтенсивностями тепло- і вологообміну в процесі сушіння був отриманий за допомогою безрозмірного критерію, який в основному рівнянні кінетики сушіння був названий числом Ребіндера.

Число Ребіндера (Rb) чисельно дорівнює відношенню витрат кількості тепла на нагрівання тіла до кількості тепла на випаровування вологи за нескінченно малий проміжок часу:

$$Rb = \frac{bc}{r} = \frac{c}{r} \left(\frac{d\theta}{d\bar{u}} \right). \quad (2.15)$$

Критерій Ребіндера необхідний для створення технології процесу сушіння насіння зернових культур, що враховує зміну температури та вологості матеріалу під час сушіння.

2.3. Методика математичного планування за ортогональним композиційним планом другого порядку при сушіння насіння зернових культур

Методика математичного методу планування багатофакторного експерименту розглянуто в працях [182 - 185].

Ця методика дозволяє досліджувати вплив на об'єкт одночасно всіх факторів, змінюючи їх рівні за відповідним, наперед розробленим планом.

Основним завданням математичного планування експерименту є розробка багатофакторних планів, що дозволяє отримати достатньо точну модель процесу у вигляді рівняння з мінімальною кількістю дослідів.

Під час планування експерименту можуть вирішуватися наступні задачі:

- інтерполяційна, метою якої є побудова поверхні відгуку в факторному просторі для з'ясування характеру впливу кожного фактору на функцію відгуку;

- оптимізаційна, метою якої є визначення найкращого поєднання значень факторів, що забезпечує оптимальне значення функції відгуку.

Визначити модель означає знайти вигляд функції, записати у виді регресійного рівняння.

В ортогональному центральному плануванні критерієм оптимальності плану експерименту є ортогональність стовпців матриці планування. В силу ортогональності планування всі коефіцієнти рівняння регресії визначається незалежно один від одного. Ядро композиційного плану складає план повного факторного експерименту ПФЕ 2^n .

Планування експерименту включало в себе наступні етапи:

- складання таблиці кодування факторів та рівнів варіювання;
- складання плану – матриці;

- проведення експериментів згідно з планом – матрицею;
- складання рівняння регресії і визначення коефіцієнтів рівняння;
- перевірка адекватності отриманого рівняння регресії;
- аналіз математичної моделі у вигляді рівняння регресії.

Загальна кількість точок плану визначається за формулою (2.16):

$$N = 2^n + 2n + N_0; \quad (2.16)$$

де: $N_1 = 2^n$ – число точок факторного простору, визначається ядром плану.

При трьохфакторному експерименті $n = 3$, тобто $N_1 = 2^3 = 8$;

$N_2 = 2n = 6$ – кількість зоряних точок;

$N_0 = 1$ – число центральних (нульових) точок плану.

Так, проведення трьохфакторного експерименту на трьох рівнях вимагає проведення 27 дослідів. Тому потрібно встановити оптимальну необхідну кількість дослідів. Це завдання можна вирішити, використовуючи сучасні методи планування експерименту, зокрема математичний, основою якою є створення математичної моделі у вигляді рівняння регресії [182].

Фактори і рівні варіювання, які впливають на процес сушіння насіння зернових культур вибрані на основі отриманих результатів досліджень на конвективному сушильному стенді та аналізу літературних джерел (табл. 2.11).

Згідно плану дослідження проводились з використанням трьох рівнів для кожного фактору – верхнього (+1), нульового (0) і нижнього (-1), кодові значення яких визначали за формулами:

$$x_1 = \frac{t - t_0}{\varepsilon_1} = \frac{t - 65}{15}; \quad x_2 = \frac{V - V_0}{\varepsilon_2} = \frac{V - 1,0}{0,5}; \quad x_3 = \frac{W - W_0}{\varepsilon_3} = \frac{W - 20}{4}, \quad (2.17)$$

де t_0, V_0, W_0 – значення факторів на основному рівні, відповідно температура та швидкість теплоносія, початкова вологість та висота шару насіння;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – інтервал варіювання факторів.

Фактори і рівні варіювання, які впливають на процес сушіння зернових культур

Показники	Фактори варіювання		
	Теплоносій		Матеріал
	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Швидкість $V, \text{м/с}$	Початкова вологість $W, \%$
Верхній (+1)	80	1,5	24
Середній (0)	65	1,0	20
Нижній (-1)	50	0,5	16
Інтервал варіювання	15	0,5	4
Кодове позначення	x_1	x_2	x_3

Математична модель процесу будувалась у вигляді рівнянь регресії:

$$\hat{y} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 \quad (2.18)$$

Коефіцієнти регресії визначали за наступними формулами:

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y_k - q \sum_{i=1}^N a_{ii}; \quad a_i = b_1 \sum_{k=1}^N x_{ik} y_k;$$

$$a_{ij} = b_2 \sum_{k=1}^N x_{ik} x_{jk} y_k; \quad a_{ii} = b_3 \sum_{k=1}^N (x_{ik}^2 - q) y_k, \quad (2.19)$$

де q – величина, яка забезпечує ортогональність композиційних планів:

$$q = \frac{1}{N} (2^n + 2R^2) = \frac{1}{15} (2^3 + 2 \cdot 1,215^2) = 0,73, \quad (2.20)$$

b_0, b_1, b_2, b_3 – елементи дисперсійної матриці плану

$$b_0 = 0,0667; b_1 = 0,0913; b_2 = 0,125; b_3 = 0,2298.$$

Оцінка дисперсії похибок при розрахунку оцінок коефіцієнтів рівняння квадратичної регресії розраховується за формулами:

$$S_{a_0}^2 = \frac{b_0}{m} S_y^2 + q^2 \sum_{i=1}^n S_{a_{ii}}^2; \quad S_{a_i}^2 = \frac{b_i}{m} S_y^2;$$

$$S_{aij}^2 = \frac{b_2}{m} S_y^2; \quad S_{aii}^2 = \frac{b_3}{m} S_y^2, \quad (2.21)$$

де S_y^2 – оцінка дисперсії відтвореності.

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N S_k^2, \quad (2.22)$$

Після проведення дослідів проводимо перевірку відтвореності дослідів з використанням критерію Кохрена:

$$G_{\max} = \frac{S_{k \max}^2}{\sum_{k=1}^N S_k^2}, \quad (2.23)$$

де S_k^2 – вибіркова дисперсія вихідної величини у по k -ому рядку матриці планування, отриманих з „ m ” паралельних дослідів.

$$S_k^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m (y_{kl} - y_l), \quad (2.24)$$

Якщо $G_{\max} < G_{кр}$, при кількості ступенів вільності $\nu_1 = m - 1$, $\nu_2 = N$ та рівня значимості $\alpha = 1 - \gamma$, то гіпотеза про однорідність дисперсії приймається.

Гіпотеза про статичну значимість оцінок коефіцієнтів рівняння регресії a_i перевіряється за допомогою t – критерію Стьюдента:

$$t_{ip} = \frac{|a_i|}{S_{ai}}, \quad (2.25)$$

Параметр значно відрізняється від нуля, якщо:

$$t_{ip} > t_{кр}, \quad (2.26)$$

В протилежному випадку нульова гіпотеза приймається та параметр a_i є статистично не значимим. Критичне значення статистики $t_{кр}$ знаходиться по відповідним таблицям критерію Стьюдента для числа степенем вільності $\nu = N(m - 1)$ та рівня значимості $\alpha = 1 - \gamma$. Якщо для значення оцінки

параметру a_i умова $t_{ip} > t_{кр}$ не виконується, то відповідний фактор є не значимим та виключається з рівняння регресії.

Перевірка адекватності математичної моделі результатами експерименту відбувається по F – критерію Фішера у вигляді співвідношення:

$$F_p = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2}, \quad (2.27)$$

де $S_{неад}^2$ – оцінка дисперсії неадекватності.

$$S_{неад}^2 = \frac{1}{N - r} \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2, \quad (2.28)$$

де N – число точок ортогонального ЦКП;

r – число значимих параметрів рівняння регресії ;

\hat{y}_j – значення відклику, розраховане по рівнянню регресії;

\bar{y} – середнє за серією з „ m ” дослідів значення відклику реального об'єкту.

Якщо виконується умова:

$$F_p < F_{кр}, \quad (2.29)$$

то математична модель признається адекватною, тобто розсіяння експериментальних значень відклику відносно значень рівняння регресії такого ж порядку, що і розсіювання, викликаного похибками досліду.

Критичне значення статистики знаходиться по відповідним таблицям для заданого рівня значимості α та степенем вільності $\nu_1 = N - r$ та $\nu_2 = N_2 = (m - 1)$.

2.4. Експериментальні сушильні стенди

2.4.1. Експериментальний конвективний стенд

Процес сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур – це достатньо складний тепломасообмінний процес, який потребує детального

вивчення всіх його закономірностей. Для описання процесу тепломасообміну необхідно дослідити кінетику процесу сушіння насіннєвого матеріалу.

Експериментальний конвективний стенд для сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур складається з таких основних частин: сушильної камери (1), системи нагрівання (2) та подачі вентилятором (3) теплоносія в камеру сушки, ізольованих повітропроводів (рис. 2.3).

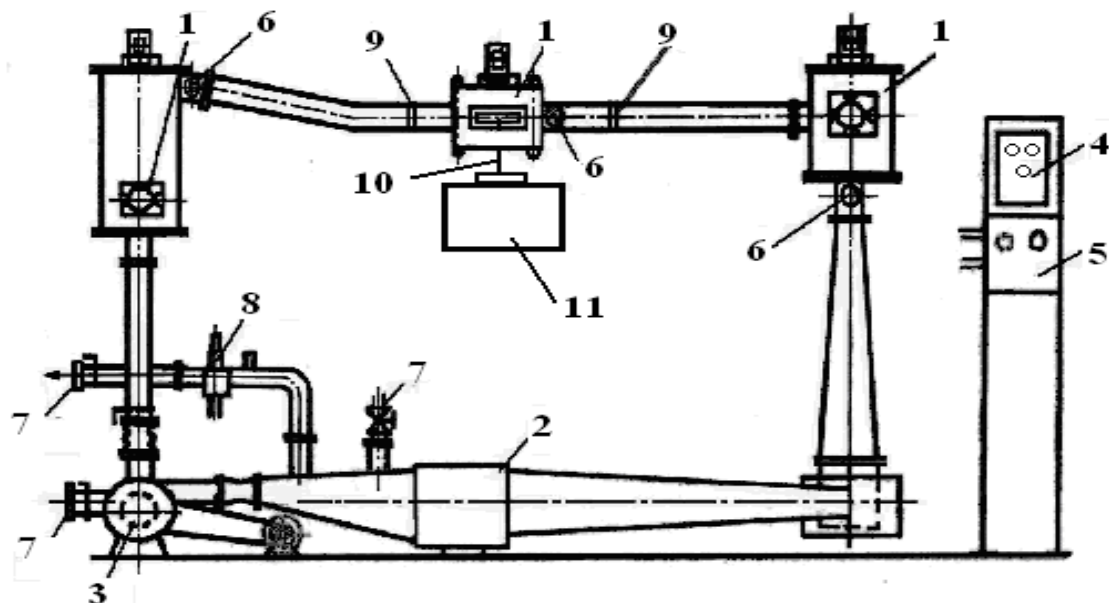


Рис. 2.3. Схема експериментального конвективного стенду для сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур:

1 – сушильна камера; 2 – електронагрівачі; 3 – вентилятор;
4 – терморегулятор; 5 – регулятор швидкості; 6 – термометри опору;
7 – патрубки з шиберами; 8 – психрометр; 9 – спеціальні решітки; 10 – штанга терезів; 11 – терези.

Технічна характеристика конвективного сушильного стенду:

Температура теплоносія	30 – 150°C
Швидкість руху теплоносія	0,5 – 5 м/с

Сушильна камера (1) являє собою прямокутний короб із листового заліза з люком для введення корзини з насінням в сушильну камеру. Камера має прозоре скло, через яке можна спостерігати за станом матеріалу в процесі сушіння.

Дільниця теплової підготовки повітря виконана у вигляді прямокутного короба, в якому розміщений трьохсекційний електронагрівач потужністю 45 кВт (2), який дозволяє підтримувати та регулювати температуру повітря в широких діапазонах. Для точної підтримки заданої температури встановлений терморегулятор Овен ТРМ 101 (4) з точністю спрацювання сигнальних контактів $\pm 0,5$ °С та термометрів опору ТСМ-50 (6).

Зміна в широкому діапазоні швидкості руху теплоносія та його температури досягається регулюванням роботи вентилятора (3) на щиті керування регулятором швидкості (5). Швидкість руху теплоносія змінюються шляхом зміни подачі повітря відцентровим вентилятором за допомогою частотного перетворювача при регулюванні вручну. Співвідношення між відпрацьованим та свіжим повітрям можна регулювати за допомогою шиберів на патрубках (7).

Швидкість теплоносія в сушильній камері визначалась крильчатим анемометром АСО – 3 (ГОСТ 6376 – 97) з діапазоном вимірювань 0,3 – 5 м/с. Вологовміст повітря вимірювався психрометром (8).

Після встановлення на стенді заданого режиму дослідження, на штангу терезів (10) в сушильній камері кладуть зразок дослідного матеріалу, та безперервно реєструють зменшення маси зразка в процесі сушіння за допомогою терезів AD-500 (11) з'єднаних з комп'ютером. Температура повітря в сушильній камері і дослідного матеріалу реєструється за допомогою хромель-копелевих термоелектричних перетворювачів (ДСТУ 2837 – 94) діаметром 0,2 мм.

З метою підвищення точності, інформативності та полегшення обробки одержуваної інформації під час проведення дослідів експериментальний стенд доукомплектований допоміжним обладнанням: аналоговим цифровим перетворювачем *i-7018*, конвертором-інтерфейсом *i-7520* та персональним комп'ютером з процесором CPU AMD ATHLON XP 2200+ (рис. 2.4).

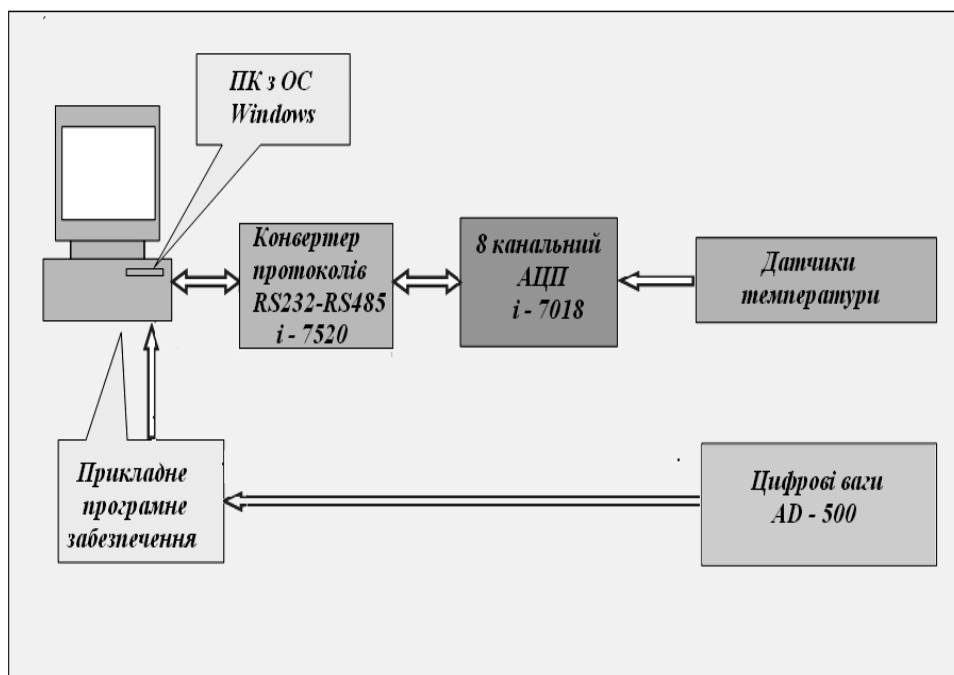


Рис. 2.4. Структурна схема автоматизованого збору та обробки інформації із конвективного сушильного стану

Розроблена програма автоматичного збору та обробки інформації про зміну маси та температури зразка в ході видалення вологи, розрахунки кінетики та динаміки сушіння в абсолютних та відносних координатах. Це дає змогу більш точно, оперативно та надійно одержувати та порівнювати кінетичні та швидкісні характеристики сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів.

Методика проведення досліджень на конвективному сушильному стенді

1. За об'єкт досліджень вибрано насіння зернових, бобових, олійних та овочевих культур .

2. Перед проведенням досліджень визначаємо початкову вологість насіння за ДСТУ 4138 – 2002 [186]. Зерно засипаємо в бюкси і на протязі 5 годин при температурі 105°C висушуємо в сушильній шафі. Після закінчення сушіння бюкси виймають з сушильній шафи і ставлять в ексікатор для охолодження на 15 –30 хв. Охолоджені бюкси з насінням зважують у закритому стані на терезах.

Вологість насіння відносно маси сухої речовини обчислюють у відсотках:

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100\%, \quad (2.30)$$

m_1 – маса порожньої бюкси (з кришкою), г;

m_2 – маса бюкси з наважкою до сушіння, г;

m_3 – маса бюкси з наважкою після сушіння, г.

3. Дослідження сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур починають з встановленням режиму сушіння на стенді, поміщають на решітці терезів насіння в сушильній камері і вмикається комп'ютерна програма збору та обробки інформації, що безперервно реєструє час та зміну маси навіски, температури теплоносія та температури в середині насіння.

4. Після сушіння насіння виймають з сушильної камери і проводять аналіз на якісні характеристики і визначають кінцеву вологість насіння за пунктом 2 та формулою 2.30.

5. Після визначення абсолютно сухої маси зразка комп'ютерна програма визначає поточну вологість матеріалу W під час сушіння та розраховує і будує криві сушіння та швидкості сушіння: $W = f(\tau)$, $dW/d\tau = f(W)$.

Приклад знімання кінетики процесу сушіння представлено на насінні пшениці при температурі теплоносія 50°C і швидкості руху теплоносія $0,5$ м/с показаний на рис. 2.5.

На рис. 2.6 та рис. 2.7 показані криві сушіння $W = f(\tau)$ та швидкості сушіння насіння пшениці $dW/d\tau = f(W)$ при температурі теплоносія 50°C і швидкості руху $0,5$ м/с.

6. Розрахунок характеристик відбувається за допомогою спеціально розробленої програми «Sooshka».

1. Кінетика процесу сушіння.

$$W(t) = \frac{G(t) - G_{a.c.}}{G_{a.c.}} \cdot 100\%, \quad (2.31)$$

де $G(t)$ – розрахунки маси зразка, г;

$G_{a.c.}$ – абсолютно суха маса матеріалу, г.

2. Швидкість сушіння визначається:

$$N = \frac{dW}{d\tau}, \quad (2.32)$$

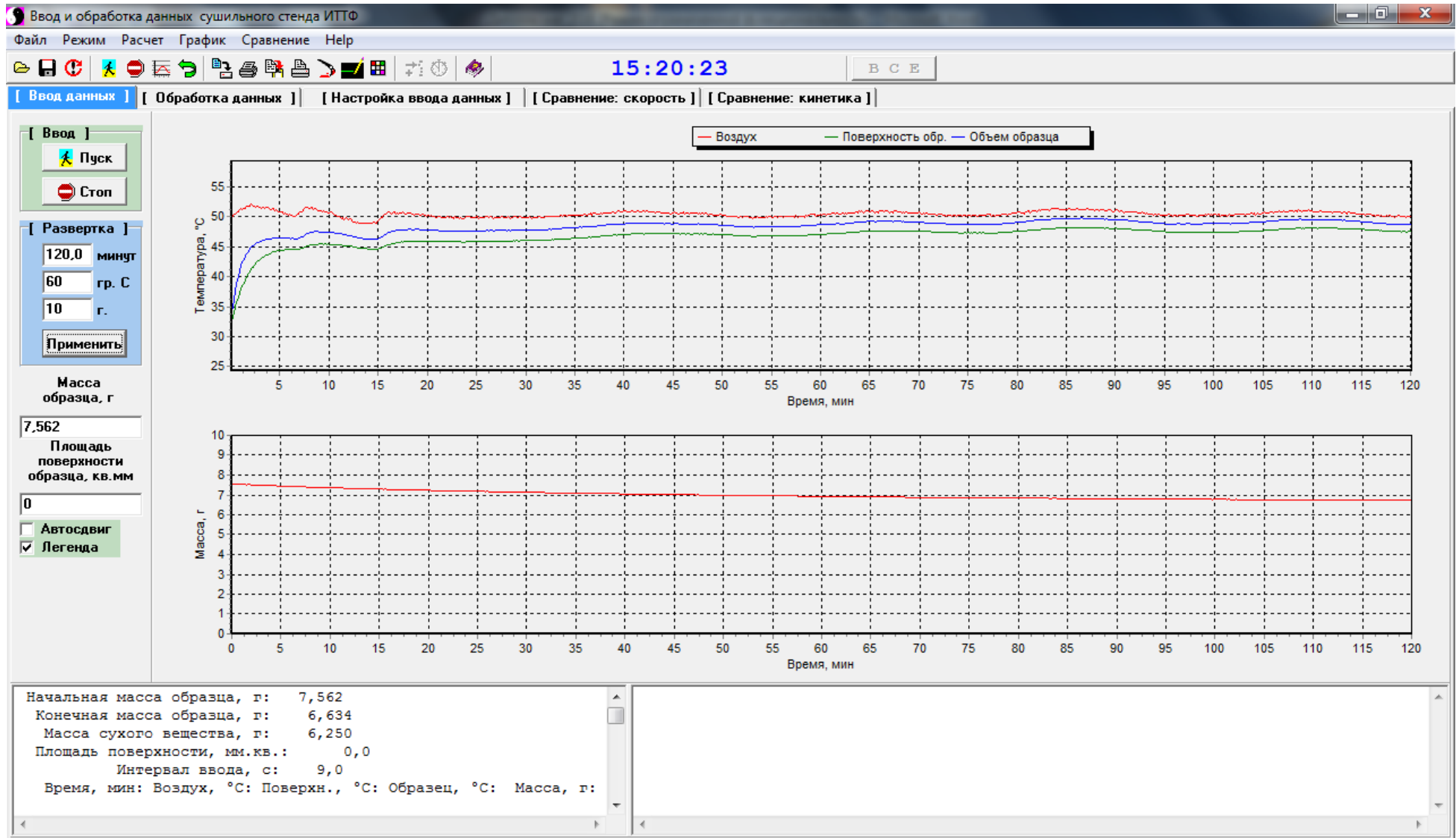


Рис. 2.5. Знімання кінетики сушіння насіння пшениці від температури теплоносія 50°C і швидкості руху 0,5 м/с

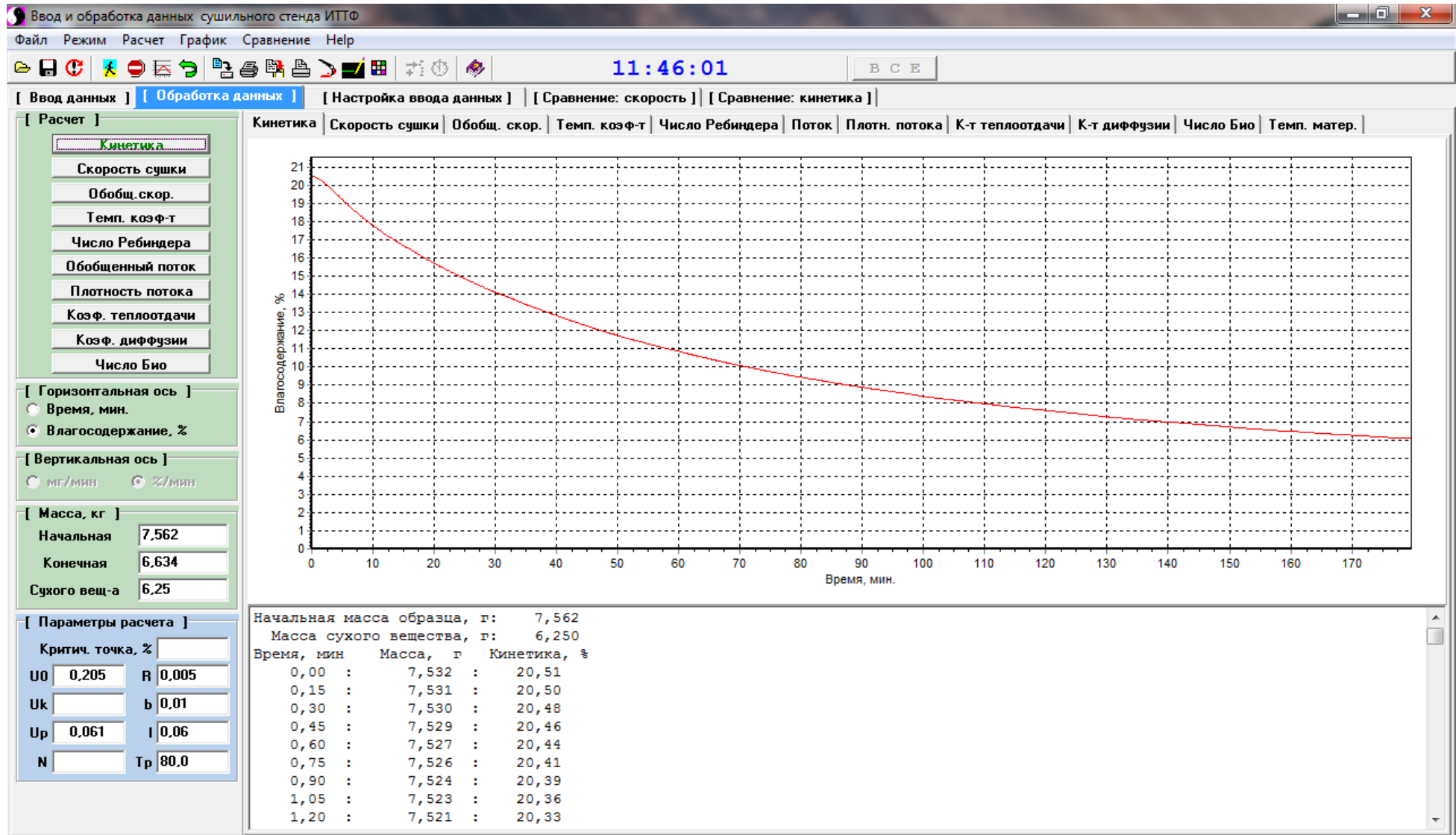


Рис. 2.6. Обработка досліджень кінетики сушіння пшениці від температури теплоносія 50°C і швидкості руху 0,5 м/с

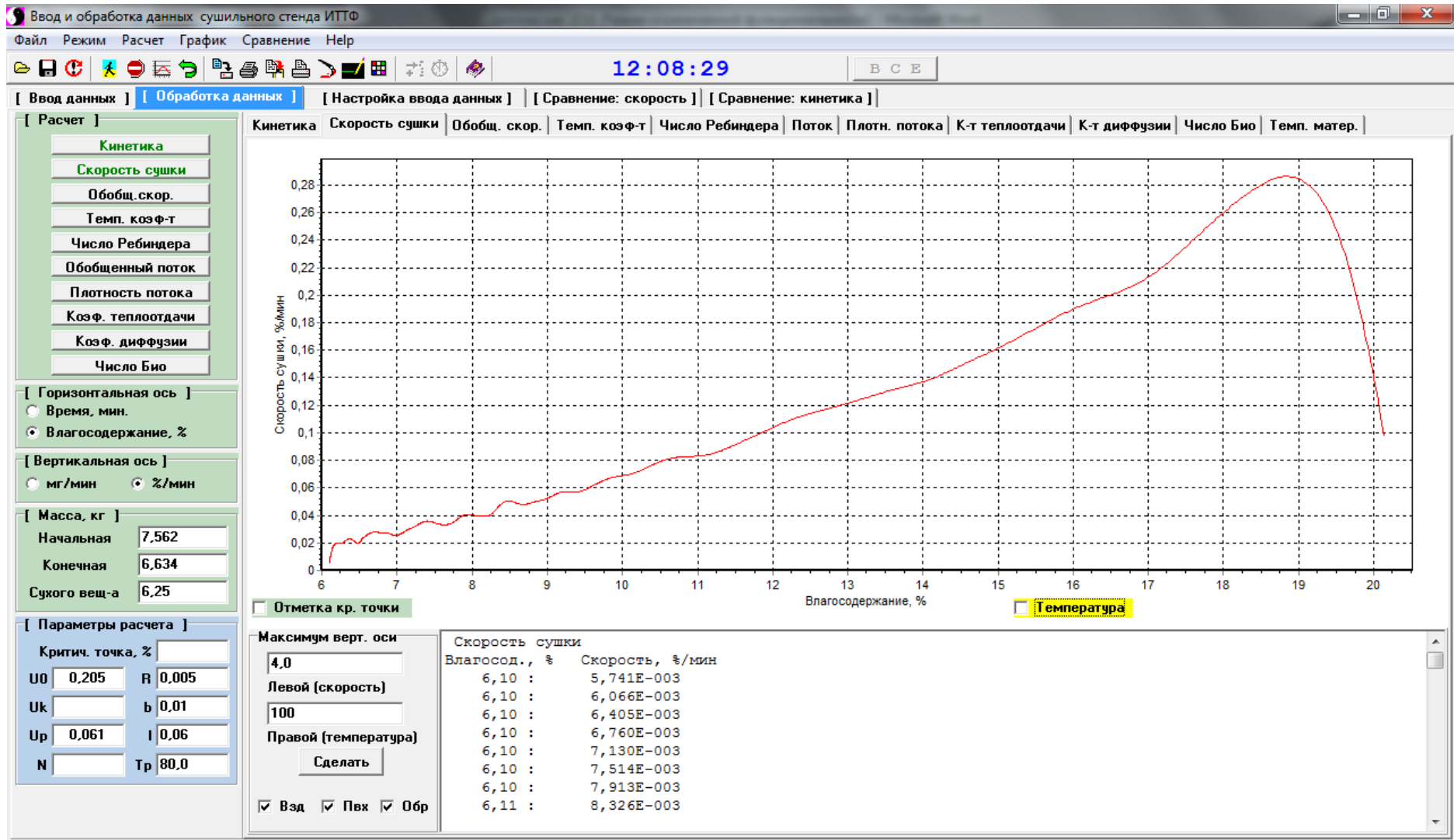


Рис. 2.7. Обработка досліджень кінетики сушіння насіння пшениці від температури теплоносія 50°C і швидкості руху 0,5 м/с

3. Температурний коефіцієнт сушіння представляє собою оцінку похідна середньої температури зразка від вологовмісту:

$$b = dt_{cp} / dU, \quad (2.33)$$

де $U = W / 100$ - вологовміст зразка, %

t_{cp} - вираховується як середнє значення розрахунку температури на поверхні та в матеріалі зразка, °С.

4. Число Ребіндера дорівнює відношенню витрат кількості тепла на нагрівання тіла до кількості тепла на випаровування вологи за нескінченно малий проміжок часу:

$$Rb = \frac{c}{r} b, \quad (2.34)$$

де c – питома теплоємність матеріалу, кДж/(кг °С);

r – питома теплота фазового перетворення, кДж/кг .

5. Тепловий потік на одиницю поверхні зразка вираховується із співвідношення:

$$q(\tau) = rg(dU / d\tau)(1 + Rb) \quad (2.35)$$

де $g = G_{a.c} / S_{вл}$ - відношення маси абсолютно сухого тіла до поверхні матеріалу.

6. Коефіцієнт тепловіддачі визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{1000 \cdot q(\tau)}{t - t_{II}}, \quad (2.36)$$

де t – температура теплоносія;

t_{II} – температура поверхні зразка.

2.4.2. Експериментальний стенд шахтного типу із тепловим насосом для сушіння насіння зернових та олійних культур

Для дослідження кінетики сушіння насіння зернових та олійних культур розроблена експериментальна теплонасосна зерносушарка. Вона складається з

теплонасосного агрегату 1, шахти 5 та приладів контрольно-вимірювальними приладами та систем автоматики: регулятора швидкості 6, лічильника електроенергії 7, напільних терезів 8 з цифровим табло 11.

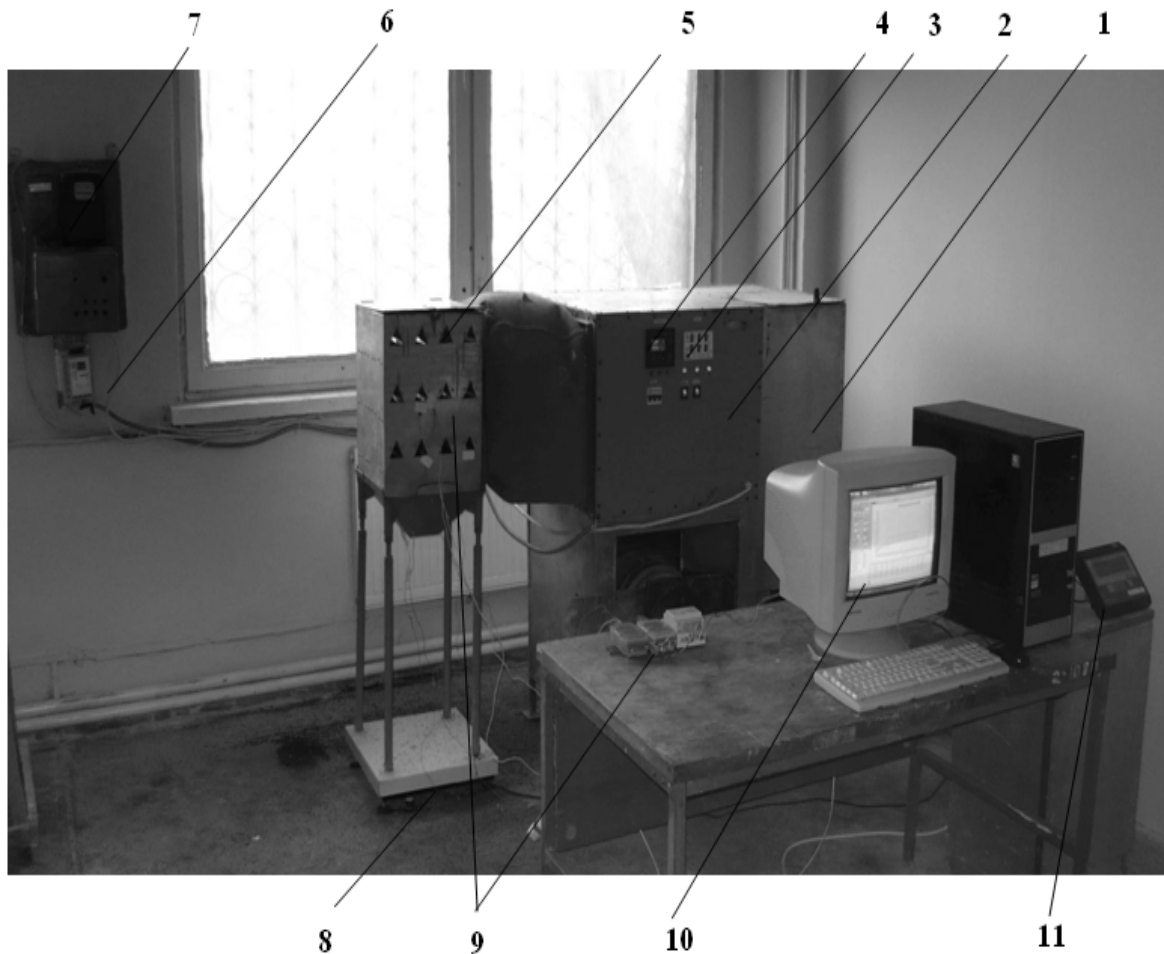


Рис. 2.8. Експериментальний стенд шахтного типу із парокompресійним тепловим насосом для сушіння насіння зернових та олійних культур:

1 – теплонасосний агрегат; 2 – щит керування; 3 – реле часу; 4 – термореле; 5 – сушильна шахта; 6 – регулятор швидкості; 7 – лічильник електроенергії; 8 – терези; 9 – аналоговий цифровий перетворювач *i-7018*, конвертор-інтерфейс *i-7520* та хромель-копелеві термоелектричні перетворювачі; 10 – комп'ютер; 11 – цифрове табло терезів.

Технічна характеристика експериментального стенда шахтного типу із парокompресійним тепловим насосом для сушіння насіння зернових та олійних культур:

- | | |
|--|----------|
| 1. Продуктивність по вилученій волозі | 2 кг/год |
| 2. Температура теплоносія на вході в сушильну камеру | 35÷55 °С |

4. Температура випаровування холодоагенту	0÷+5 °С
5. Холодоагент	R34
6. Вологовміст теплоносія на вході в сушильну камеру	10÷12 г/кг с.п.
7. Витрати теплоносія	250÷800 м ³ /год
8. Габаритні розміри:	
сушильна камера	0,32 × 0,32 × 0,48 м
теплонасосний агрегат	0,7 × 0,9 × 1,3 м
9. Компресор ZR49K3E – TFD:	
холодопродуктивність	11,21 кВт
потужність електродвигуна компресора	4,08 кВт
10. Циркуляційний вентилятор Ц14-46 № 2,5	
потужність електродвигуна	0,75 кВт
число обертів	1450 об/хв

Експериментальна теплонасосна зерносушарка працює наступним чином: повітря циркулюючим вентилятором з оточуючого середовища всмоктується на вхід до регенеративного теплообмінника, частково підігрівається і направляється до випарника, де осушується за рахунок охолодження нижче температури роси, а скраплена волога відводиться до збірника конденсату (рис. 2.9).

Зневоднене повітря прямує до регенеративного теплообмінника 3, частково відновлює свій температурний потенціал ($\theta - \theta'$) і направляється до конденсатора 2, де нагрівається до заданої температури ($\theta' - \theta$). Нагріте зневоднене повітря через повітропровід поступає до сушильної камери, де вступає в тепломасообмінний контакт з вологим зерном. Проходячи крізь шар вологого зерна, гаряче сухе повітря забирає з зерна зайву вологу і викидається в зовнішнє середовище.

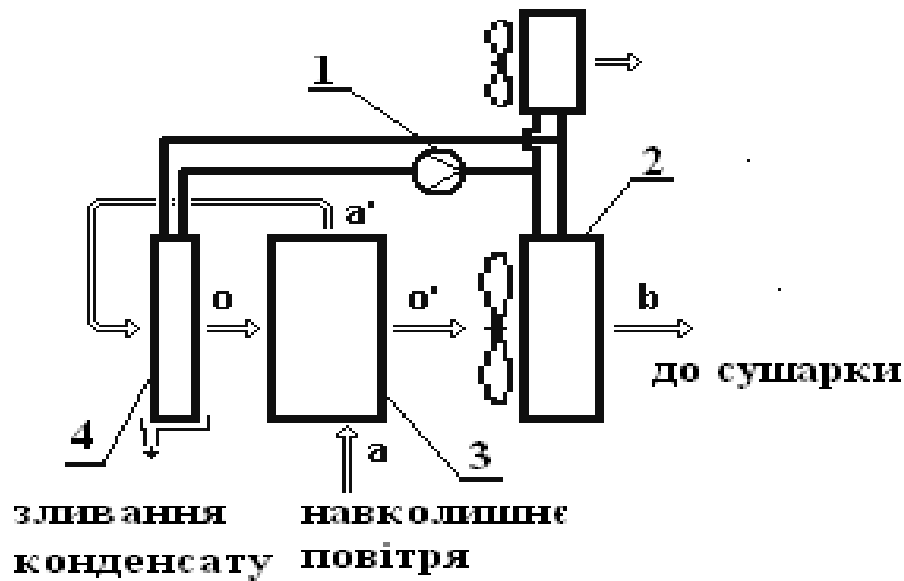


Рис. 2.9. Схема роботи експериментального стенда із тепловим насосом:

1 – компресор; 2 – конденсатор; 3 – регенеративний теплообмінник;

4 – випарник

$a - a'$ – охолодження повітря в регенеративному теплообміннику;

$a' - o$ – зневоднення підігрітого сушильного агента в конденсаторі теплового насоса;

$o - o'$ – часткове відновлення температури повітря;

$o' - b$ – нагрівання теплоносія в конденсаторі.

Методика проведення досліджень:

1. Перед проведенням досліджень вмикаємо тепловий насос експериментальної установки і виходимо на режим сушіння. Паралельно вмикається комп'ютер, напільні ваги та система збору інформації про перебіг експериментальних досліджень.

2. Після встановлення режиму сушіння засипаємо партію насіння в сушильну шахту. Одночасно вимірюємо зміну масу матеріалу під час сушіння на електронних напільних терезах, температуру насіння в сушильній шахті та витрати електроенергії. Сушіння проводимо до рівноважної вологості насіння.

3. З партії отриманого висушеного насіння відбираємо дві проби:

3.1. Перша проба відбирається для визначення якісних характеристик матеріалу.

3.2. Друга проба відбирається для визначення абсолютно сухої маси матеріалу.

4. Після визначення абсолютно сухої маси зразка, розраховуємо початкову та кінцеву вологість насіння і будуємо криві кінетики процесу сушіння від тривалості сушіння та поточної вологості насіння: $W = f(\tau)$, $dW/d\tau = f(W)$.

2.5. Методика визначення якісних характеристик насінневого зерна

Методика має за мету встановити кількість насіння, що здатні утворювати нормально розвинуті проростки за оптимальних умов пророщування [187].

До нормальних проростків відносять такі, у яких найбільш важливі структури (корінці, бруньки, сім'ядолі та ін.) добре і пропорційно розвинуті, цілі, здорові, а також можуть мати незначні дефекти, які не впливають на нормальний розвиток проростка.

До ненормальних проростків відносять такі, що неспроможні розвинути у повноцінні рослини навіть за сприятливих умов. До них відносять:

- проростки, у яких відсутня або сильно пошкоджена будь – яка структура, що робить неможливим подальший пропорційний їх розвиток;
- слаборозвинуті проростки внаслідок фізіологічних порушень, а також проростки з деформованими структурами;
- згнилі проростки.

До якісних характеристик насіння можна віднести:

Енергія пророщування – що характеризує дружність сходів насіння в умовах встановлення схожості на 2 та 4 день.

Схожість – це здатність насіння давати при оптимальних умовах нормально розвинуті проростки, які визначають процентним відношенням кількості пророслого насіння до загальної кількості. Дрібне насіння пророщують на зрошеному фільтрувальному папері.

Підготування та аналізування схожості насіння

1. Термостати раз у 10 днів, а посуд перед кожним аналізуванням миємо гарячою водою з мийними засобами та дезінфікуємо 1%-м розчином марганцевокислого калію або спиртом. У робочу камеру термостату ставлять піддон з водою. Чашки Петрі стерилізуємо у сушильній шафі при температурі $(130 \pm 2)^\circ\text{C}$ протягом години.

2. Аналізування схожості проводимо на насінні зернових культур, виділеному під час визначення чистоти. Для цього довільно відраховують 400 насінин по 100 шт. Насіння рівномірно розташовують на зволоженій фільтрувальному папері. Аналізування проводяться „на папері” насіння на одному шарі зволоженого паперу, вкладеного в чашки Петрі. Чашки Петрі накривають скляними пластинами або накривками.

3. Аналізування схожості насіння при різних режимах сушіння проводимо при температурі 20°C на протязі 7 діб. Визначаємо енергію пророщування та схожість насіння на аномальні проростки (пошкоджені, слабкі, зігнилі, нерозвинуті та мертві) на 2, 4 та 7 день відповідно, для насіння гарбуза на 10 день.

2.6. Похибка обробки результатів експерименту

Статистичну обробку результатів вимірювань проводились за відомою методикою [188].

За результатами досліджень були визначені наступні параметри:

а) середнє арифметичне значення :

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (2.38)$$

де y_i – результат i - го дослідю;

n - кількість дослідів.

б) середня квадратична похибка:

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (2.39)$$

в) стандартне відхилення закону розподілу експериментальних даних:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}}, \quad (2.40)$$

г) середня арифметична похибка середнього арифметичного:

$$\sigma = \frac{S_c}{\sqrt{n}}, \quad (2.41)$$

в) коефіцієнт варіації:

$$V_m = \frac{S_c}{y} \cdot 100\%, \quad (2.42)$$

д) похибка дослідження:

$$v = \pm \frac{S_c}{(y\sqrt{n})} \cdot 100\%, \quad (2.43)$$

Результати досліджень мали середнє значення не менше, ніж три повторень. Закономірності підтверджувались в кожному паралельному дослідженні. Експериментальні дані оброблялись за критеріями Фішера та Стьюдента на рівні 0,95.

ВИСНОВКИ ДО ДРУГОГО РОЗДІЛУ

В другому розділі дисертаційної роботи розглянуто властивості насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур (фізико-механічні, хімічні, гігроскопічні та теплофізичні). Приведені основні рівняння тепломасопереносу та теоретичні методи визначення кінетики тепловологообміну при сушінні насіння.

Вказані експериментальні установки та методики проведення досліджень. Наведені стандартні методики по визначенню схожості насінневих властивостей зерна.

Для визначення впливу трьох факторів (температури та швидкості руху теплоносія, початкової вологості насіння) на схожість, температуру нагрівання матеріалу та тривалість сушіння насіння зернових культур (пшениці, ячменю та вівса) запропонований математичний метод планування експерименту за ортогональним композиційним планом другого порядку.

Методики проведення експерименту та сушильні установки представлені в роботах [189 - 194].

РОЗДІЛ 3.

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ ТА ЯКОСТІ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ, ОЛІЙНИХ, ОВОЧЕВИХ ТА ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР

3.1. Дослідження режимів сушіння насіння та якості зернових культур

3.1.1. Дослідження режимів сушіння та якості насіння пшениці

Отримання якісного насінневого матеріалу пов'язана з правильним вибором найбільш раціонального режиму сушіння. Різні підходи та різне технологічне обладнання не завжди точно може відобразити вибір необхідного режиму сушіння без ґрунтовних систематичних досліджень. Підвищені температури теплоносія при сушіння насіння пшениці, що наведені в роботах [14,195] не завжди повно відображають режими сушіння необхідні для отримання високої схожості матеріалу.

Представлений аналіз публікацій з цього питання дає можливість вказати однозначно, що низькотемпературні режими при температурі нагрівання насіння пшениці до 42°C – дають схожість на рівні 88 – 90%, що не відповідають мінімальній схожості насіння пшениці 92% за ДСТУ 2240 - 93 (рис. 3.1) [196].

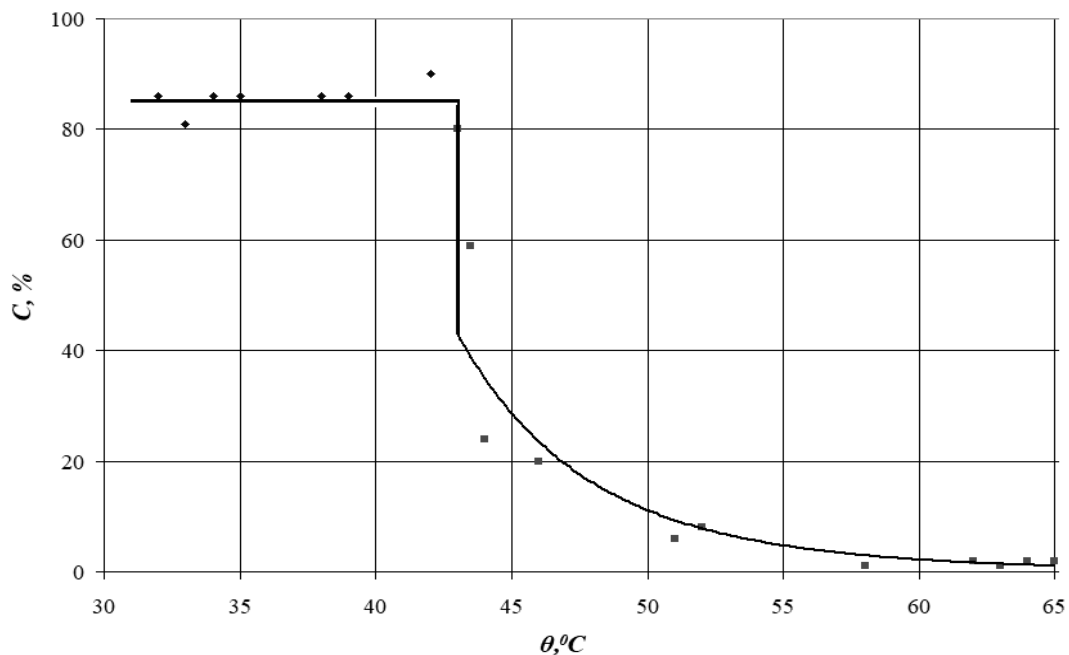


Рис. 3.1. Схожість пшениці від температури нагрівання насіння [196]

Підвищення температури нагрівання насіння не можливо із-за зменшення якісних показників матеріалу, зокрема фактично нагрівання до 43°C знижує схожість до 42%, що не припустимо. Подальше збільшення нагрівання насіння пшениці до 65% знищує всі насіннєві властивості.

В роботі Матківської В. та ін. проведені дослідження сушіння насіння пшениці від 40 до 80°C. Для сушіння насіння пшениці надаються рекомендації застосовувати температуру 60°C, при якому схожість складає 90%. Температуру нагрівання матеріалу при сушінні насіння пшениці не визначалась [13].

В роботі Савченко С.В. та ін. сушіння насіння пшениці проводили в гравітаційно-рухаючому шарі в шахтній зерносушарці при температурі теплоносія 70 - 85°C, температура нагрівання зерна відповідно при цьому складало 50 - 62°C [197]. При аналізі якісних характеристик насіння пшениці в вказаному температурному інтервалі, при температурі теплоносія 70°C схожість насіння складає 90%, а при підвищенні до 85°C – 83% [187].

Провівши аналіз даних публікацій із сушіння насіння пшениці, були визначені наступні етапи проведення досліджень:

1. Визначити вплив температури теплоносія на кінетику та якісні характеристики насіння із запропонування енергоефективних режимів сушіння.
2. Дослідити вплив швидкості руху теплоносія та початкової вологості насіння на кінетику та якісні характеристики насіння.
3. Визначити вплив вологовмісту теплоносія на кінетику процесу сушіння.
4. Визначення схожості насіння від температури нагрівання насіння.

Для визначення раціонального режиму сушіння насіння пшениці сорту «Подолька» проведені дослідження на конвективному сушильному стенді в елементарному шарі в автоматичному режимі сушіння із використання розробленої програми «Sooshka» (рис. 2.3, 2.4).

Основним критерієм оцінки якості насіннєвого зерна є температура нагрівання пшениці, що визначається здатністю насіння до пророщування.

Програма досліджень передбачає автоматичне знімання кінетики сушіння насіння пшениці через реєстрацію даних про тривалість проходження процесу

та зміну маси насіння, температур теплоносія в сушильній камері та в середині матеріалу.

Для визначення впливу температури теплоносія на кінетику та якісні характеристики насіння пшениці були запропоновані наступні режими сушіння температура теплоносія $t = 50, 65, 80^{\circ}\text{C}$ при швидкості руху теплоносія $V = 1,5$ м/с та початкової вологості $W_n = 24\%$ (найбільш інтенсивні значення швидкості руху та початкової вологості матеріалу в заданих межах) при вологовмісту теплоносія на вході в сушильну камеру $d = 10$ г/кг с. п.

Кінетика процесу сушіння насіння пшениці від вказаних параметрів представлена на рис. 3.2.

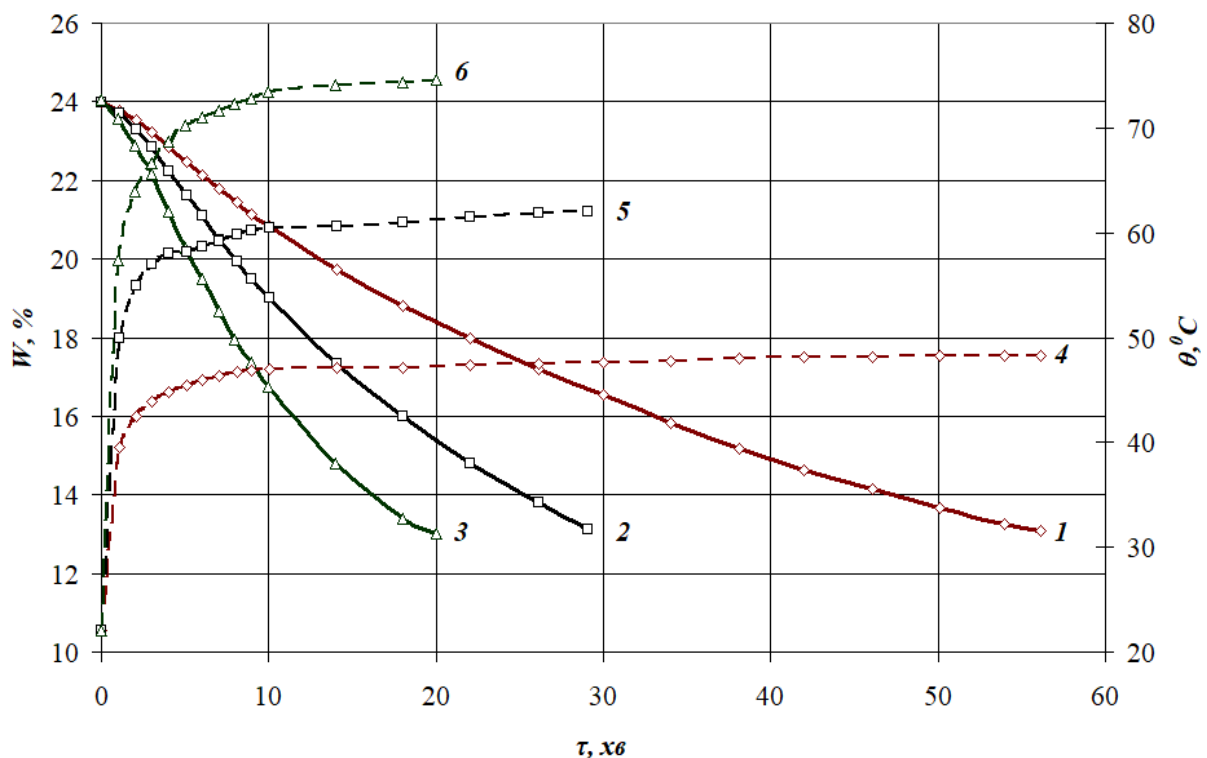


Рис. 3.2. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння пшениці

$W_n = 24\%$, $V = 1,5$ м/с, $d = 10$ г/кг с. п., $\delta = 2$ мм:

1,4 – 50°C , 2,5 – 65°C , 3,6 – 80°C

Дослідження впливу температури теплоносія на кінетику процесу сушіння насіння пшениці показало, що при підвищенні температури тривалість сушіння зменшується. Так збільшення температури теплоносія від 50 до 80°C при

швидкості руху сушильного агента 1,5 м/с та початкової вологості 24% - тривалість сушіння зменшується в 2,8 рази.

Активне прогрівання насіння пшениці відбувається на протязі 10 хв., потім сповільнюється і досягає свого кінцевого значення. Із наведених температурних кривих кінцева температура насіння при різних режимах сушіння становить при: 50°C – 48,6 °C; 65°C – 62,26 °C; 80°C – 74,62°C.

Сушіння насіння пшениці після короткочасного прогрівання проходить в періоди падаючої швидкості сушіння (рис. 3.3).

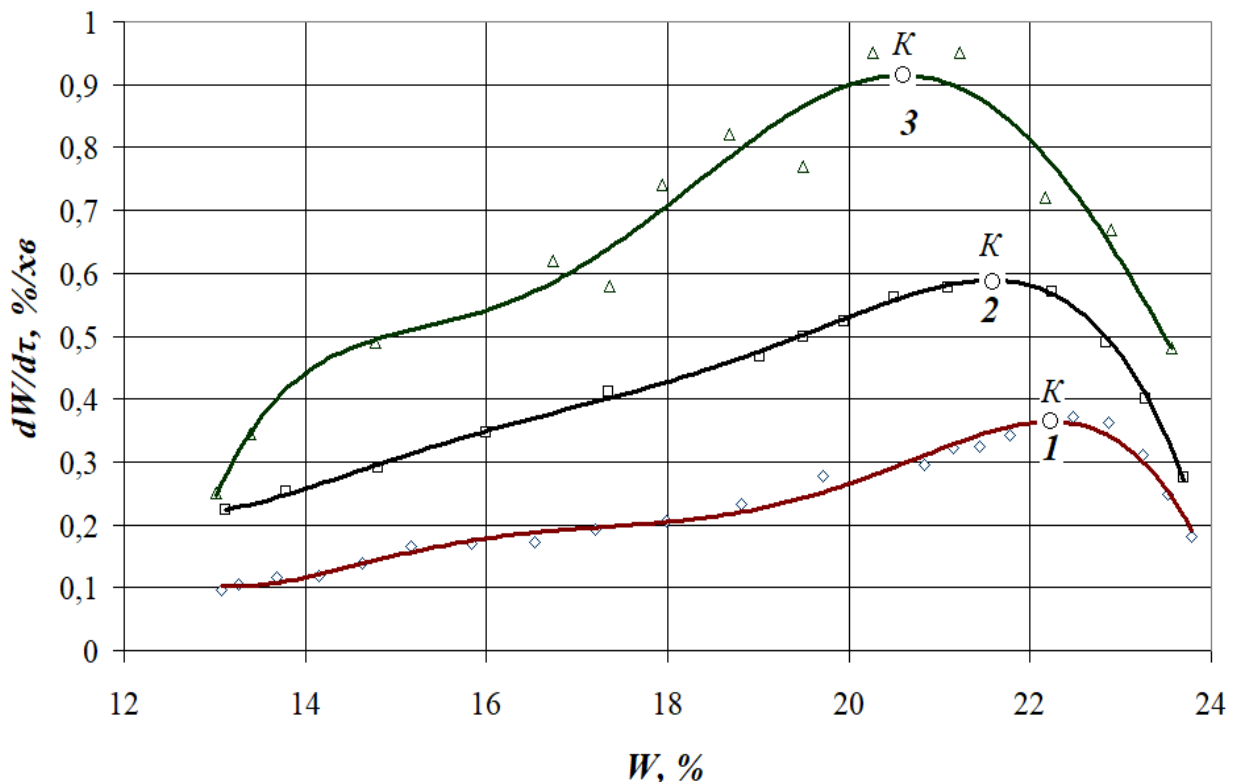


Рис. 3.3. Вплив температури теплоносія на швидкість сушіння насіння пшениці $W_{II} = 24\%$, $V = 1,5$ м/с, $d = 10$ г/кг с. п., $\delta = 2$ мм:

1,4 – 50°C, 2,5 – 65°C, 3,6 – 80°C

Максимальна швидкість сушіння при температурі 80°C складає 0,91%/хв., зменшення до температури 65°C зменшує швидкість до 0,59%/хв., а при зниженні до 50°C складає 0,35 %/хв. Тобто збільшення температури теплоносія від 50 до 80°C збільшує швидкість сушіння на 0,56%/хв.

Для обґрунтування режимів сушіння насіння пшениці від впливу температури теплоносія в заданому температурному інтервалі проведені

дослідження із визначення схожості, як фактор якості насіннєвого матеріалу. Результати досліджень показали, що найкраща схожість спостерігається при температурі теплоносія 50°C та нагрівання насіння пшениці до 48,6°C і складає 95%. (рис. 3.4).

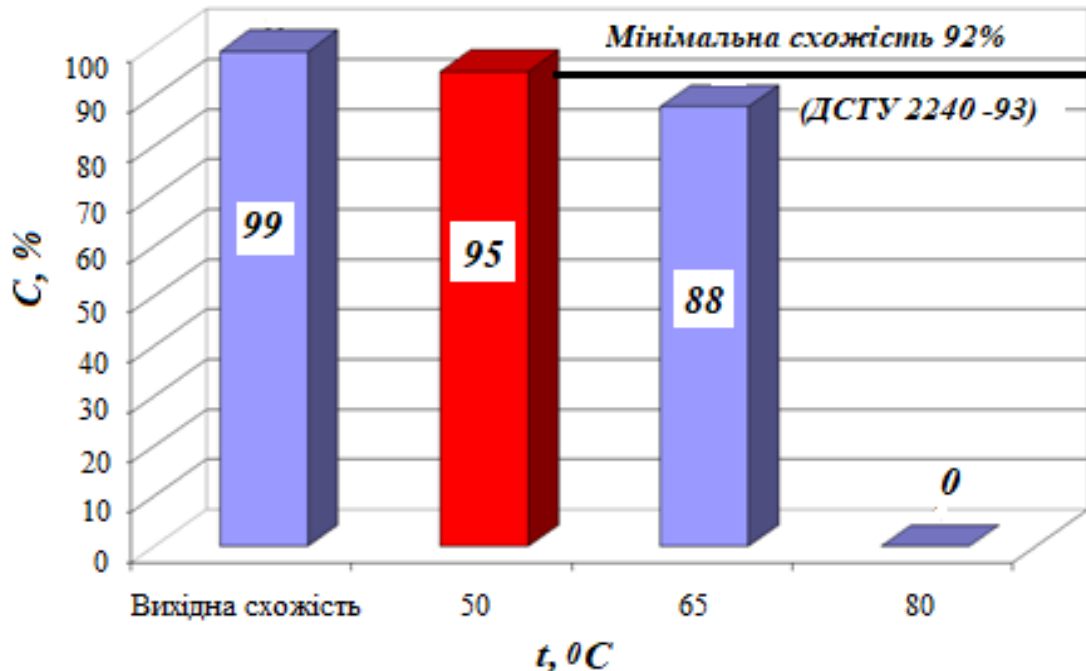


Рис. 3.4. Вплив температури теплоносія на схожість насіння пшениці на 7 день пророщування: $V = 1,5$ м/с, $Wn = 24\%$, $d = 10$ г/кг с. п.

Також можна зазначити, що підвищення температури теплоносія до 65°C з нагріванням матеріалу до 62,26°C знижує насіннєві властивості матеріалу на 7% в порівнянні з температурою теплоносія 50°C і на 11% від вихідної схожості насіння. При температурі теплоносія 80°C з нагріванням матеріалу до 74,62°C - не відбувається схожість насіння пшениці і становить 0%.

Вперше розроблена методика графічного визначення граничнодопустимої температури нагрівання насіння зернових культур виходячи із даних експериментальних досліджень кінетики процесу та якісних характеристик матеріалу.

Побудований графік залежності схожості пшениці від температури нагрівання насіння з визначенням точки M , що відповідає мінімальній схожості насіння пшениці 92% та граничнодопустимої температури нагрівання пшениці 54,1°C при температурі теплоносія 56,5°C. Цей метод дає можливість збільшити

температуру нагрівання насіння пшениці на $12,1^{\circ}\text{C}$, замість рекомендованої авторами за даними літературних досліджень $35 - 45^{\circ}\text{C}$ [196]. Визначено, що висока схожість насіння відбувається на ділянці AC до режиму сушіння 65°C (рис. 3.5).

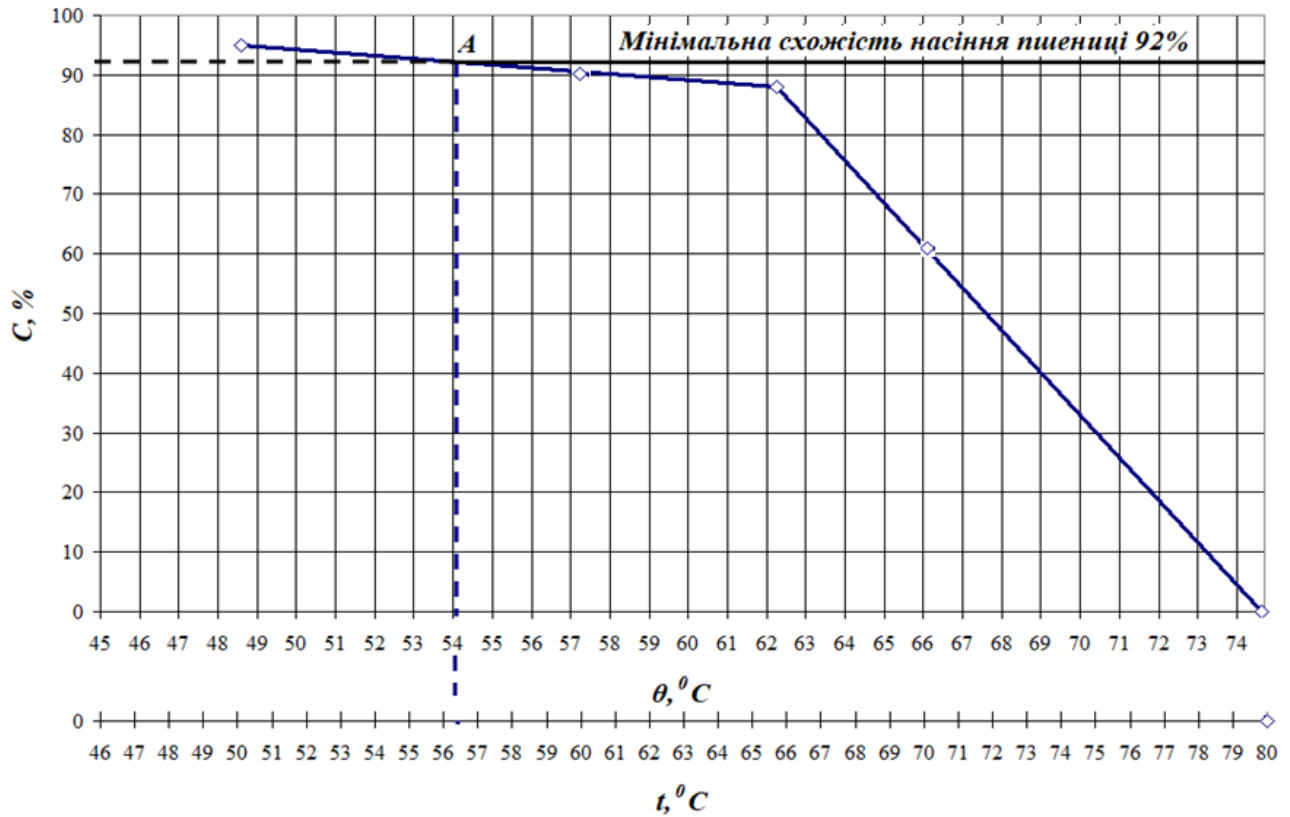


Рис. 3.5. Номограма визначення граничнодопустимої температури нагрівання насіння пшениці $Wn = 24\%$, $V = 1,5 \text{ м/с}$, $d = 10 \text{ г/кг с. п.}$:

(точки A, B, C, D, E – експериментальні дані; точка

M – графічно визначена граничнодопустима температура нагрівання насіння пшениці та температура теплоносія)

За даним графіком також можна визначити кінцеву температуру нагрівання матеріалу та схожість насіння пшениці.

Для перевірки правильності отриманого графіка проведені додаткові дослідження схожості насіння пшениці при початковій вологості 24% та температурах теплоносія $50, 60, 70, 80$, результати відмічені на рис. 3.5 та занесені в табл. 3.1.

Вплив температури теплоносія на схожість зернових культур [198]

Культура	Початкова вологість насіння, %	Схожість насіння, %				
		вихідна	50°C	60°C	70°C	80°C
Пшениця	24	96	95	90	60	0

Дослідження кінетики сушіння насіння пшениці від різних параметрів проводимо при температурі теплоносія 50°C, тобто при високій схожості матеріалу.

При зменшенні початкової вологості насіння від 24 до 16% тривалість зменшується в 3,5 рази, або при зменшенні початкової вологості на 1% інтенсивність сушіння прискорюється на 5 хв (рис. 3.6).

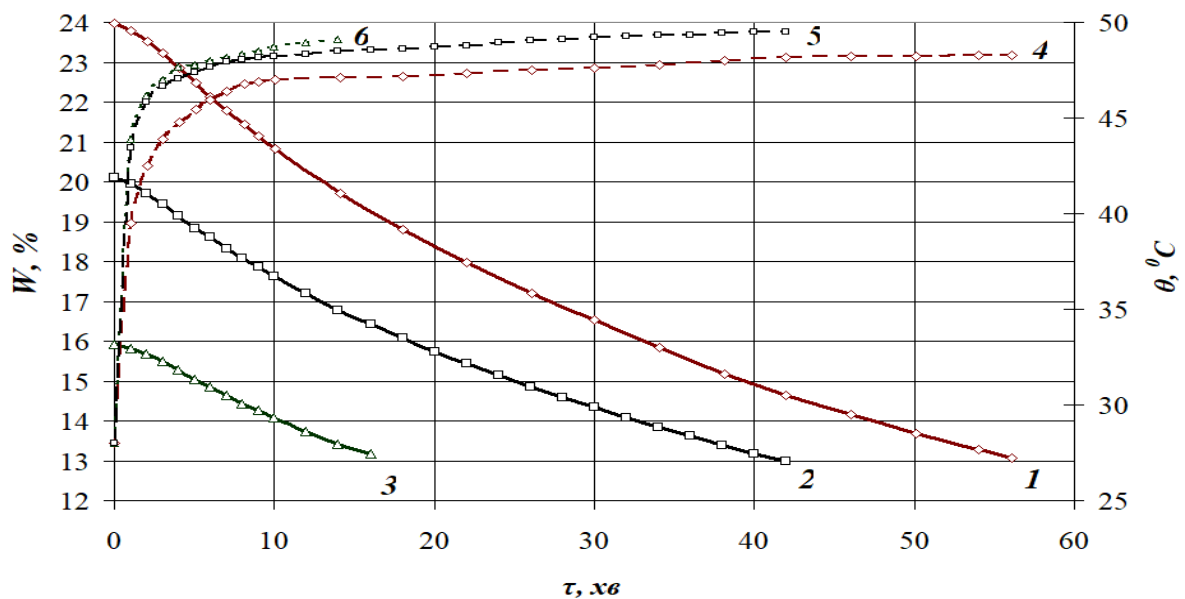


Рис. 3.6. Вплив початкової вологості та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння пшениці:

$$t = 50^{\circ}\text{C}, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

1 – 24%; 2 – 20%; 3 – 16%.

Зменшення початкової вологості насіння пшениці сповільнюють швидкість сушіння, процес проходить в періоді падаючої швидкості сушіння (рис. 3.7).

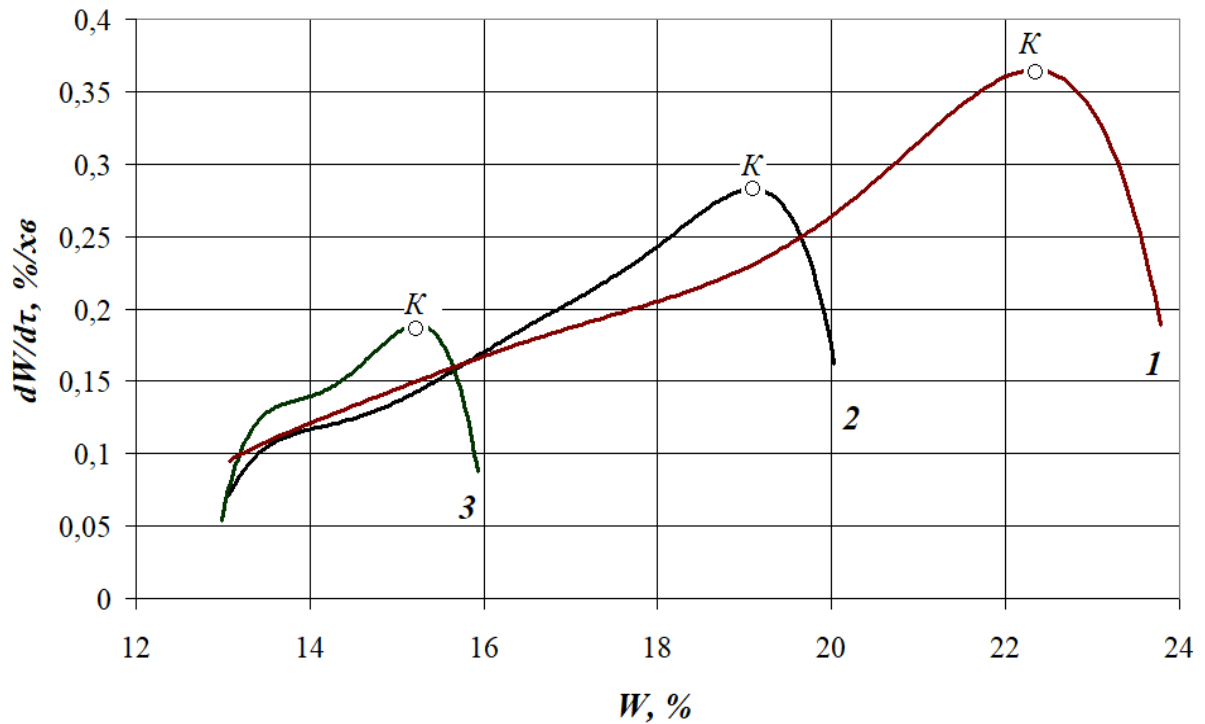


Рис. 3.7. Вплив початкової вологості матеріалу на швидкість сушіння насіння пшениці:

$$t = 50^{\circ}\text{C}, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

1 – 24%; 2 – 20%; 3 – 16%.

Максимальна швидкість при початковій вологості насіння 24% складає 0,36%/хв, що в 2 рази менше за максимальну швидкість сушіння при початковій вологості 16%.

На рис. 3.8, 3.9 представлено вплив швидкості руху теплоносія на тривалість сушіння в діапазоні від 0,5 – 1,5 м/с при температурі сушки 50°C.

При збільшенні швидкості руху теплоносія від 0,5 до 1,5 м/с відбувається збільшення інтенсивності сушіння на 7,3% і зміщення критичної точки К в область високої поточної вологості матеріалу.

При збільшенні швидкості руху теплоносія від 0,5 до 1,5 м/с максимальна швидкість сушіння збільшується на 33%.

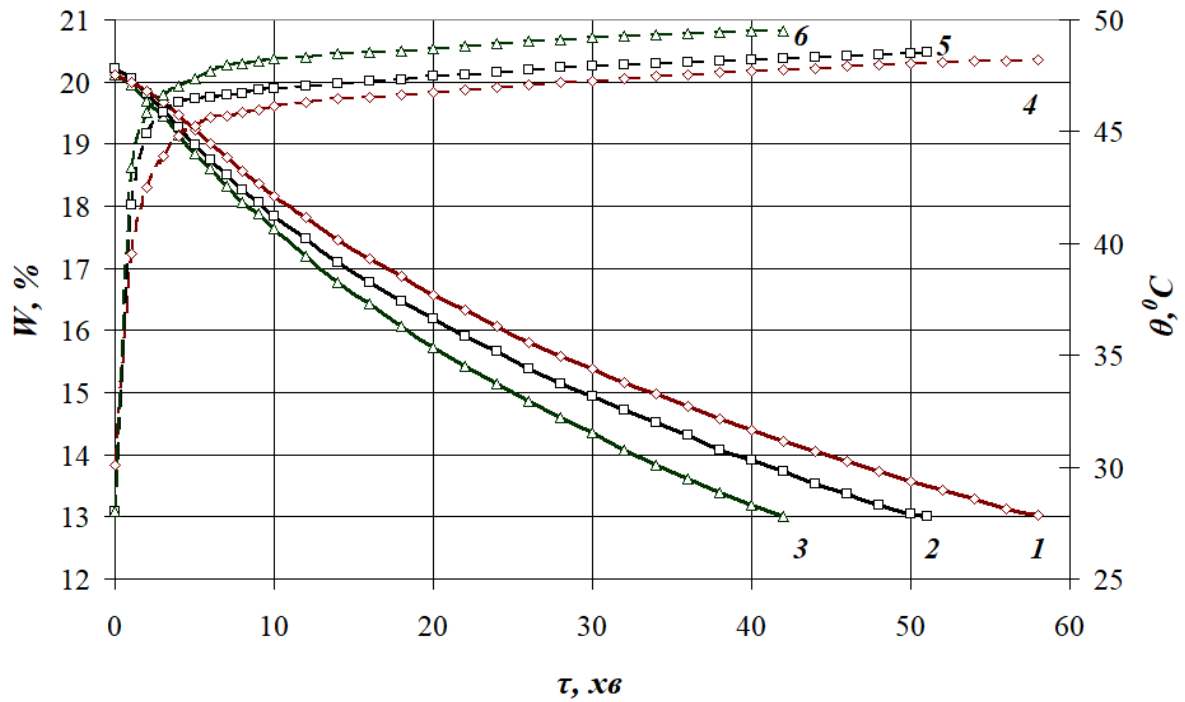


Рис. 3.8. Вплив швидкості руху теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння пшениці:

$$t = 50^{\circ}\text{C}, W_{II} = 20\%, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

$$1 - 0,5 \text{ м/с}; 2 - 1,0 \text{ м/с}; 3 - 1,5 \text{ м/с}$$

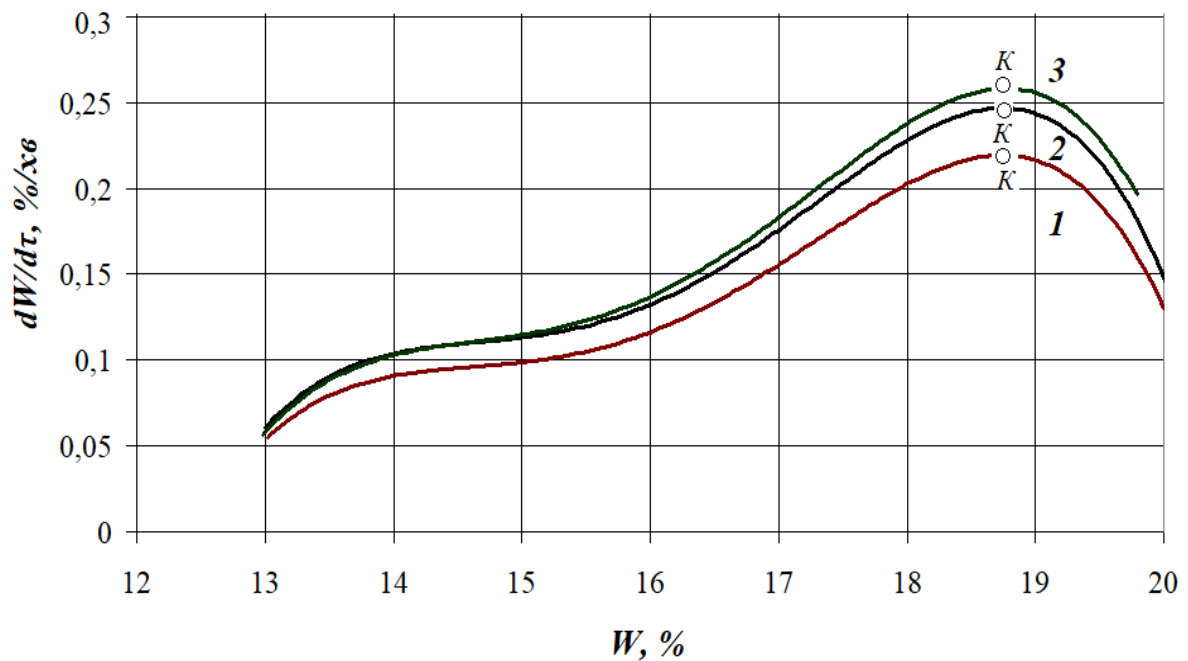


Рис. 3.9. Вплив швидкості руху теплоносія на швидкість сушіння насіння пшениці:

$$t = 50^{\circ}\text{C}, W_{II} = 20\%, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

$$1 - 0,5 \text{ м/с}; 2 - 1,0 \text{ м/с}; 3 - 1,5 \text{ м/с}$$

Вплив вологовмісту теплоносія на кінетику процесу сушіння насіння пшениці показаний на рис. 3.10.

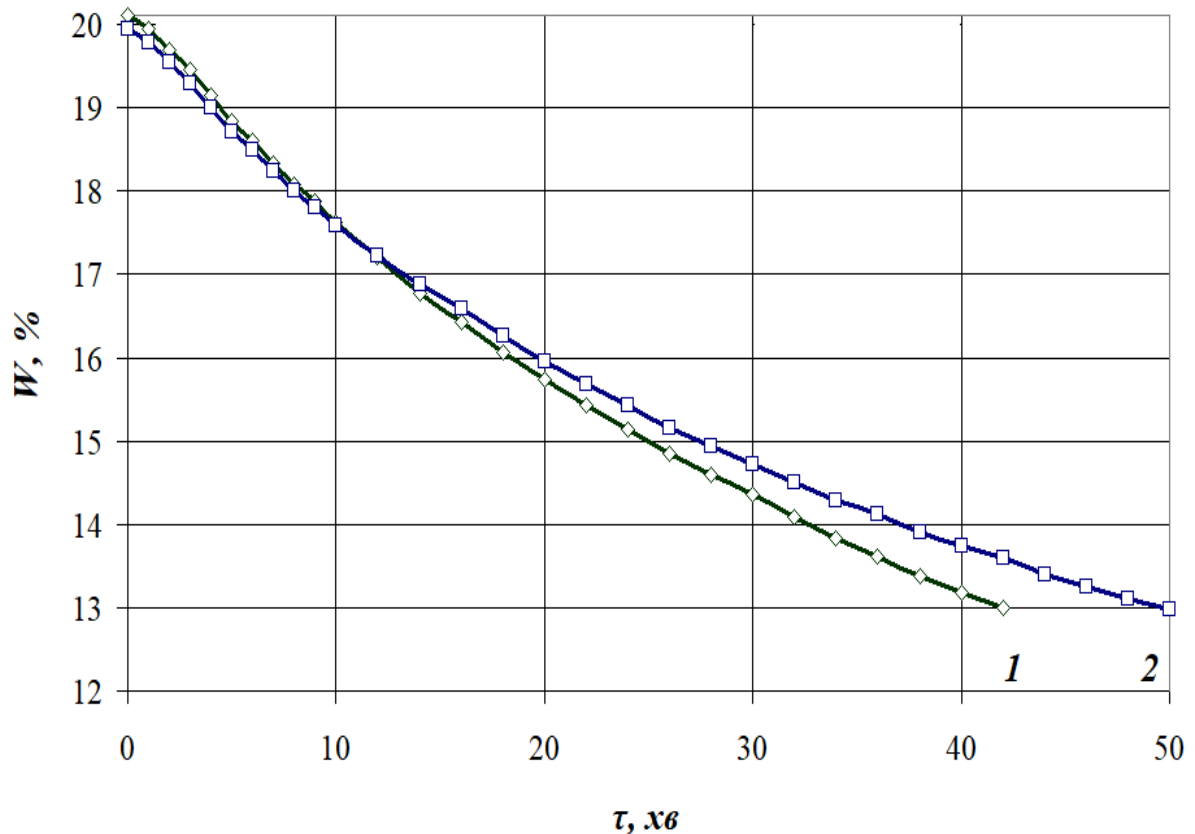


Рис. 3.10. Вплив вологовмісту теплоносія на тривалість сушіння насіння пшениці:

$$t = 50^{\circ}\text{C}, W_{II} = 20\%, V = 1,5 \text{ м/с}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

1 – 10 г/кг с. п.; 2 – 12 г/кг с. п.

Збільшення вологовмісту теплоносія від 10 до 12 г/кг с. п. збільшує тривалість сушіння насіння на 8 хв., або на 19%.

Зміщення критичної точки К не відбувається і знаходиться при поточній вологості матеріалу 18,8%. Максимальна швидкість при вологовмісту теплоносія 10 г/кг с. п. вища на 5,7% від значення максимальної швидкості при вологовмісту теплоносія 12 г/кг с. п.

Представлені дослідження із кінетики сушіння насіння пшениці в елементарному шарі вказують на вплив параметрів сушіння, таких як температура та швидкість руху теплоносія, початкової вологості матеріалу і вологовмісту теплоносія.

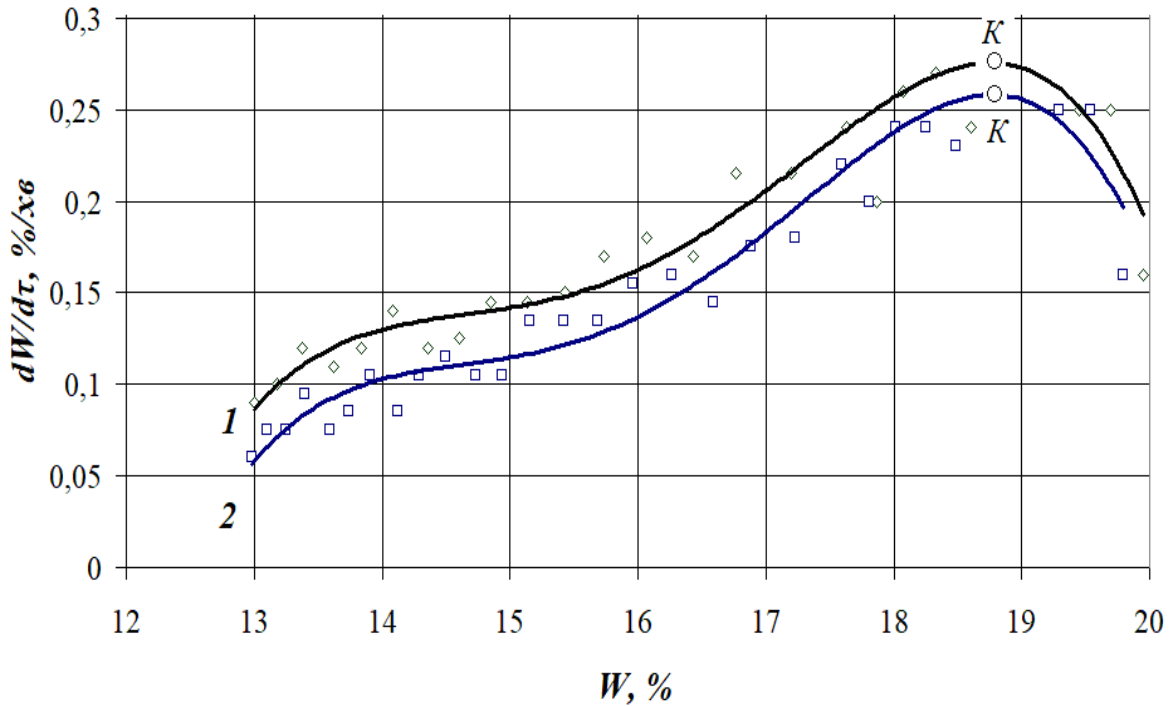


Рис. 3.11. Вплив вологовмісту теплоносія на швидкість сушіння насіння пшениці:

$$t = 50^{\circ}\text{C}, W_{II} = 20\%, V = 1,5 \text{ м/с}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

1 – 10 г/кг с. п.; 2 – 12 г/кг с. п.

Вплив трьох факторів температури та швидкості руху теплоносія, а також початкової вологості насіння пшениці представлені в табл. 3.2.

Високі показники схожості спостерігаються при температурі теплоносія 50°C , при якому вплив на якісні показники матеріалу майже не відбувається.

Підвищення температури теплоносія до 65°C приводить до впливу всіх наведених факторів і при початковій вологості матеріалу 16% за рахунок меншого теплового впливу на насіння пшениці – задовольняє вимогам до насінневого зерна. Вплив початкової вологості матеріалу відбувається при 24% із схожістю насіння пшениці 88% - це не відповідає вимогам до насінневого зерна.

Збільшення температури теплоносія до 80°C – критично зменшує схожість і при високій вологості насіння 24% і швидкості руху сушильного агента 1,5 м/с становить нульове значення.

Вплив параметрів сушіння на схожість насіння пшениці
на 7 день пророщування

Параметри сушіння			Схожість, %
Температура теплоносія, °С	Початкова вологість зерна, %	Швидкість теплоносія, м/с	
Вихідна	-	-	99
50	16	1,5	96
50	20	0,5	96
50	20	1,5	96
50	24	1,5	95
65	16	1,5	94
65	20	0,5	90
65	20	1,5	90
65	24	1,5	88
80	16	1,5	18
80	20	0,5	9
80	20	1,5	1
80	24	1,5	0

3.1.2. Дослідження режимів сушіння та якості насіння вівса та ячменю

Дослідження кінетики сушіння насіння ячменю та вівса проводились на експериментальному конвективному стенді в елементарному шарі, від зміни наступних параметрів: температури теплоносія – від 50 до 80°С, швидкості теплоносія – від 0,6 до 1,5 м/с та вологості матеріалу – 16 – 24%.

З літературних джерел відомо, що нагрівання насіння не повинно перевищувати граничнодопустиму температуру. Так для насіння пшениці, вівса та ячменю 35 – 45°C. Сушіння зерна автори проводили при температурі теплоносія 70°C і вище, при цьому відбувались значні втрати схожості насіння, що недопустимо при високих цінах на насіннєве зерно.

Тому знижуючи температуру теплоносія до 50°C, намагаємось як найменше знизити вплив температуру теплоносія на насіннєві властивості зерна, і підвищуючи його до 80°C - спостерігаємо підвищення інтенсивності процесу за рахунок зменшення якості матеріалу.

Криві сушіння та швидкості сушіння насіння вівса від впливу температури та швидкості руху теплоносія представлено на рис. 3.11. Криві кінетики процесу сушіння насіння вівса показало, що збільшення температури від 50 до 80°C прискорює процес в 2,4 рази, швидкість сушіння збільшується на 0,38%/хв (рис. 3.11).

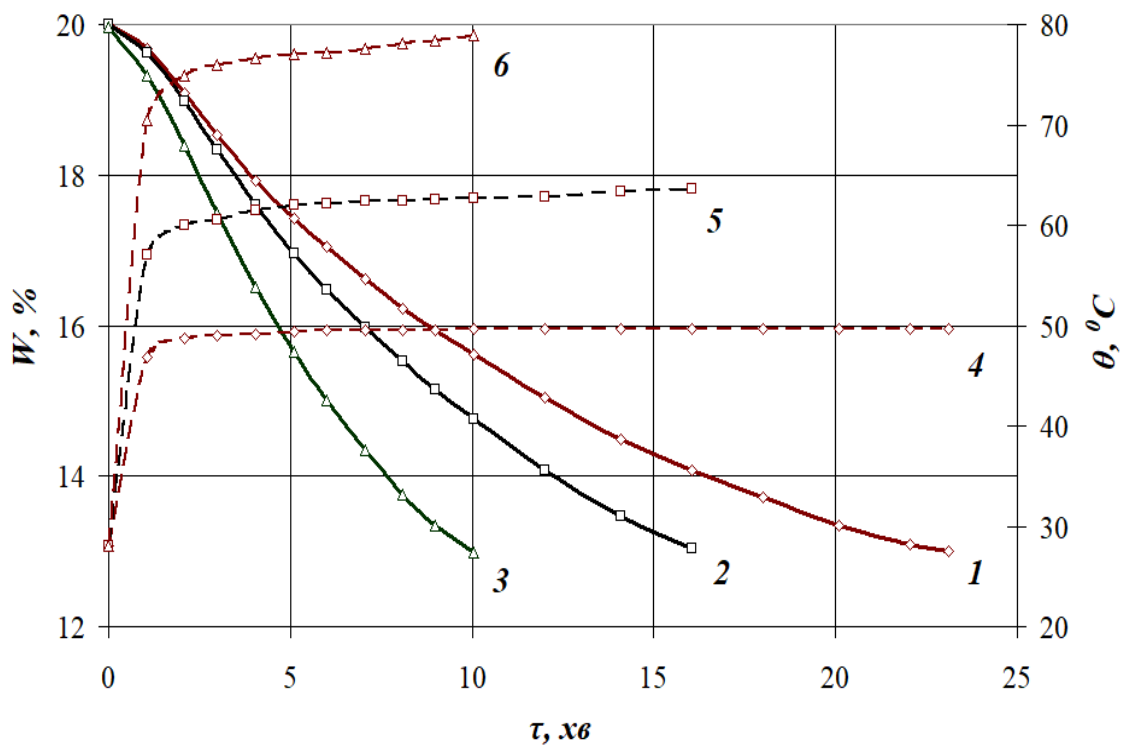


Рис. 3.11. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння вівса:

$$W_{II} = 20\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

$$1,4 - 50^\circ\text{C}, 2,5 - 65^\circ\text{C}, 3,6 - 80^\circ\text{C}.$$

Прогрівання матеріалу від температури теплоносія збільшується, так при температурі теплоносія 50°C – кінцева температура нагрівання насіння вівса 49,68°C, 65°C – 63,56°C, 80°C – 78,96°C (рис. 3.11).

Максимальне значення швидкості сушіння насіння вівса при збільшенні температури теплоносія зміщується в сторону меншої вологості матеріалу, так при температурі 80°C вона настає при вологості насіння вівса 17,5% із значенням 0,98% (рис. 3.12).

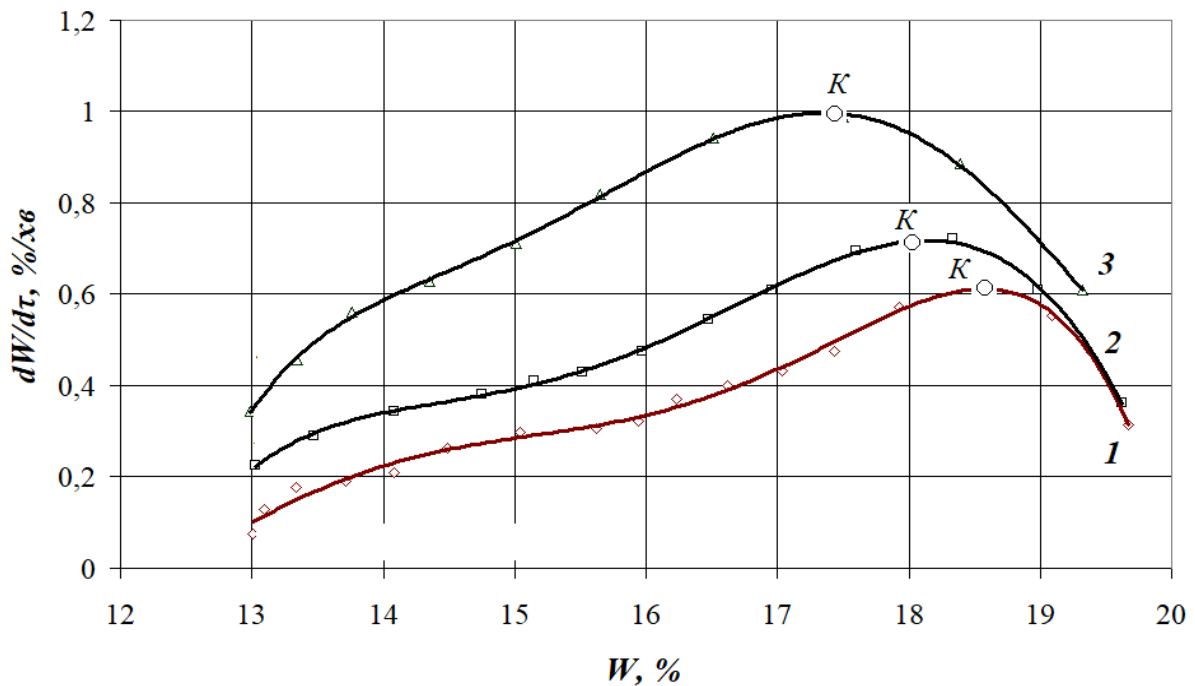


Рис. 3.12. Вплив температури теплоносія на швидкість сушіння насіння вівса: $W_{II} = 20\%$, $V = 1,5$ м/с, $d = 10$ г/кг с. п., $\delta = 2$ мм:

1,4 – 50°C, 2,5 – 65°C, 3,6 – 80°C.

Схожість насіння вівса в наведених режимах сушіння 50 - 80°C при початковій вологості 24% і швидкості руху 1,5 м/с не відрізняється від схожості насіння пшениці, що представлено на рис. 3.4.

Визначаємо граничнодопустиму температуру нагрівання насіння вівса за графічним методом, що представлений на рис. 3.5. Значення схожості насіння не змінюються, а змінюються тільки температури нагрівання насіння при температурах 50, 65 та 80°C (рис. 3.13).

Із рис. 3.15 за мінімальної схожості насіння вівса 92% ДСТУ 2240 – 93 [188] отримали граничнодопустиму температуру нагрівання насіння вівса при

початковій вологості насіння 20%, яка складає 55,5°C та температура теплоносія 55,9°C.

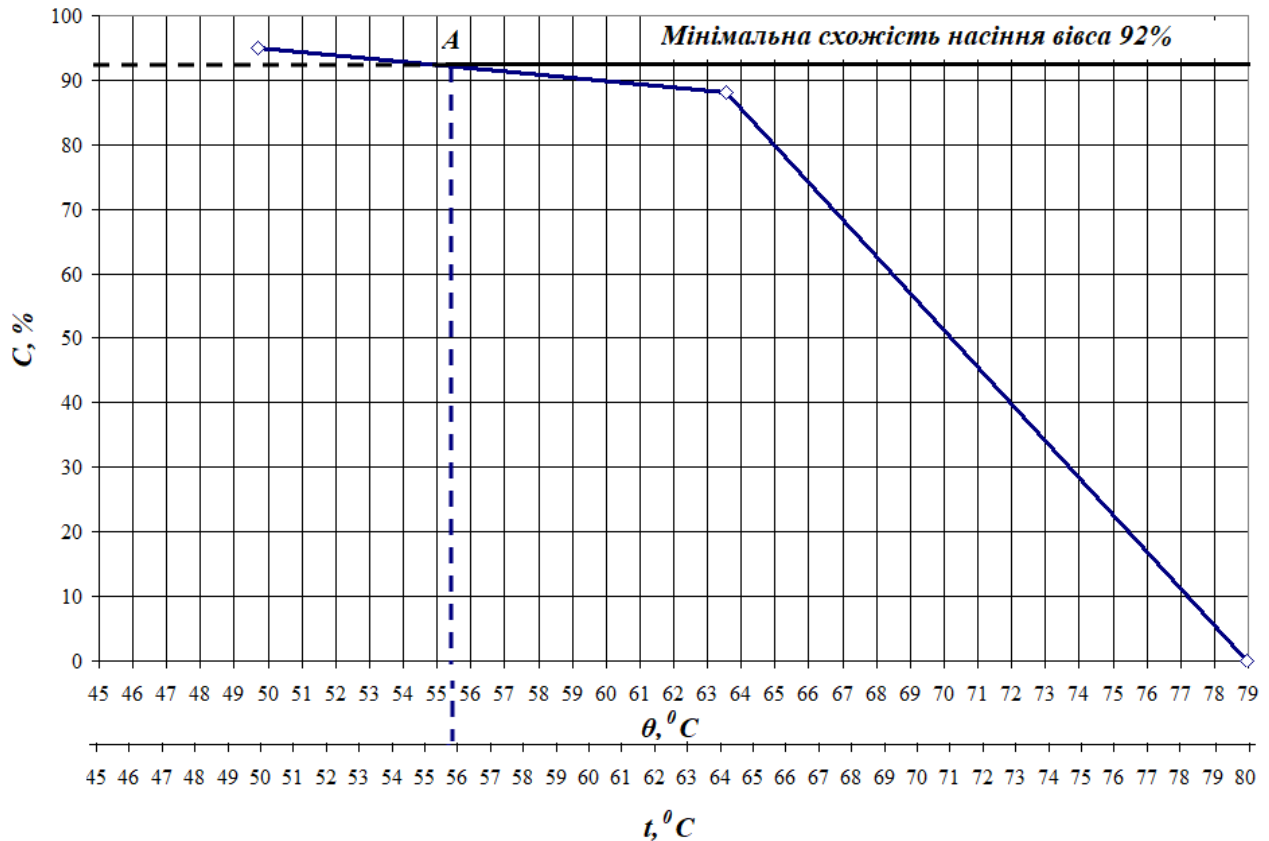


Рис. 3.13. Вплив температури нагрівання насіння на схожість насіння вівса на 7 день пророщування: $V = 1,5$ м/с, $Wn = 20\%$, $d = 10$ г/кг с. п. (точка A – граничнодопустима температура нагрівання насіння пшениці та температура теплоносія)

Також можна визначити схожість насіння при температурі теплоносія в даному температурному інтервалі, так наприклад схожість вівса при температурі теплоносія 70°C – 56%, а зміна температури теплоносія на 1°C до 71°C зменшує схожість на 11%, тобто до 45%.

Проводимо порівняння впливу початкової вологості насіння, швидкості та вологовмісту теплоносія при температурі сушки 50°C.

Збільшення початкової вологості насіння вівса з 16 до 24% збільшує тривалість сушіння втричі, тобто чим менше початкова вологість матеріалу тим менше часу необхідно на процес сушіння (рис. 3.14).

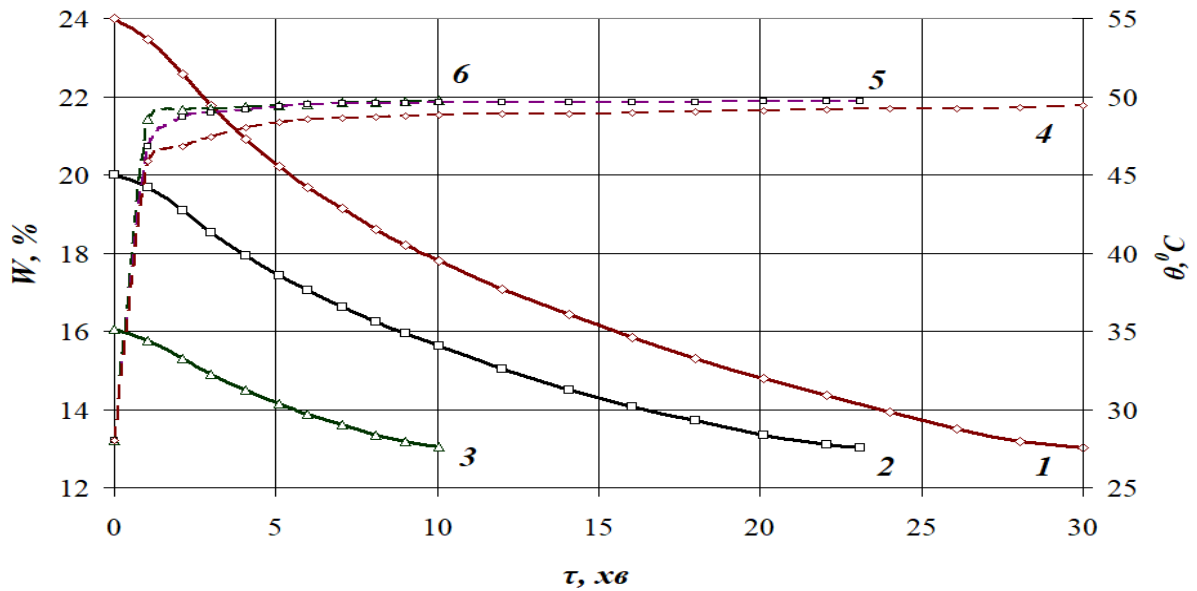


Рис. 3.14. Вплив початкової вологості та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння вівса:

$$t = 50^{\circ}\text{C}, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

1 – 24%; 2 – 20%; 3 – 16%.

Вплив початкової вологості матеріалу на швидкість сушіння насіння вівса представлено на рис. 3.15.

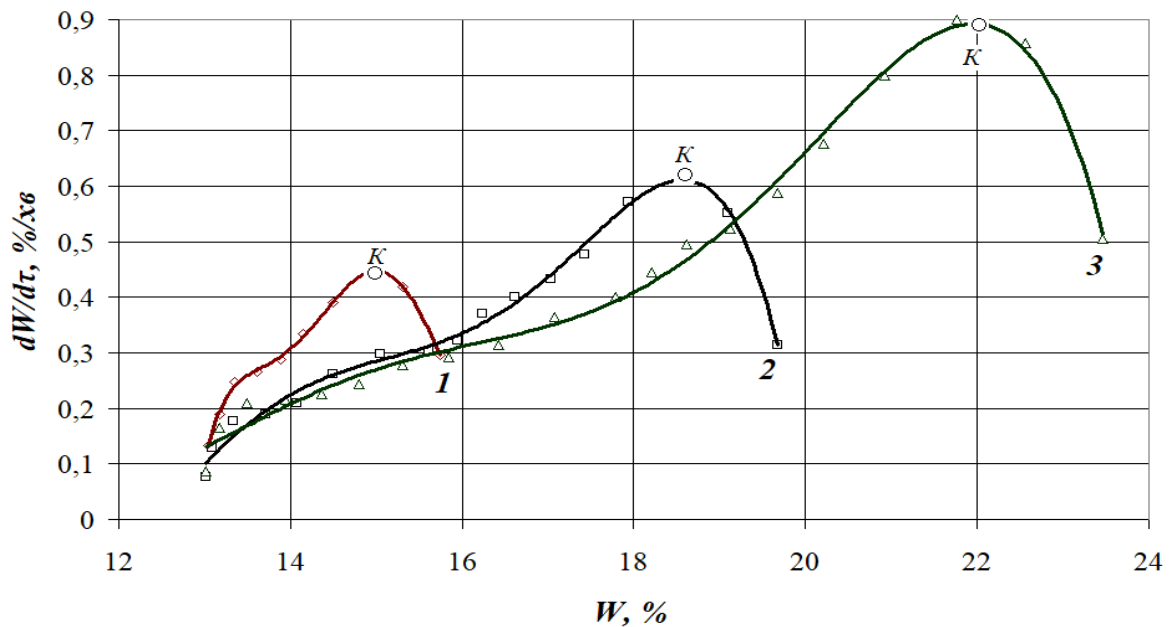


Рис. 3.15. Вплив початкової вологості матеріалу на швидкість сушіння насіння вівса:

$$t = 50^{\circ}\text{C}, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

1 – 24%; 2 – 20%; 3 – 16%.

З збільшенням вологості від 16 до 24% температура нагрівання насіння вівса зменшується на 0,38% і становить 49,4°C.

Збільшення початкової вологості насіння вівса від 16 до 24% збільшує швидкість сушіння в 2 рази, або 5,62%/хв на 1% вологості. Сушіння насіння вівса, як і в інших дослідженнях, проходять в другому періоді сушіння. Визначена критична вологість в точці *K*, де закінчується період прогрівання матеріалу і починається період падаючої швидкості сушіння.

При збільшенні швидкості руху теплоносія інтенсивність процесу дещо менша, чим від впливу температури та початкової вологості насіння. Так, при збільшення швидкості руху теплоносія від 0,5 до 1,5 м/с тривалість процесу сушіння насіння вівса збільшується в 1,42 раз (рис. 3.16).

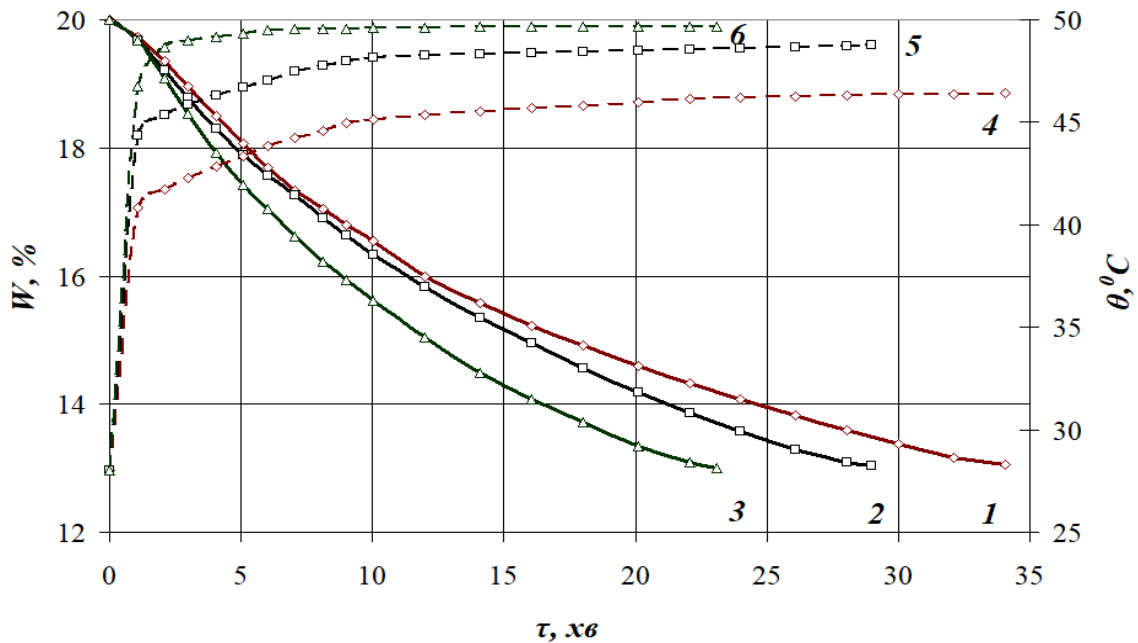


Рис. 3.16. Вплив швидкості руху теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння вівса:

$$t = 50^{\circ}\text{C}, W_{II} = 20\%, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

$$1 - 0,5 \text{ м/с}; 2 - 1,0 \text{ м/с}; 3 - 1,5 \text{ м/с.}$$

Швидкість сушіння насіння вівса від збільшення швидкості руху теплоносія від 0,5 до 1,5 м/с збільшується в 1,36 раз. Критична точка *K* при збільшенні швидкості сушіння зміщується в бік до початкової вологості матеріалу (рис. 3.17).

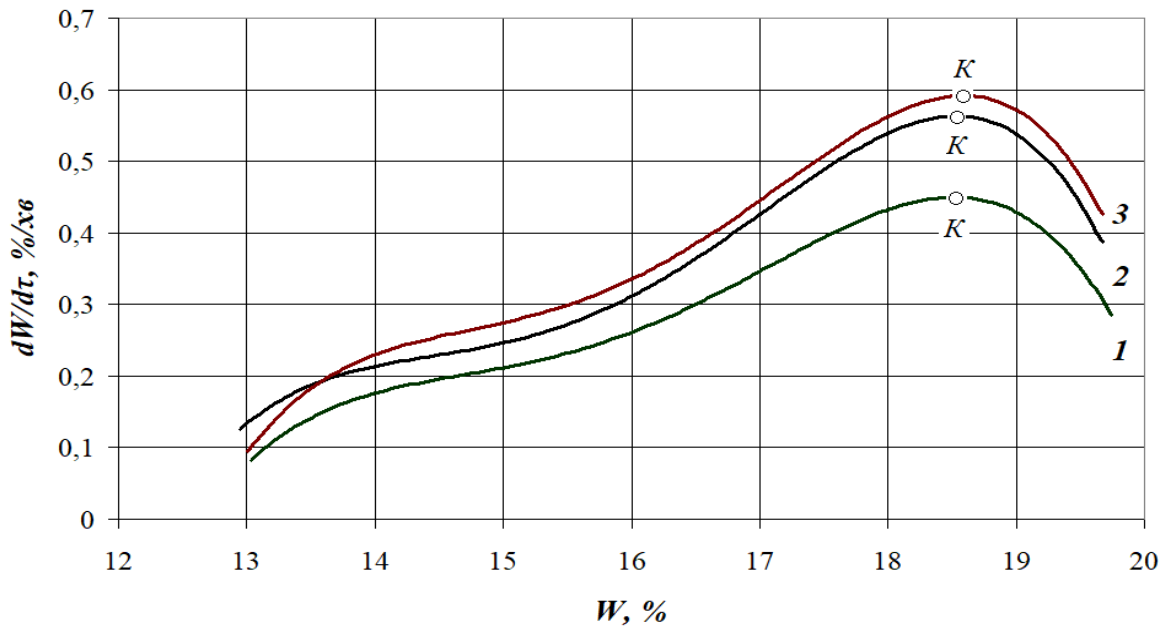


Рис. 3.17. Вплив швидкості руху теплоносія на швидкість сушіння насіння вівса:

$t = 50^{\circ}\text{C}$, $W_{II} = 20\%$, $d = 10$ г/кг с. п., $\delta = 2$ мм:

1 – 0,5 м/с; 2 – 1,0 м/с; 3 – 1,5 м/с.

Вплив вологовмісту теплоносія на кінетику процесу сушіння насіння вівса показаний на рис. 3.18.

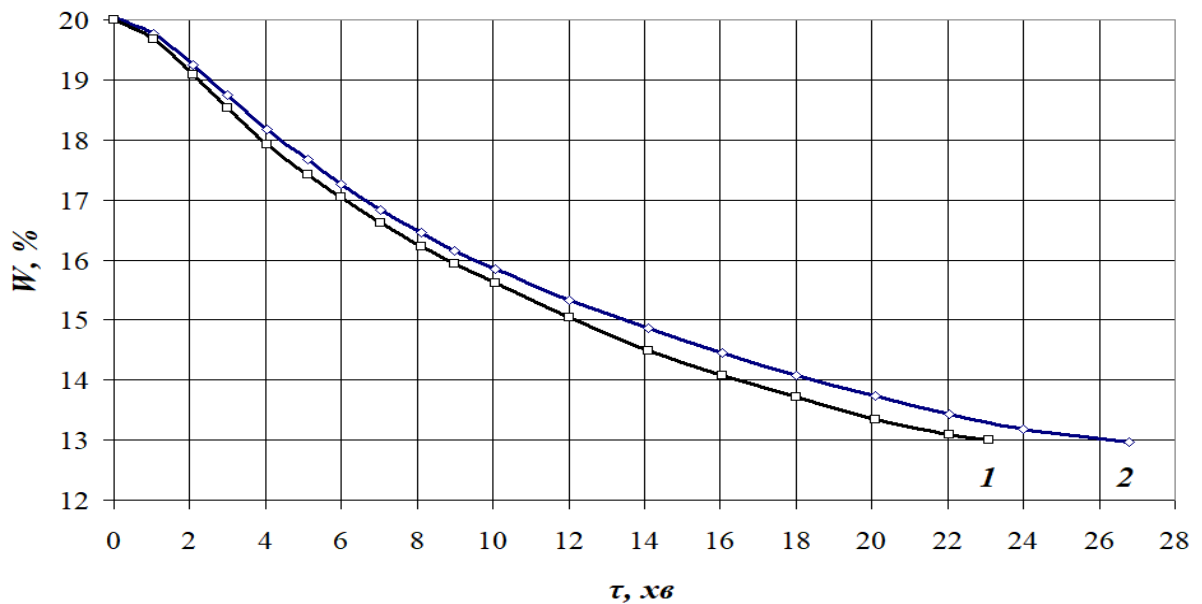


Рис. 3.18. Вплив вологовмісту теплоносія на тривалість сушіння насіння вівса:

$t = 50^{\circ}\text{C}$, $W_{II} = 20\%$, $V = 1,5$ м/с, $\delta = 2$ мм:

1 – 10 г/кг с. п.; 2 – 12 г/кг с. п.

Збільшення вологовмісту теплоносія від 10 до 12 г/кг с. п. збільшує тривалість сушіння насіння вівса на 13% (рис. 3.19).

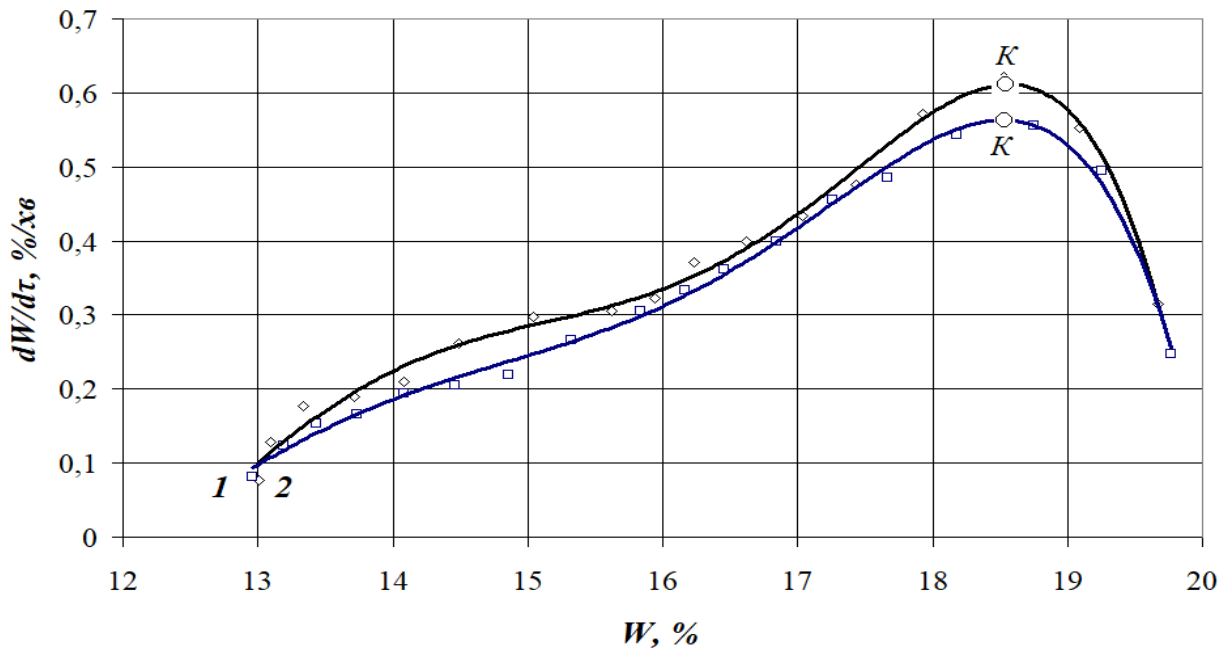


Рис. 3.19. Вплив вологовмісту теплоносія на швидкість сушіння насіння вівса:

$$t = 50^{\circ}\text{C}, W_{II} = 20\%, V = 1,5 \text{ м/с}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

1 – 10 г/кг с. п.; 2 – 12 г/кг с. п.

Зміщення критичної точки K не відбувається і знаходиться при поточній вологості матеріалу 18,5%. Максимальна швидкість при вологовмісту теплоносія 10 г/кг с. п. вища на 10,7% від значення максимальної швидкості при вологовмісту теплоносія 12 г/кг с. п.

Аналогічно проводимо дослідження із сушіння насіння ячменю від впливу температури (50 – 80°C) та швидкості руху теплоносія (0,5 – 1,5 м/с) і початкової вологості матеріалу (16 – 24%), вологовмісту теплоносія (10 – 12 г/кг с.п.).

При збільшенні температури теплоносія з 50 до 80 °C тривалість процесу сушіння ячменю зменшується в 2,67 рази (рис. 3.20).

На кривих швидкості сушіння насіння ячменю, як і в попередніх дослідженнях, не спостерігається періоду постійної швидкості сушіння (рис. 3.21).

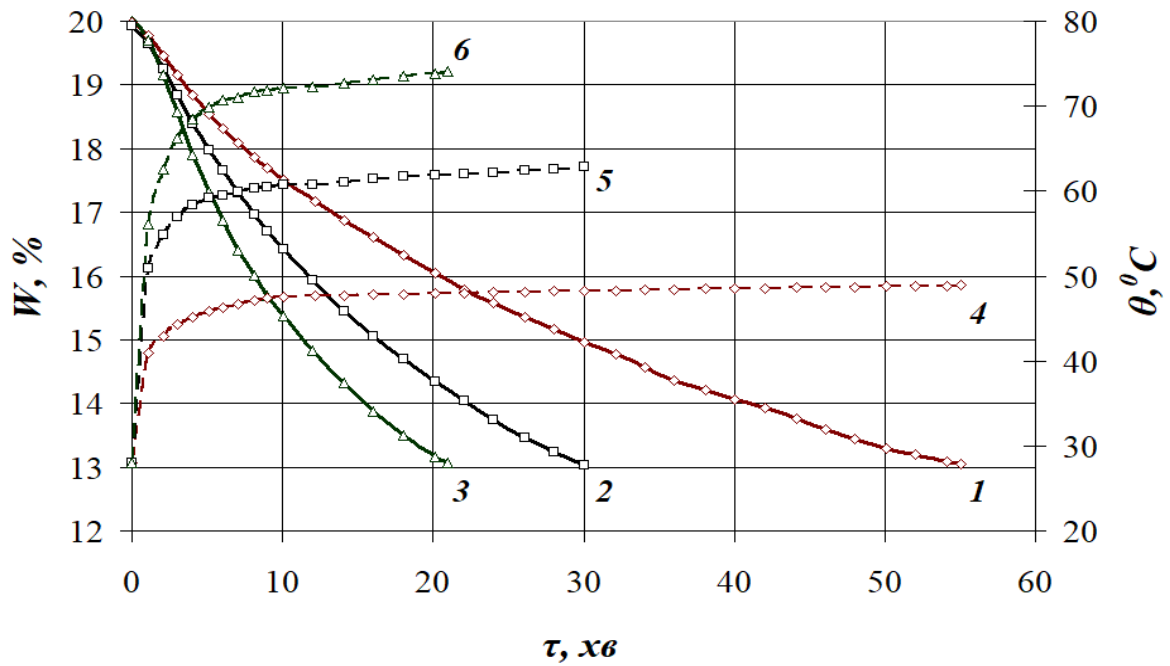


Рис. 3.20. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння ячменю:

$$W_{II} = 20\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

$$1,4 - 50^\circ\text{C}, 2,5 - 65^\circ\text{C}, 3,6 - 80^\circ\text{C}.$$

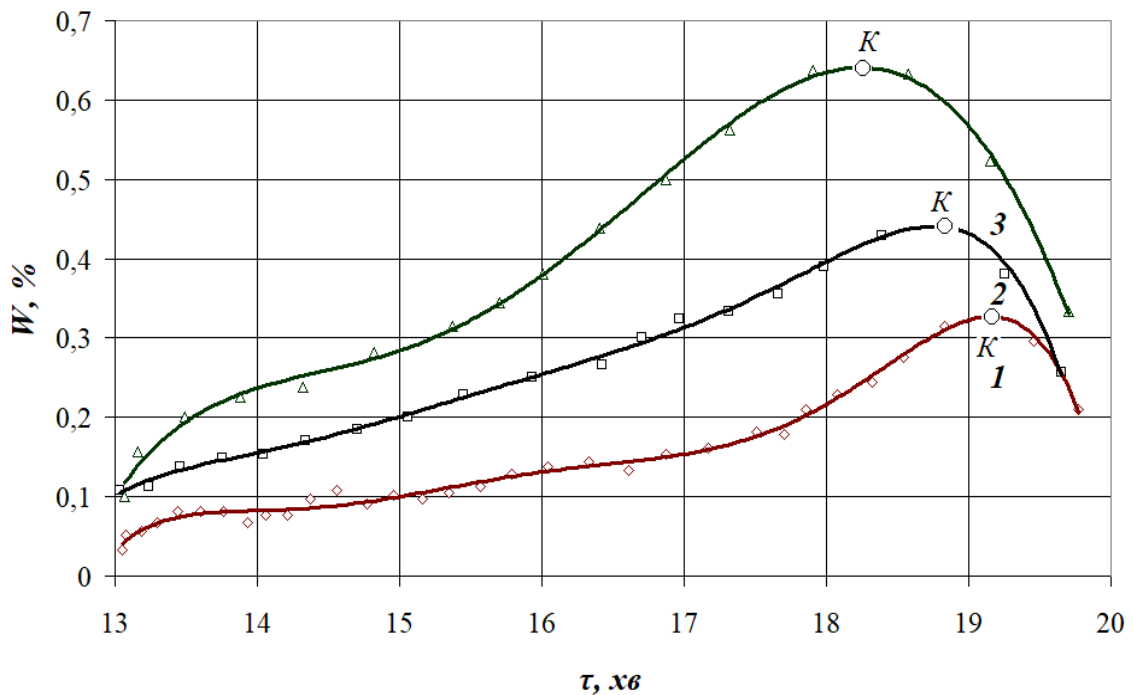


Рис. 3.21. Вплив температури теплоносія на швидкість сушіння насіння ячменю: $W_{II} = 20\%$, $V = 1,5 \text{ м/с}$, $d = 10 \text{ г/кг с. п.}$, $\delta = 2 \text{ мм}$:

$$1,4 - 50^\circ\text{C}, 2,5 - 65^\circ\text{C}, 3,6 - 80^\circ\text{C}.$$

Процес сушіння відбувається в періоді падаючої швидкості сушіння з попереднім прогріванням ячменю, так для температури теплоносія 50°C максимальна швидкість сушіння $0,32\%/хв.$, а для температури 80°C – $0,63\%/хв.$

Наступним фактором, який впливає на кінетику процесу сушіння є початкова вологість насіння ячменю, яка вибрана в діапазоні $W = 16 - 24\%$, що відповідає вологості насіння при збиранні його при різних кліматичних умовах.

Кінетика процесу сушіння ячменю показує, що збільшення початкової вологості від 16% до 24% збільшує тривалість в $3,29$ рази (рис. 3.22).

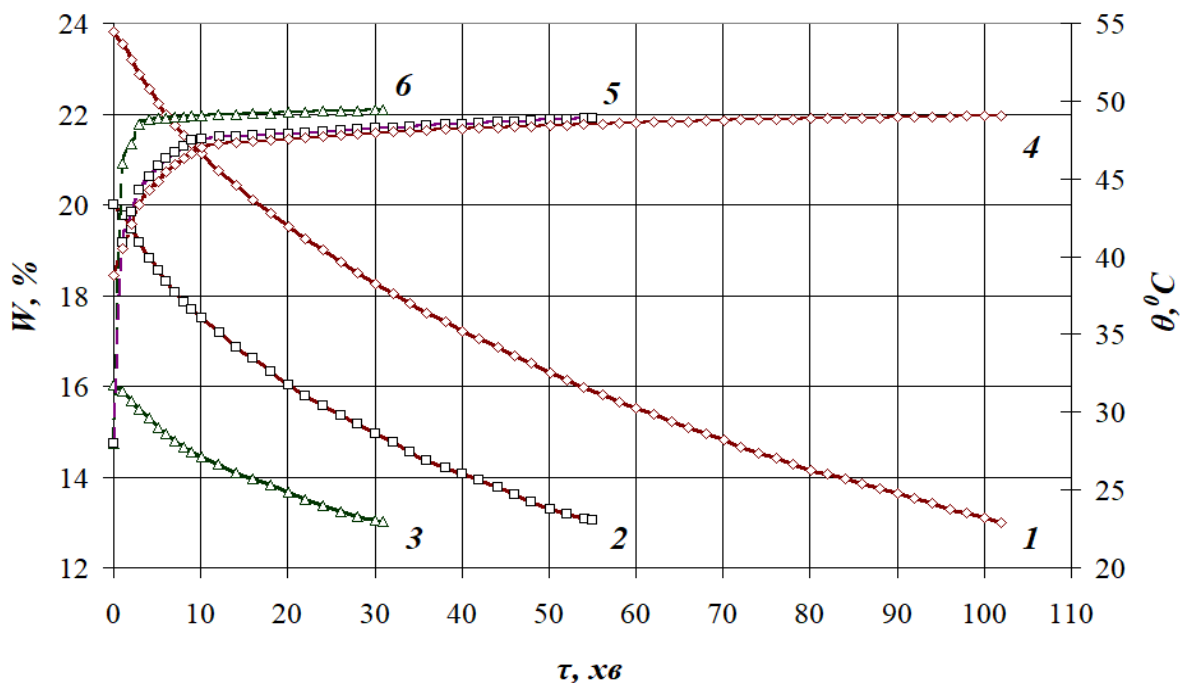


Рис. 3.22. Вплив початкової вологості та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння ячменю:

$$t = 50^{\circ}\text{C}, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

1 – 24% ; 2 – 20% ; 3 – 16% .

Кінцева температура нагрівання насіння ячменю зменшується від збільшення початкової вологості матеріалу при температурі 50°C і знаходяться в межах між $48,9 - 49,6^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.23).

Збільшення швидкості руху теплоносія від $0,5$ до $1,5$ м/с збільшує тривалість сушіння ячменю в $1,24$ рази (рис. 3.24).

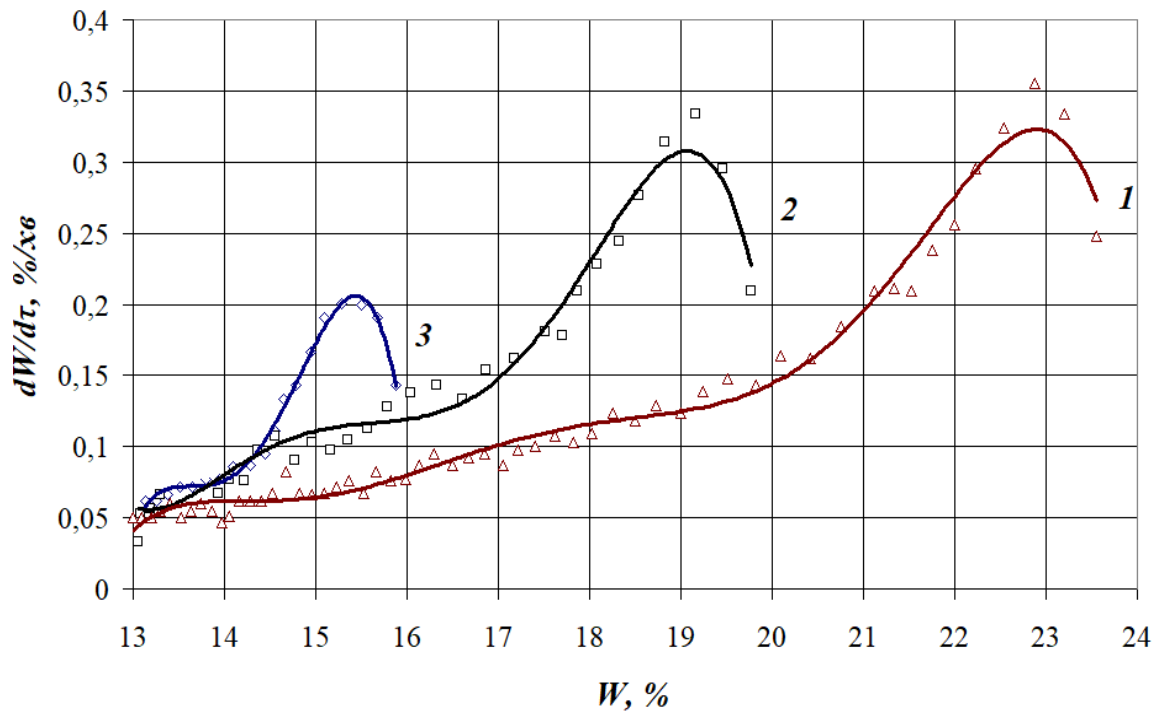


Рис. 3.23. Вплив початкової вологості матеріалу

на швидкість сушіння насіння ячменю:

$t = 50^{\circ}\text{C}$, $V = 1,5 \text{ м/с}$, $d = 10 \text{ г/кг с. п.}$, $\delta = 2 \text{ мм}$:

1 – 24%; 2 – 20%; 3 – 16%.

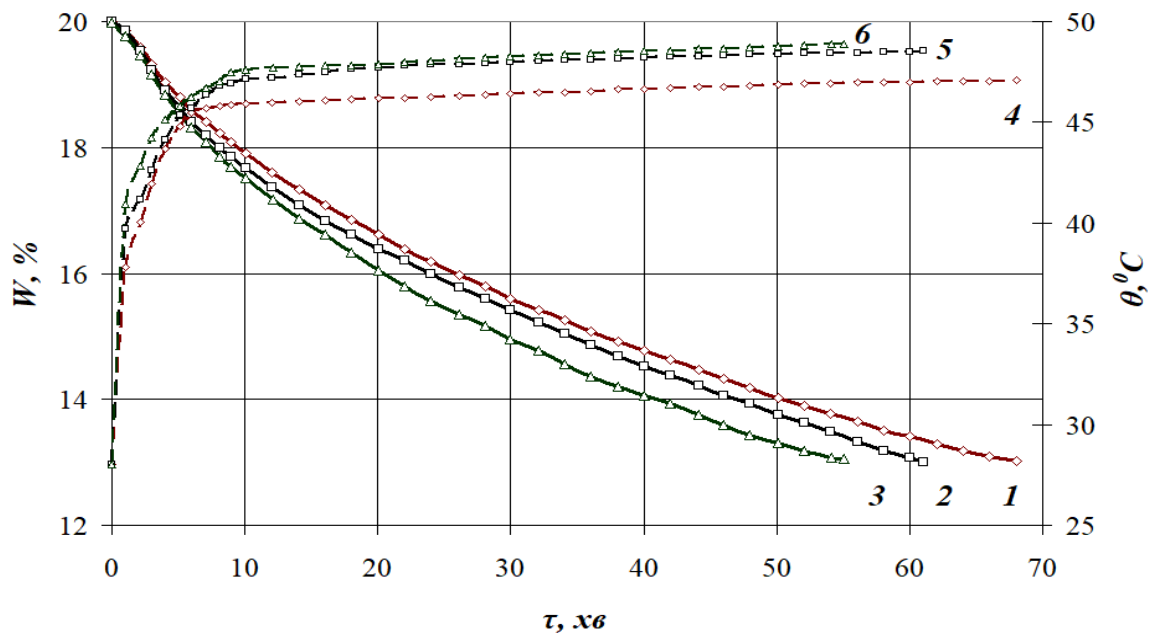


Рис. 3.24. Вплив швидкості руху теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння ячменю:

$t = 50^{\circ}\text{C}$, $W_{II} = 20\%$, $d = 10 \text{ г/кг с. п.}$, $\delta = 2 \text{ мм}$:

1 – 0,5 м/с; 2 – 1,0 м/с; 3 – 1,5 м/с.

Процес сушіння відбувається в періоді падаючої швидкості сушіння з попереднім прогріванням ячменю, так для швидкості руху 1,5 м/с швидкість сушіння складає 0,32%/хв., а для швидкості руху 0,5 м/с – 0,27 %/хв. (рис. 3.25).

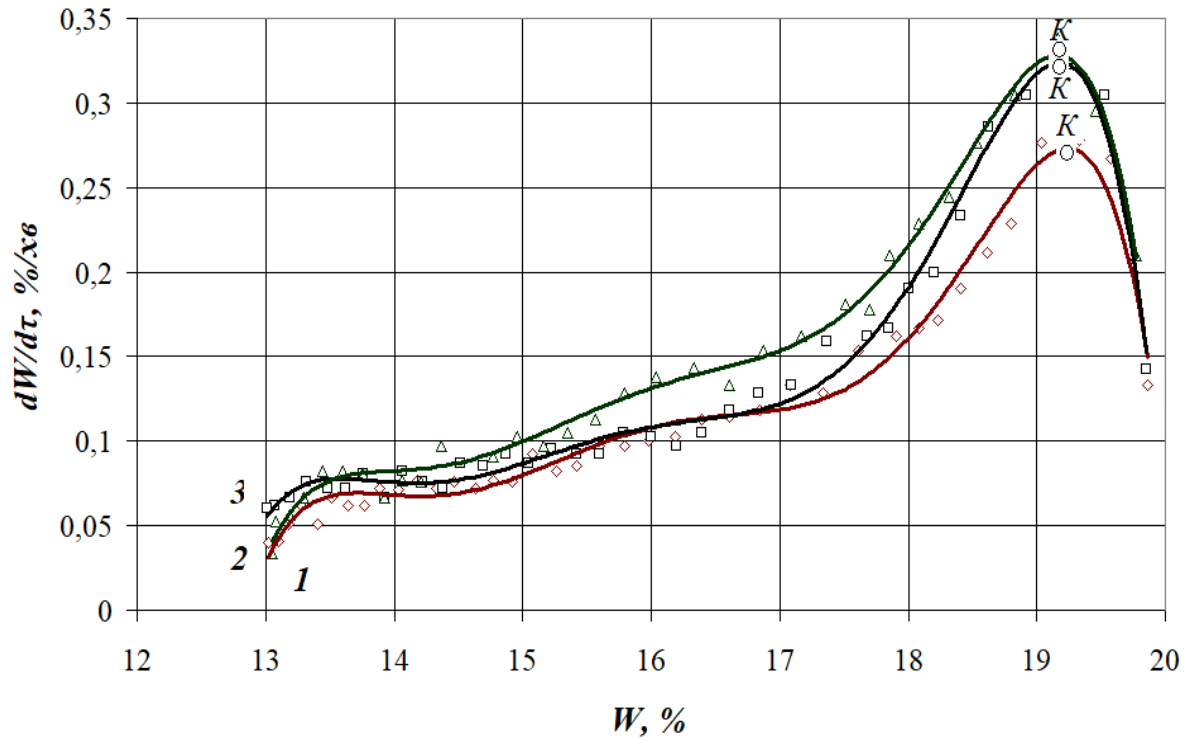


Рис. 3.25. Вплив швидкості руху теплоносія

на швидкість сушіння насіння ячменю:

$t = 50^{\circ}\text{C}$, $W_{II} = 20\%$, $d = 10$ г/кг с. п., $\delta = 2$ мм:

1 – 0,5 м/с; 2 – 1,0 м/с; 3 – 1,5 м/с.

Вплив вологовмісту теплоносія на процес сушіння насіння ячменю представлено на рис. 3.26. Зміна вологовмісту теплоносія від 10 до 12 г/кг с.п. знижує тривалість сушіння на 17,8%.

Швидкість сушіння насіння ячменю при зміні вологовмісту теплоносія від 10 до 12 г/кг с.п. зменшується на 0,02%/хв. (рис. 3.27).

Граничнодопустима температура при сушінні насіння вівса $55,5^{\circ}\text{C}$, а для ячменю – $53,9^{\circ}\text{C}$ (визначено за запропонованою методикою).

Представлені результати досліджень кінетики сушіння показують, що всі наведені фактори впливають на тривалість сушіння насіння вівса та ячменю.

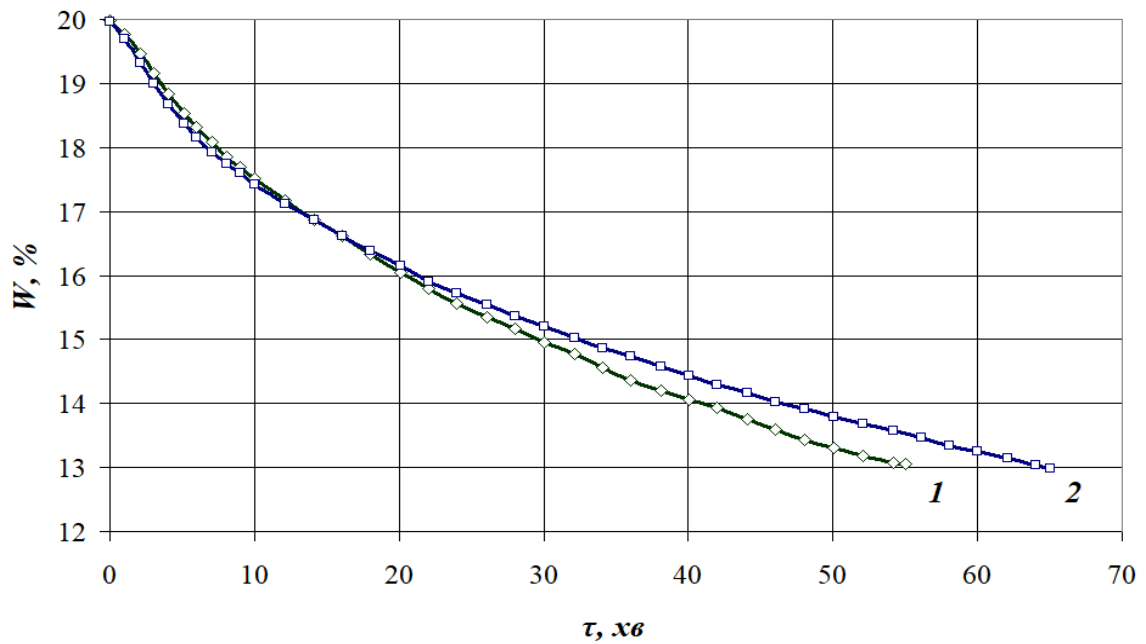


Рис. 3.26. Вплив вологовмісту теплоносія
на тривалість сушіння насіння ячменю:
 $t = 50^{\circ}\text{C}$, $W_{II} = 20\%$, $V = 1,5$ м/с, $\delta = 2$ мм:
1 – 10 г/кг с. п.; 2 – 12 г/кг с. п.

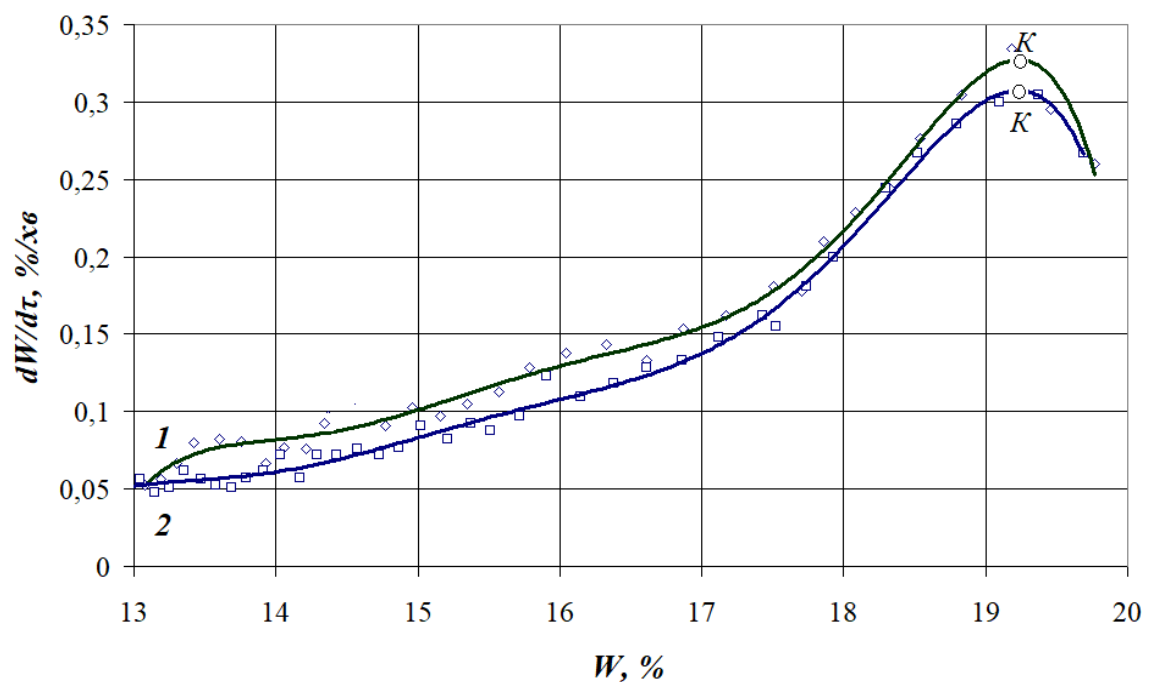


Рис. 3.27. Вплив вологовмісту теплоносія
на швидкість сушіння насіння ячменю:
 $t = 50^{\circ}\text{C}$, $W_{II} = 20\%$, $V = 1,5$ м/с, $\delta = 2$ мм:
1 – 10 г/кг с. п.; 2 – 12 г/кг с. п.

При оцінці та виборі режиму сушіння необхідно виходити із якісних характеристик схожості насіння.

Трьохфакторний вплив на схожість насіння вівса та ячменю на 7 день пророщування представлений в табл. 3.3.

Таблиця 3.3.

Вплив параметрів сушіння на схожість насіння вівса та ячменю
на 7 день пророщування

Параметри сушіння			Схожість	
Температура теплоносія, °C	Початкова вологість зерна, %	Швидкість теплоносія, м/с	Овес, %	Ячмінь, %
Вихідна	-	-	99	100
50	16	1,5	99	98
50	20	0,5	98	98
50	20	1,5	96	98
50	24	1,5	96	96
65	16	1,5	95	95
65	20	0,5	90	90
65	20	1,5	90	90
65	24	1,5	88	89
80	16	1,5	56	18
80	20	0,5	28	18
80	20	1,5	20	18
80	24	1,5	0	0

Режим сушіння із високою схожістю насіння - це температура теплоносія 50°C, де вплив початкової вологості і швидкості теплоносія не суттєвий.

Температура теплоносія 65°C наближена до мінімальної схожості насіння 92%, але при високій вологості вона складає нижче 90%, що не відповідає вимогам до насінневого зерна. Вплив швидкості руху теплоносія на схожість насіння більш істотний при температурі 80°C і при початковій вологості 24% втрачаються всі насіннєві властивості зерна.

3.1.3. Вибір режимів сушіння насіння зернових культур за статистично-математичним методом обробки експериментальних даних

Статистично-математичний метод обробки експериментальних даних проводимо на основі математичного методу планування багатофакторного експерименту приведеного в розділі 2.3 [182 - 185].

При обробці експериментальних даних отриманих при сушінні насіння зернових культур на експериментальному конвективному сушильному стенді в елементарному шарі, прийняті такі важливі фактори: температура теплоносія, швидкість руху теплоносія, початкова вологість матеріалу (табл. 3.4).

Таблиця 3.4.

Фактори і рівні варіювання, що впливають на сушіння насіння пшениці

Показники	Фактори		
	Теплоносій		Матеріал
	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Швидкість $V, \text{м/с}$	Початкова вологість $W_n, \%$
Верхній (+1)	80	1,5	24
Середній (0)	65	1,0	20
Нижній (-1)	50	0,5	16
Інтервал варіювання	15	0,5	4
Кодове позначення	x_1	x_2	x_3

Критеріями оцінки ефективності процесу сушіння обрано тривалість сушіння, кінцева температура нагрівання та схожість насіння пшениці, ячменю та вівса.

Рекомендований вигляд матриця плану і результати експериментів з сушіння насіння пшениці сорту «Подольянка», ячменю сорту «Барвистий» та вівса сорту «Зоряний» в елементарному шарі на конвективному сушильному стенді представлені в табл. 3.5 – 3.7.

Рівняння квадратичної регресії для тривалості сушіння насіння пшениці запишемо наступним чином:

$$\hat{y} = 25,99 - 13,97x_1 - 3,22x_2 + 11,05x_3 + 4,29x_1^2 - 0,8x_2^2 - 1,48x_3^2 + 2x_1x_2 - 5,5x_1x_3 + 0,5x_2x_3. \quad (3.1)$$

Дисперсія точки експерименту S_k^2 розраховується:

$$S_k^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m (y_{kl} - \bar{y}_l)^2 = 18,$$

Оцінка дисперсії відтворюваності визначається:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_k^2 = \frac{18}{15} = 1,2.$$

Після проведення дослідів проводимо перевірку відтвореності дослідів за критерієм Кохрена:

$$G_{\max} = \frac{S_{k \max}^2}{\sum_{k=1}^N S_k^2} = \frac{2}{18} = 0,111.$$

Для рівня значимості $\alpha = 1 - \gamma = 0,05$ при кількості ступенів вільності $\nu_1 = m - 1 = 2$, $\nu_2 = N = 15$ із таблиці знаходимо критичне значення статистики критерію: $G_{кр} = 0,3346$.

Так як $G_{\max} = 0,111 < G_{кр} = 0,3346$, то можна зробити висновок про відтвореність експерименту.

Таблиця 3.5.

Матриця плану і результати експериментів з сушіння насіння пшениці сорту «Подільянка»

№	Умови дослідів												τ , хв	$\theta_{\text{к}}$, °С	С, %
	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_1^3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	x_1'	x_2'	x_3'			
1.	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,27	0,27	0,27	30	49,5	97
2.	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	0,27	0,27	0,27	8	76,8	18
3.	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	0,27	0,27	0,27	16	49,4	96
4.	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	6	76,4	18
5.	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	64	48,4	95
6.	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	0,27	0,27	0,27	24	73,7	0
7.	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	0,27	0,27	0,27	56	48,3	95
8.	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,27	0,27	0,27	20	74,6	0
9.	-1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	0	0,75	-0,73	-0,73	51	46,9	96
10.	+1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	0	0,75	-0,73	-0,73	14	75,4	7
11.	0	-1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	-0,73	0,75	-0,73	28	60,5	90
12.	0	+1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	-0,73	0,75	-0,73	22	63,5	90
13.	0	0	-1,215	0	0	+1,472	0	0	0	-0,73	-0,73	0,75	17	63,3	90
14.	0	0	+1,215	0	0	+1,472	0	0	0	-0,73	-0,73	0,75	31	62,4	88
15.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73	25	61,5	90

Матриця плану і результати експериментів з сушіння насіння ячменю сорту «Барвистий»

№	Умови дослідів												τ , хв	θ_k , °С	С, %
	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_1^3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	x_1'	x_2'	x_3'			
1.	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,27	0,27	0,27	41	49	98
2.	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	0,27	0,27	0,27	12	76,9	18
3.	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	0,27	0,27	0,27	31	49,4	98
4.	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	10	76,2	18
5.	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	110	47,8	96
6.	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	0,27	0,27	0,27	26	74,6	0
7.	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	0,27	0,27	0,27	102	48,5	96
8.	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,27	0,27	0,27	22	75,2	0
9.	-1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	0	0,75	-0,73	-0,73	61	48,5	98
10.	+1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	0	0,75	-0,73	-0,73	16	76	18
11.	0	-1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	-0,73	0,75	-0,73	38	61,2	90
12.	0	+1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	-0,73	0,75	-0,73	30	62,8	90
13.	0	0	-1,215	0	0	+1,472	0	0	0	-0,73	-0,73	0,75	26	62,4	91
14.	0	0	+1,215	0	0	+1,472	0	0	0	-0,73	-0,73	0,75	52	62,1	89
15.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73	36	62,2	90

Матриця плану і результати експериментів з сушіння насіння вівса сорту «Зоряний»

№	Умови дослідів												τ , хВ	θ_k , °С	С, %
	x_1	x_2	x_3	x_1^2	x_2^2	x_1^3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	x_1'	x_2'	x_3'			
1.	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,27	0,27	0,27	21	49,6	99
2.	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	0,27	0,27	0,27	13	79,2	58
3.	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	0,27	0,27	0,27	10	49,7	99
4.	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	8	79,1	56
5.	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	42	49,1	96
6.	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	0,27	0,27	0,27	24	76,5	0
7.	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	0,27	0,27	0,27	30	49,4	96
8.	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,27	0,27	0,27	14	77,4	0
9.	-1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	0	0,75	-0,73	-0,73	29	48,8	98
10.	+1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	0	0,75	-0,73	-0,73	13	78,7	28
11.	0	-1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	-0,73	0,75	-0,73	23	61,3	90
12.	0	+1,215	0	0	+1,472	0	0	0	0	-0,73	0,75	-0,73	16	63,6	90
13.	0	0	-1,215	0	0	+1,472	0	0	0	-0,73	-0,73	0,75	14	63,4	91
14.	0	0	+1,215	0	0	+1,472	0	0	0	-0,73	-0,73	0,75	28	62,5	88
15.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73	20	62,6	90

Оцінка дисперсії похибки для відповідних коефіцієнтів рівняння регресії визначається:

$$S_{a_0}^2 = \frac{b_0}{m} S_y^2 + q^2 \sum_{i=1}^n S_{a_{ii}}^2 = \frac{0,0667}{3} \cdot 1,2 + 0,73^2 \cdot 0,09 \cdot 3 = 0,17; \quad S_{a_0} = 0,41.$$

$$S_{a_i}^2 = \frac{b_1}{m} S_y^2 = \frac{0,0913}{3} \cdot 1,2 = 0,036; \quad S_{a_1} = S_{a_2} = S_{a_3} = 0,19.$$

$$S_{a_{ii}}^2 = \frac{b_3}{m} S_y^2 = \frac{0,2298}{3} \cdot 1,2 = 0,09, \quad S_{a_{11}} = S_{a_{22}} = S_{a_{33}} = 0,3.$$

$$S_{a_{ij}}^2 = \frac{b_2}{m} S_y^2 = \frac{0,125}{3} \cdot 1,2 = 0,05; \quad S_{a_{12}} = S_{a_{13}} = S_{a_{23}} = 0,22.$$

Приймаємо рівень значимості $\alpha = 1 - \gamma = 0,05$ і користуючись таблицями критерію Стьюдента для $\alpha = 0,05$ і $\nu = N(m - 1) = 30$, критичне значення статистики $t_{кр} = 2,04$.

Таблиця 3.8.

Визначення значимості коефіцієнтів регресії

a_i, a_{ii}, a_{ij}	$S_{a_i}, S_{a_{ii}}, S_{a_{ij}}$	t_{ip}
$a_0 = 25,99$	0,41	63,39
$a_1 = -13,96$	0,19	73,47
$a_2 = -3,22$	0,19	16,95
$a_3 = 11,05$	0,19	58,15
$a_{11} = 4,3$	0,3	14,33
$a_{22} = -0,8$	0,3	2,67
$a_{33} = 1,48$	0,3	4,93
$a_{12} = 2$	0,22	9
$a_{13} = -5,5$	0,22	25
$a_{23} = -0,5$	0,22	2,27

В отриманому рівнянні оцінки коефіцієнтів виявились значимими.

Приведене рівняння регресії показує, що найбільш визначальними факторами є температура та початкова вологість насіння пшениці. Перевіримо правильність отриманого рівняння регресії. Для цього задаємо значення факторів x_i , які відповідають першій строчці дослідю. Тоді:

$$\hat{y} = 25,99 - 13,97(-1) - 3,22(-1) + 11,05(-1) + 4,29(+1) - 0,8(+1) - 1,48(+1) + 2(+1) - 5,5(+1) + 0,5(+1) = 30,64.$$

Оцінка дисперсії неадекватності знаходимо:

$$S_{неад}^2 = \frac{1}{N-r} \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2 = \frac{1}{15-7} \cdot 12,7 = 1,6.$$

Перевірка адекватності математичної моделі результатами експерименту за F – критерію Фішера:

$$F_p = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2} = \frac{1,6}{1,2} = 1,3.$$

Для числа степені вільності $\nu_2 = N - r = 8$ і $\nu_1 = N(m - 1) = 30$ та рівня значимості $\alpha = 0,05$ критичне значення статистики Фішера $F_{кр} = 2,27$.

Так як $F_p = 1,3 < F_{кр} = 2,27$, то математична модель у вигляді рівняння квадратичної регресії адекватна реальному об'єкту.

Перейдемо в рівняння квадратичної регресії від кодованих факторів x_i до відповідних фізичних величин:

$$\begin{aligned} \tau = & 25,99 - 13,97 \left(\frac{t-65}{15} \right) - 3,22 \left(\frac{V-1}{0,5} \right) + 11,05 \left(\frac{W-20}{4} \right) + 4,29 \left(\frac{t-65}{15} \right)^2 - \\ & - 0,8 \left(\frac{V-1}{0,5} \right)^2 - 1,48 \left(\frac{W-20}{4} \right)^2 + 2 \left(\frac{t-65}{15} \right) \left(\frac{V-1}{0,5} \right) - 5,5 \left(\frac{t-65}{15} \right) \left(\frac{W-20}{4} \right) + \\ & + 0,5 \left(\frac{V-1}{0,5} \right) \left(\frac{W-20}{4} \right) = -18,81 + 0,0172t^2 - 3,2V^2 - 0,092W^2 - \\ & - 1,833t - 22,36V + 12,161W + 0,264tV - 0,091tW + 0,25VW \end{aligned} \quad (3.2)$$

За отриманим рівнянням регресії тривалості сушіння насіння пшениці знайдені поверхні відгуку від дії трьох факторів, які побудовані в графічній програмі Mathcad (рис. 3.28).

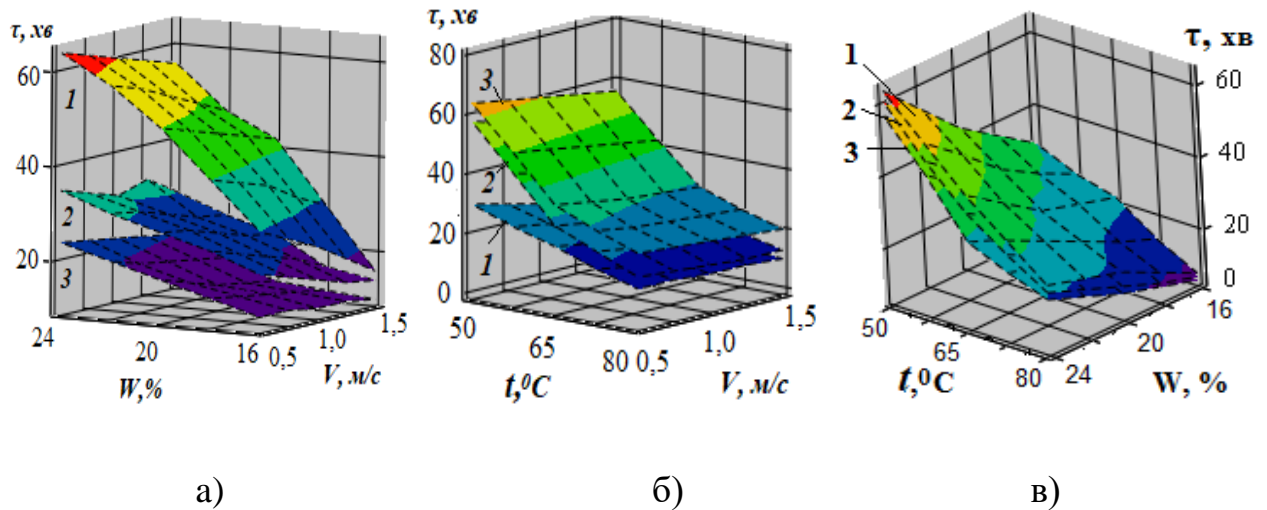


Рис. 3.28. Поверхні відгуку тривалості сушіння насіння пшениці від трьохфакторної дії:

а) температури теплоносія: 1 – 50°C; 2 – 65°C; 3 – 80°C

б) початкової вологості: 1 – 16%; 2 – 20%; 3 – 24%.

в) швидкість теплоносія: 1 – 0,5м/с; 2 – 1,0 м/с; 3 – 1,5 м/с

За результатами трьохфакторного експерименту за ортогональним композиційним планом другого порядку отримали рівняння квадратичної регресії в кодових змінних для схожості насіння пшениці:

$$\hat{y} = 102,92 - 42,17x_1 + 0,71x_2 - 3,09x_3 - 35,23x_1^2 - 5,64x_2^2 - 5,98x_3^2 + 1,25x_1x_2 - 3,125x_1x_3 - 1,1x_2x_3 \quad (3.3)$$

Розраховуємо дисперсію точки експерименту S_k^2 :

$$S_k^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m (y_{kl} - \bar{y}_l) = 8.$$

Оцінка дисперсії відтвореності визначається:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_k^2 = \frac{8}{15} = 0,53.$$

Після проведення дослідів проводимо перевірку відтвореність дослідів з використанням критерію Кохрена:

$$G_{\max} = \frac{S_{k\max}^2}{\sum_{k=1}^N S_k^2} = \frac{2}{8} = 0,25.$$

Для рівня значимості $\alpha = 1 - \gamma = 0,05$ при кількості ступенів вільності $\nu_1 = m - 1 = 2$, $\nu_2 = N = 15$ по таблицям знаходимо критичне значення статистики критерію: $G_{кр} = 0,3346$.

Так як $G_{\max} = 0,25 < G_{кр} = 0,3346$, то можна зробити висновок про відтвореність експерименту.

Оцінка дисперсії похибки для відповідних коефіцієнтів рівняння регресії визначається:

$$S_{a0}^2 = \frac{b_0}{m} S_y^2 + q^2 \sum_{i=1}^n S_{aii}^2 = \frac{0,0667}{3} \cdot 0,53 + 0,73^2 \cdot 0,041 \cdot 3 = 0,077; \quad S_{a0} = 0,27.$$

$$S_{ai}^2 = \frac{b_1}{m} S_y^2 = \frac{0,0913}{3} \cdot 0,53 = 0,016; \quad S_{a1} = S_{a2} = S_{a3} = 0,13.$$

$$S_{aii}^2 = \frac{b_3}{m} S_y^2 = \frac{0,2298}{3} \cdot 0,53 = 0,041, \quad S_{a11} = S_{a22} = S_{a33} = 0,21.$$

$$S_{aij}^2 = \frac{b_2}{m} S_y^2 = \frac{0,125}{3} \cdot 0,53 = 0,022; \quad S_{a12} = S_{13} = S_{23} = 0,15.$$

Приймаємо рівень значимості $\alpha = 1 - \gamma = 0,05$ і користуючись таблицями критерію Стьюдента для $\alpha = 0,05$ і $\nu = N(m - 1) = 30$, критичне значення статистики $t_{кр} = 2,04$.

Значення коефіцієнтів розраховуємо за критерієм Стьюдента і зводимо в табл. 3.9:

Визначення значимості коефіцієнтів регресії

a_i, a_{ii}, a_{ij}	$S_{ai}, S_{a_{ii}}, S_{a_{ij}}$	t_{ip}
$a_0 = 102,92$	0,27	365,96
$a_1 = -42,17$	0,13	324,38
$a_2 = 0,71$	0,13	5,46
$a_3 = -3,09$	0,13	23,77
$a_{11} = -35,24$	0,21	167,81
$a_{22} = -5,64$	0,21	26,85
$a_{33} = -5,98$	0,21	28,48
$a_{12} = 1,25$	0,15	7,5
$a_{13} = -3,125$	0,15	20,83
$a_{23} = -1,1$	0,15	7,5

В отриманому рівнянні регресії всі коефіцієнти значимі.

Приведене рівняння регресії показує, що всі факторами зазначені в рівнянні регресії є визначальними. Перевіримо правильність отриманого рівняння регресії. Для цього задамо значення факторів x_i , які відповідають першій строчці дослідів. Тоді:

$$\hat{y} = 102,92 - 42,71(-1) + 0,71(-1) - 3,09(-1) - 35,23(+1) - 5,64(+1) - 5,98(+1) + 1,25(+1) - 3,125(+1) - 1,1(+1) = 97,61 \quad (3.4)$$

Знаходимо оцінку дисперсії неадекватності:

$$S_{неад}^2 = \frac{1}{N-r} \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2 = \frac{1}{15-8} \cdot 8,1 = 1,15.$$

Перевірка адекватності математичної моделі результатами експерименту відбувається по F – критерію Фішера:

$$F_p = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2} = \frac{1,15}{0,53} = 2,18.$$

Для числа степені вільності $v_2 = N - r = 7$ і $v_1 = N(m - 1) = 30$ та рівня значимості $\alpha = 0,05$ по таблицям знаходимо критичне значення статистики Фішера $F_{кр} = 2,35$. Так як $F_p = 2,18 < F_{кр} = 2,35$, то математична модель у вигляді рівняння квадратичної регресії адекватна реальному об'єкту.

Перейдемо в рівняння квадратичної регресії від кодованих факторів x_i до відповідних фізичних величин:

$$\begin{aligned}
 C_{II} = & 102,92 - 42,71\left(\frac{t-65}{15}\right) + 0,71\left(\frac{V-1,0}{0,5}\right) - 3,09\left(\frac{W-20}{4}\right) - 35,23\left(\frac{t-65}{15}\right)^2 - 5,64\left(\frac{V-1,0}{0,5}\right)^2 \\
 & - 5,98\left(\frac{W-20}{4}\right)^2 + 1,25\left(\frac{t-65}{15}\right)\left(\frac{V-1,0}{0,5}\right) - 3,125\left(\frac{t-65}{15}\right)\left(\frac{W-20}{4}\right) - 1,1\left(\frac{V-1,0}{0,5}\right)\left(\frac{W-20}{4}\right) = \quad (3.5) \\
 = & -578,37 + 18,45t + 45,98V + 11,58W - 0,141t^2 - 22,56V^2 - 3,7W^2 + 0,17tV - 0,006tW - 0,006VW
 \end{aligned}$$

За отриманим рівнянням регресії схожості сушіння насіння пшениці знайдені поверхні відгуку від дії трьох факторів і побудовані в графічній програмі Mathcad (рис. 3.29).

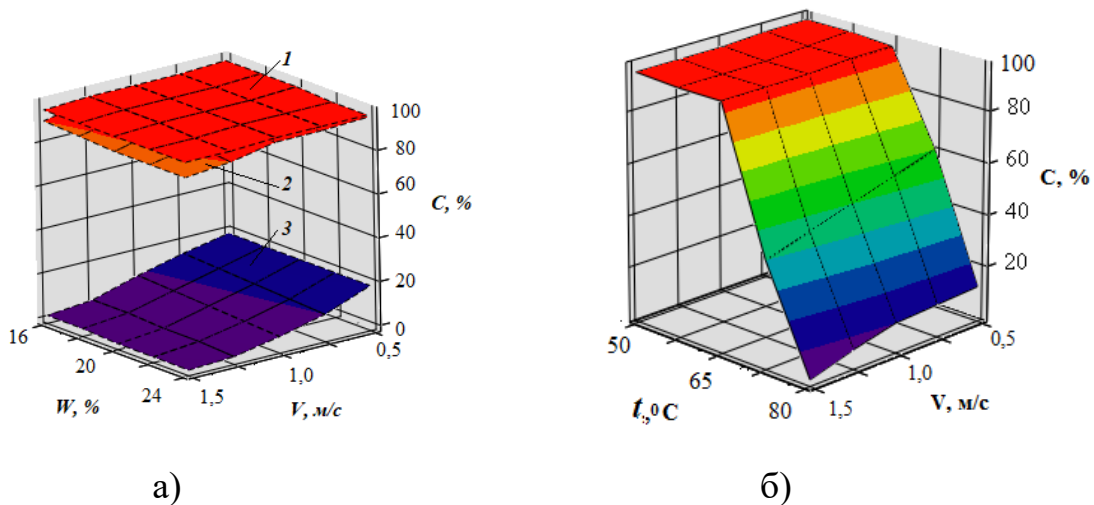


Рис. 3.29. Поверхні відгуку схожості насіння пшениці в елементарному шарі від трьохфакторної дії:

а) температури: 1 – 50°C; 2 – 65°C; 3 – 80°C; б) початкової вологості 20%.

За приведеними поверхнями відгуку описаними за ортогональним композиційним планом другого порядку можна знайти проміжні значення схожості насіння в залежності від зазначених факторів.

Аналогічно проводимо визначення рівняння регресії для визначення нагрівання насіння пшениці в кінці процесу.

Рівняння квадратичної регресії для визначення кінцевої температури нагрівання насіння пшениці запишемо наступним чином:

$$\hat{y} = 61,76 + 12,83x_1 + 0,56x_2 - 0,75x_3 - 0,45x_1^2 + 0,12x_2^2 + 0,16x_3^2 + 0,08x_1x_2 - 0,34x_1x_3 + 0,71x_2x_3. \quad (3.6)$$

Визначення значимості коефіцієнтів в рівнянні регресії розраховуємо за критерієм Стьюдента і заносимо в табл. 3.10:

Таблиця 3.10.

Визначення значимості коефіцієнтів регресії

a_i, a_{ii}, a_{ij}	$S_{ai}, S_{a_{ii}}, S_{a_{ij}}$	t_{ip}
$a_0 = 61,76$	0,27	228,74
$a_1 = 12,83$	0,13	98,69
$a_2 = 0,56$	0,13	4,31
$a_3 = -0,75$	0,13	5,77
$a_{11} = -0,45$	0,21	2,14
$a_{22} = -0,12$	0,21	0,57
$a_{33} = 0,16$	0,21	0,76
$a_{12} = 0,08$	0,15	0,53
$a_{13} = -0,34$	0,15	2,26
$a_{23} = 0,71$	0,15	4,73

Приймаємо рівень значимості $\alpha = 1 - \gamma = 0,05$ і користуючись таблицями критерію Стьюдента для $\alpha = 0,05$ і $\nu = N(m - 1) = 30$, критичне значення статистики $t_{kp} = 2,04$.

Із таблиці 3.10 видно, що коефіцієнти a_{22} , a_{33} , a_{12} які входять в рівняння 3.6, не значимі і виключаються із рівняння визначення кінцевої температури нагрівання насіння пшениці від впливу температури та швидкості руху теплоносія та початкової вологості насіння пшениці. Тоді рівняння регресії для визначення кінцевої температури нагрівання матеріалу, буде мати вигляд:

$$\hat{y} = 61,76 + 12,83x_1 + 0,56x_2 - 0,75x_3 + 0,71x_2x_3$$

Перейдемо в рівняння квадратичної регресії від кодованих факторів x_i до відповідних фізичних величин:

$$\begin{aligned} \theta_{II} &= 61,76 - 12,83 \left(\frac{t - 65}{15} \right) - 0,56 \left(\frac{V - 1}{0,5} \right) + 0,75 \left(\frac{W - 20}{4} \right) + 0,5 \left(\frac{V - 1}{0,5} \right) \left(\frac{W - 20}{4} \right) = \\ &= 15,94 + 12,83t - 5,98V - 0,543W + 0,355VW \end{aligned}$$

За отриманим рівнянням регресії нагрівання насіння пшениці знайдені поверхні відгуку від дії трьох факторів і побудовані в графічній програмі Mathcad (рис. 3.30).

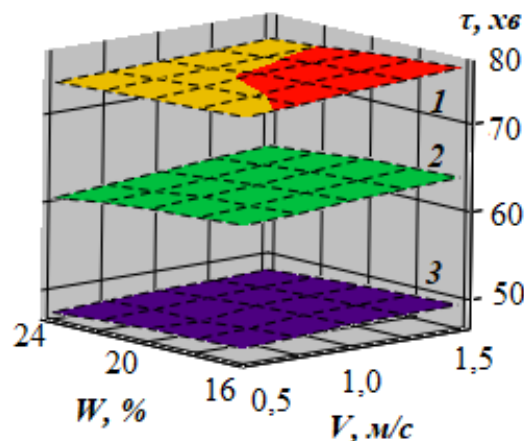


Рис. 3.30. Поверхні відгуку схожості насіння пшениці в елементарному шарі від трьохфакторної дії факторів: 1 – 50°C; 2 – 65°C; 3 – 80°C.

Аналогічно проводимо математичну обробку експериментальних даних для насіння вівса та ячменю і отримуємо рівняння регресії та поверхні відгуку. Результати статистично-математичних досліджень для сушіння насіння зернових культур зведено в табл. 3.11.

Побудова поверхонь тривалості сушіння, схожості та температури нагрівання насіння вівса та ячменю вказані в табл. 3.12, 3.13.

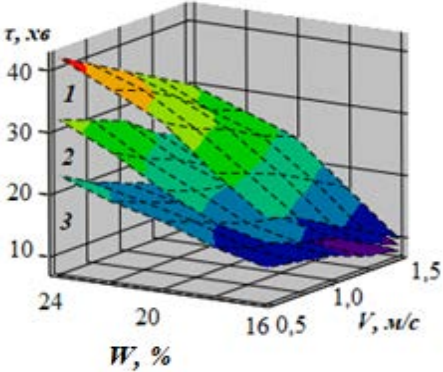
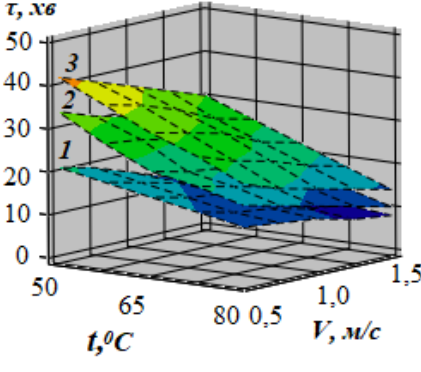
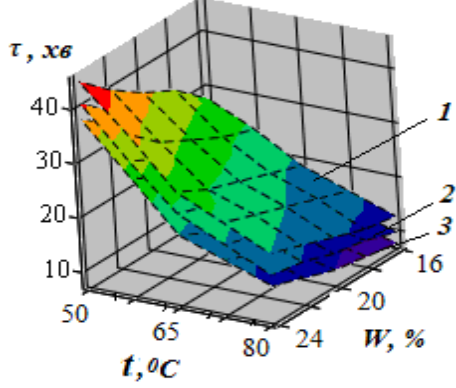
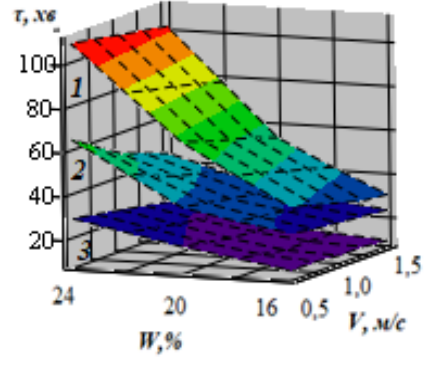
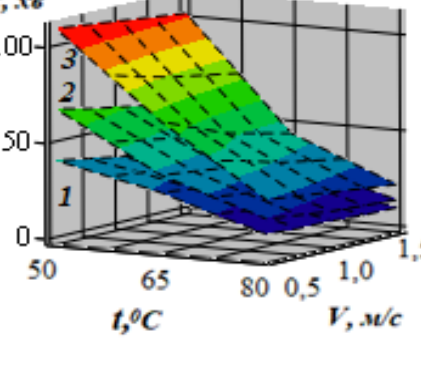
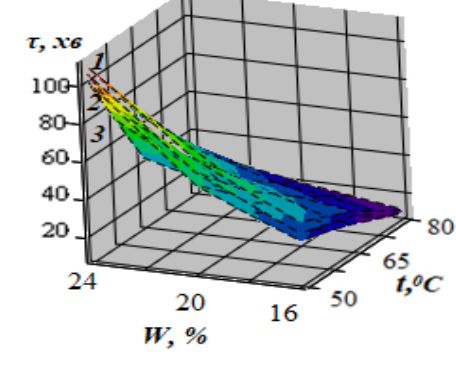
Таблиця 3.11.

Результати досліджень сушіння насіння зернових культур

№	Назва насіння	Назва рівняння	Рівняння регресії
1.	Пшениця	Тривалість сушіння	$\tau_{II} = -18,81 + 0,0172t^2 - 3,2V^2 - 0,092W^2 - -1,833t - 22,36V + 12,161W + 0,264tV - 0,091tW + 0,25VW$
		Схожість насіння	$C_{II} = -578,37 + 18,45t + 45,98V + 11,58W - 0,141t^2 - 22,56V^2 - 3,7W^2 + 0,17tV - 0,006tW - 0,006VW$
		Температура нагрівання насіння	$\theta_{II} = 15,94 + 12,83t - 5,98V - 0,543W + 0,355VW$
2.	Овес	Тривалість сушіння	$\tau_B = -48,09 - 4V^2 + 0,483t - 1,64V + 5,335W + 0,132tV - 0,05tW - 0,375VW$
		Схожість насіння	$C_B = -617,92 + 16,91t + 67,11V + 15,32W - 0,112t^2 - 31,4V^2 - 4,07W^2 - 0,2tV - 0,017tW$
		Температура нагрівання насіння	$\theta_B = 24,18 + 0,004t^2 + 0,333t + 0,76V - 0,148W$
3.	Ячмінь	Тривалість сушіння	$\tau_{Я} = -17,39 + 0,019t^2 + 6,88V^2 + 0,317W^2 + 0,086t - 24,3V + 6,928W + 0,132tV - 0,227tW - 0,25VW$
		Схожість насіння	$C_{Я} = -612,8 - 0,127t^2 - 27,52V^2 - 0,51W^2 + 16,758t + 55,04V + 23,848W - 0,064tW$
		Температура нагрівання насіння	$\theta_{Я} = 8,19 + 0,85t - 0,68V - 0,12W$

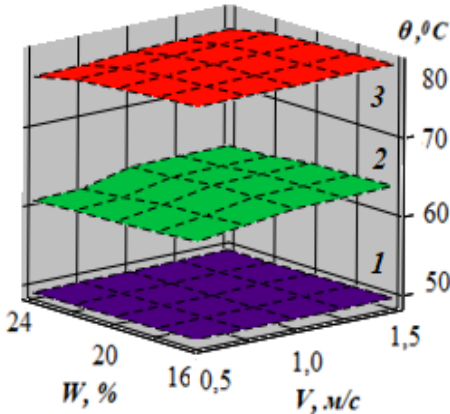
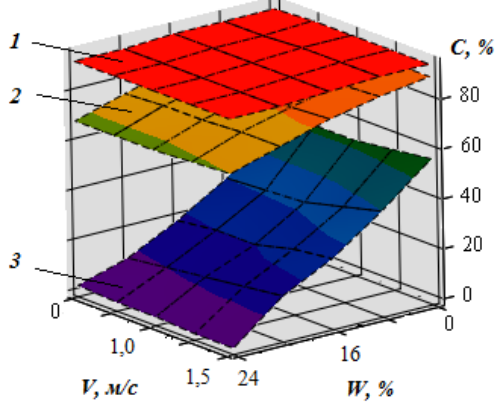
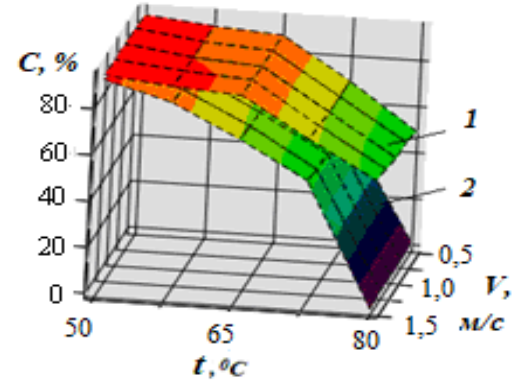
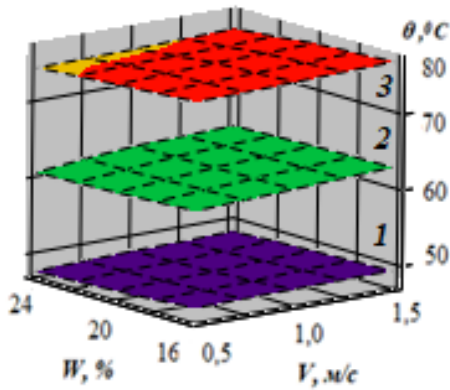
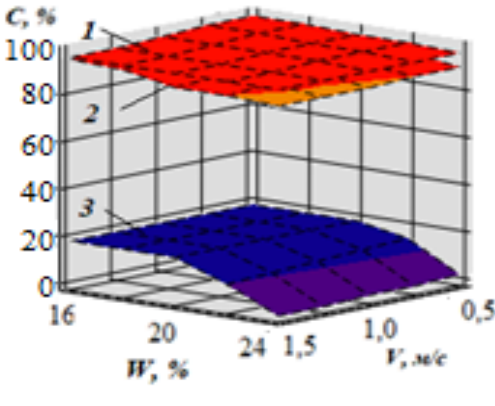
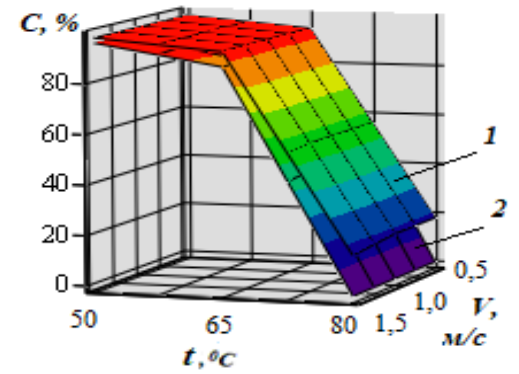
Таблиця 3.12.

Побудова поверхонь відгуку тривалості сушіння насіння вівса та ячменю

№	Назва насіння	Поверхні відгуку тривалості сушіння насіння від впливу		
		температури теплоносія	початкова вологість насіння	швидкість руху теплоносія
1.	Овес			
2.	Ячмінь			
Позначення		1 – 50°C; 2 – 65°C; 3 – 80°C	1 – 16%; 2 – 20%; 3 – 24%	1 – 0,5 м/с; 2 – 1,0 м/с; 3 – 1,5 м/с

Таблиця 3.13.

Побудова поверхонь відгуку схожості та температури нагрівання вівса та ячменю від трьохфакторного впливу

№	Назва насіння	Температура нагрівання насіння	Схожість насіння від впливу	
			температури теплоносія	початкової вологості насіння
1.	Овес			
2.	Ячмінь			
Позначення		1 – 50°C; 2 – 65°C; 3 – 80°C	1 – 50°C; 2 – 65°C; 3 – 80°C	1 – 16%; 2 – 24%

3.2. Дослідження ступеневих режимів сушіння і якості насіння зернових та олійних культур (пшениці, вівса, ячменю та сої)

Ступеневі режими сушіння не вперше запропоновувались для сушіння насіння зернових культур. Так в роботах Підпрятова Г.І. [14] та Коваленко О.А. [195] для сушіння насіння рекомендовано ступеневі високотемпературні режими сушіння 80/100 та 80/120°C, що дають схожість насіння на рівні 63 – 81%.

Попередні дослідження із сушіння зернових культур на конвективному сушильному стенді вказали на досить високі результати схожості при низькотемпературному сушіння, зокрема при температурі теплоносія 50°C. Але при цьому режимі сушіння відбувається великі витрати енергії, що потрібно зменшувати.

Застосування ступеневих режимів сушіння дасть можливість не тільки зменшити витрати енергії, а і вплив теплової обробки насіння із зменшенням проведення процесу. Введення ступеневих режимів сушіння можливо на відрізьку від температури теплоносія 50 до 65°C (рис. 3.5, 3.13), де ще не відбувається не зворотних процесів втрати схожості.

Застосування ступеневого режиму сушіння застосовували для насіння зернових культур, таких як озима пшениця сорту «Подольська», овес сорту «Зоряний» та ячмінь сорту «Барвистий».

Разом із запропонованими ступеневими режимами сушіння проводились дослідження із визначення якісних характеристик, що і підтверджували доцільність застосування цих режимів.

На рис. 3.31 приведено кінетики процесу та температура нагрівання насіння пшениці при сушінні в ступеневому режимі в порівнянні із режимами при температурі теплоносія 50, 65 та 80°C.

Порівнюючи кінетику процесу ступеневого режиму 65/50°C та режиму сушіння 50°C тривалість процесу сушіння зменшується на 83%, а в порівнянні з режимом 65°C тривалість сушіння збільшується на 14%.

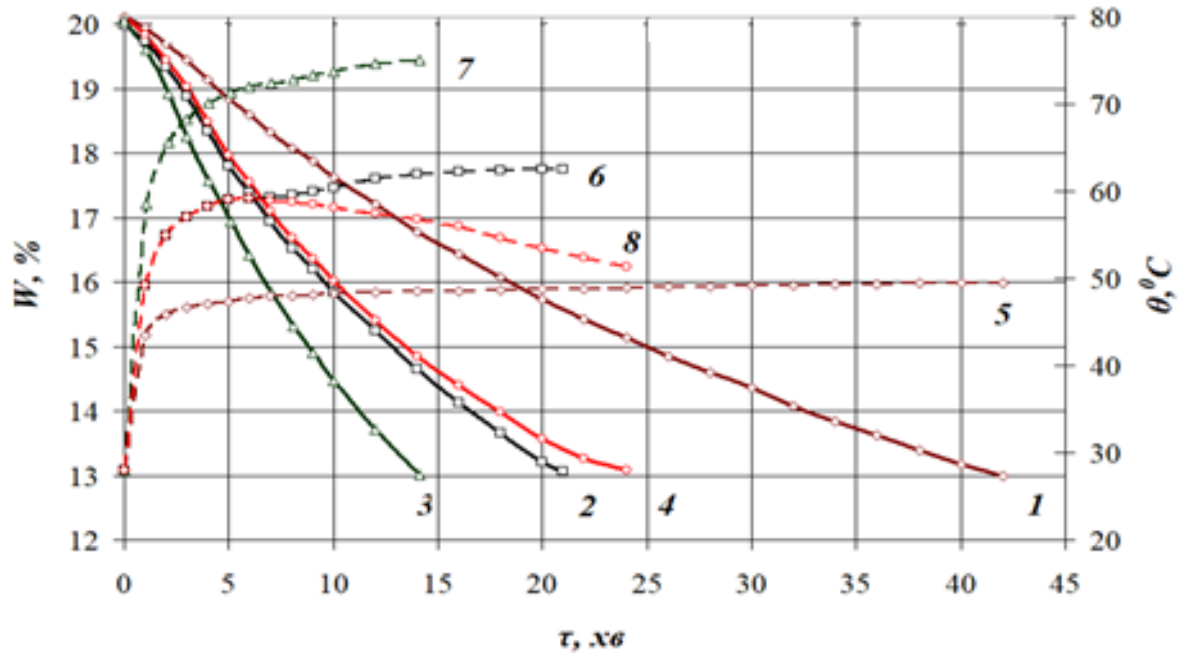


Рис. 3.31. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння пшениці:

$$W_n = 20\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм.}$$

$$1,5 - 50^\circ\text{C}, 2,6 - 65^\circ\text{C}, 3,7 - 80^\circ\text{C}, 4,8 - 65/50^\circ\text{C}.$$

Як видно з рис. 3.31, на початку процесу сушіння температура нагрівання насіння пшениці в ступеневому режимі сушіння відбувалось на протязі 5 хв, потім різко зменшували температуру теплоносія до 50°C . Максимальна температура прогрівання матеріалу на початку процесу при температурі теплоносія 65°C склало $59,18^\circ\text{C}$ і поступово знижувалось до кінцевого значення $51,32^\circ\text{C}$, при граничнодопустимій температурі нагрівання в кінці процесу $54,1^\circ\text{C}$ (рис. 3.5).

На початку процесу сушіння ступеневий режим сушіння наближений до температурного режиму 65°C , а потім відбувається зниження швидкості сушіння (рис. 3.32). Представлені криві швидкості сушіння вказують на доцільність введення ступеневого режиму, що перевищує швидкість сушіння при температурі 50°C на 76%.

Аналізуючи ступеневий режим сушіння, можна сказати про значно вищі швидкості видалення вологи із матеріалу, що значно прискорює сушіння пшениці.

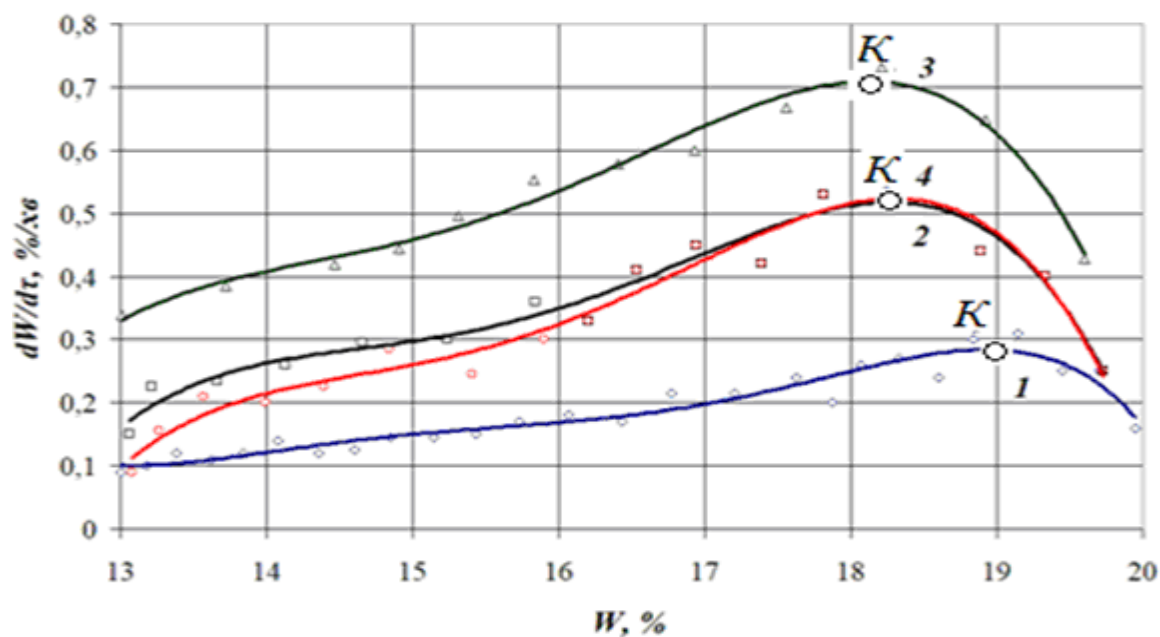


Рис. 3.32. Зміна температури в середині пшениці в залежності від температури теплоносія $V = 1,5$ м/с; $d = 10$ г/кг с. п.:
1 – 50°C , 2 – 65°C , 3 – 80°C , 4 – $65/50^{\circ}\text{C}$.

Проведені лабораторні дослідження схожості насіння пшениці на 7 день показали, що найкраще з всіх запропонованих режимів сушіння є ступеневий режим $65/50^{\circ}\text{C}$, в якому схожість складає 100% (рис. 3.33).

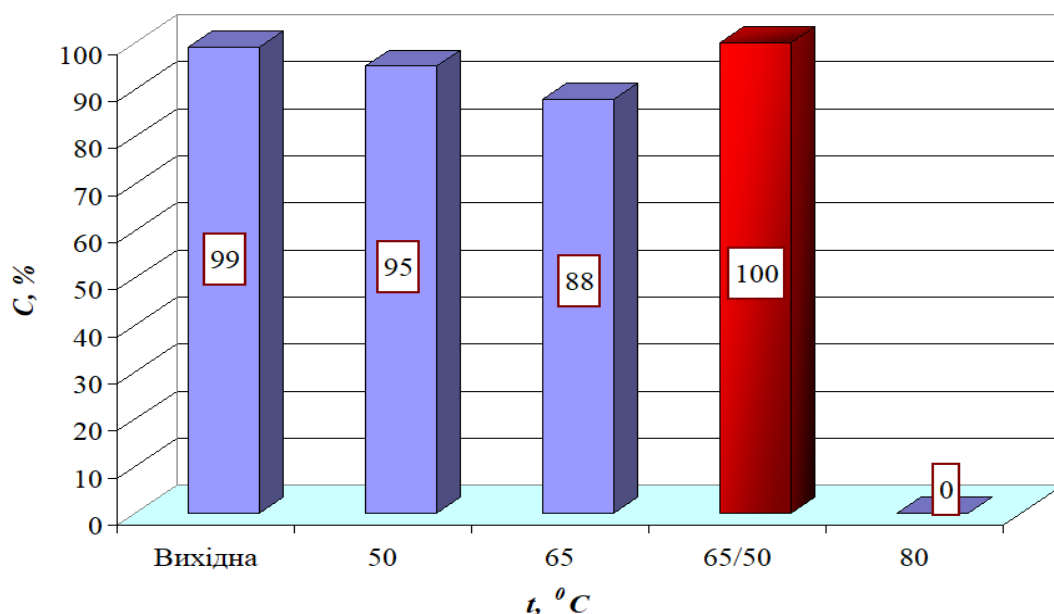


Рис. 3.33. Вплив температури теплоносія на схожість насіння пшениці на 7 день пророщування:
 $W_n = 24\%$, $V = 1,5$ м/с, $d = 10$ г/кг с. п

Порівнюючи ступеневий режими сушіння 65/50 та 50°C, кращі сходи спостерігаються при ступеновому режимі сушіння насіння пшениці, навіть краще чим у вихідного зерна (рис. 3.34).

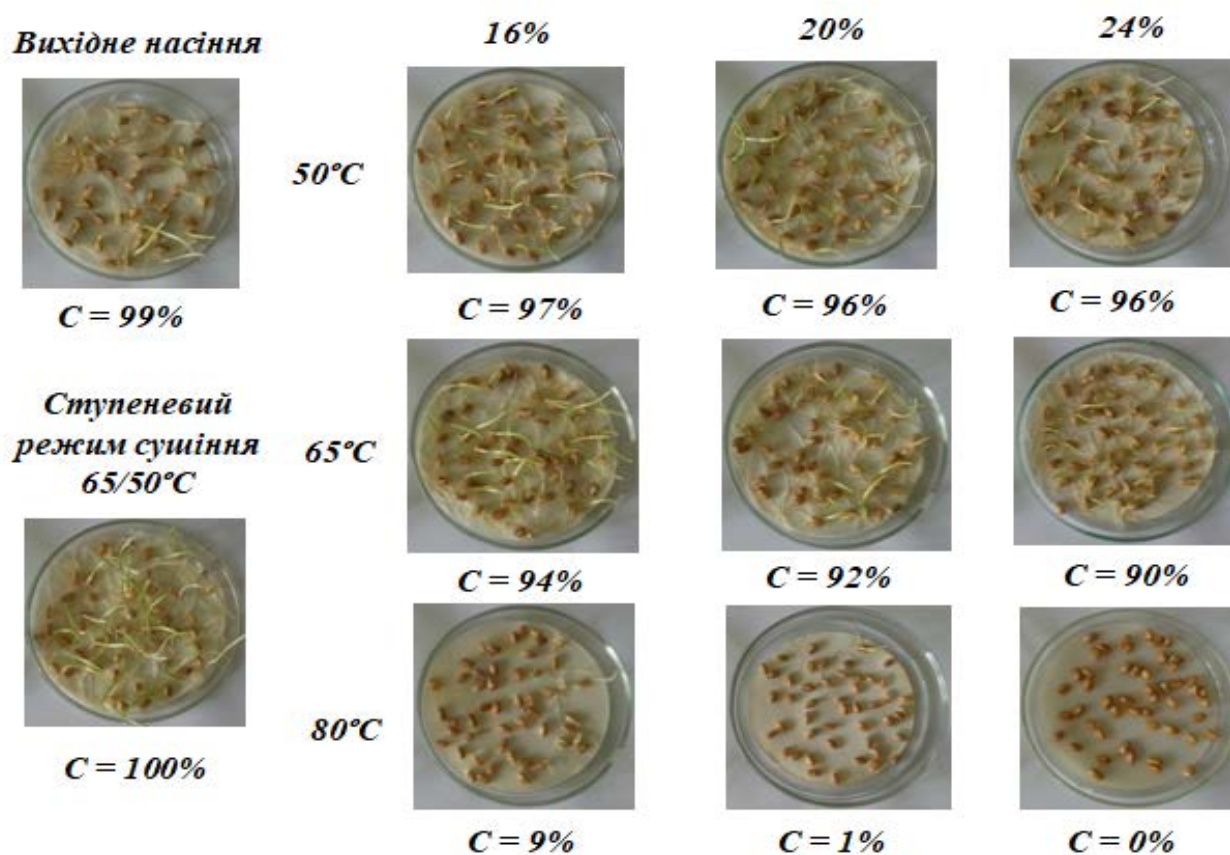


Рис. 3.34. Аналіз схожості насіння пшениці сорту «Подолька» на 7 день пророщування

(від температури теплоносія та початкової вологості насіння)

Витрати теплоти на експериментальному сушильному стенді при сушінні насіння пшениці приведено у відносних координатах (рис. 3.35).

Якщо взяти за 100% витрати при температурі теплоносія 50°C, зменшення витрат теплоти при підвищенні температури теплоносія на сушіння насіння пшениці відбувається за рахунок зменшення тривалості сушіння матеріалу. Низькі енерговитрати на процес сушіння в ступеновому режимі сушіння, пов'язано із швидким прогріванням матеріалу в сушильній камері при температурі 65°C і поступовим зниженням температури теплоносія до температури 50°C, при якому не відбувається витрати енергії на сушіння матеріалу (рис. 3.35)

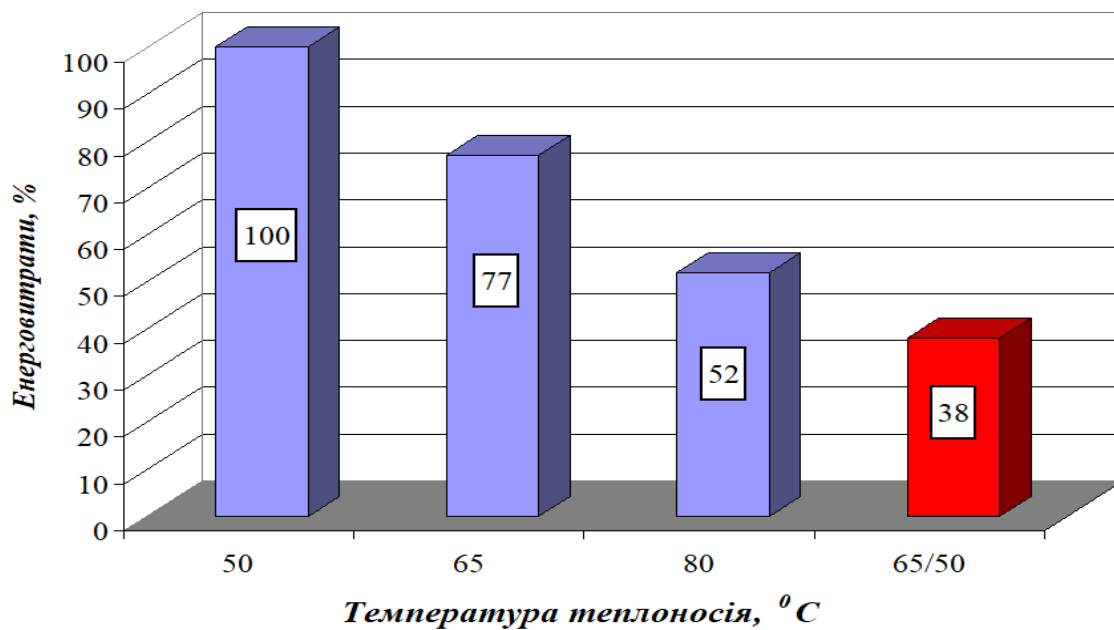


Рис. 3.35. Зміна енерговитрат на сушіння насіння пшениці від температури теплоносія:

$$Wn = 20\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм}$$

На рис. 3.36 представлені співставлення ступеневих режимів 65/50°C сушіння насіння ячменю, пшениці та вівса на тривалість сушіння.

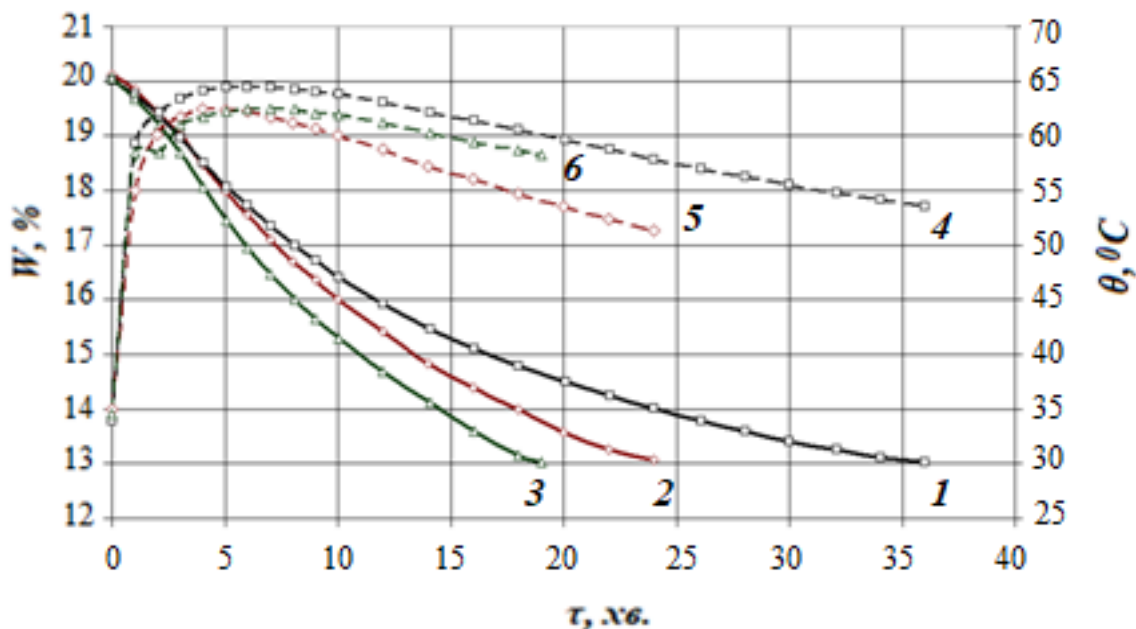


Рис. 3.36. Порівняння ступеневих режимів насіння ячменю, пшениці та вівса на тривалість сушіння:

$$t = 65/50^\circ\text{C}, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм}, :$$

1,4 – ячмінь, 2,5 - пшениця, 3,6 – овес

Процес сушіння представлених зернових культур в ступеневому режимі сушіння 65/50°C найшвидше відбувається для насіння вівса і складає 19 хв, найдовше для насіння ячменю 37 хв.

Кінцева температура нагрівання вівса вища за температуру нагрівання представлених зернових культур.

Сушіння насіння зернових культур в ступеневих режимах сушіння проходить в період падаючої швидкості сушіння. Максимальна швидкість сушіння зміщується в бік зменшення вологості матеріалу в точці К (рис. 3.37).

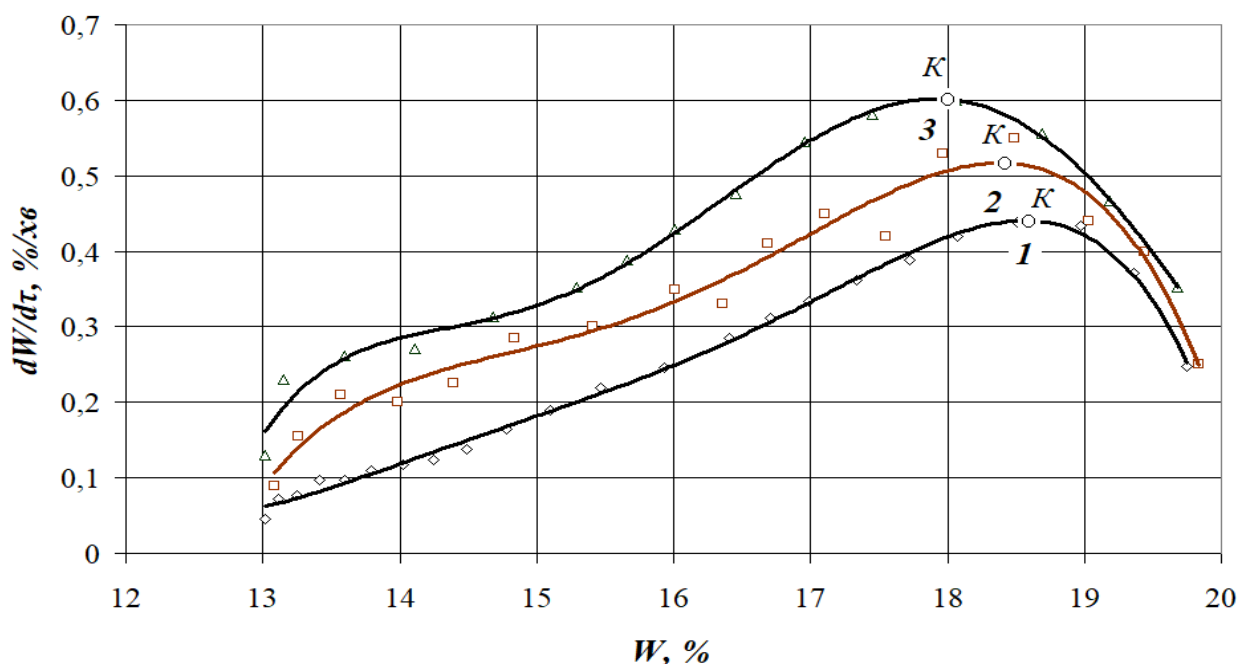


Рис. 3.37. Вплив ступінчатих режимів на швидкість сушіння насіння ячменю, пшениці та вівса:

$$t = 65/50^{\circ}\text{C}, V = 1,5 \text{ м/с}, \delta = 2 \text{ мм}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}$$

1 – ячмінь, 2 - пшениця, 3 – овес.

Для порівняння ступеневих режимів представимо кінетику сушіння насіння ячменю при наступних режимах: 65/50°C, 80/відл./65°C, 80/65°C (рис. 3.38).

Найбільш інтенсивний ступеневий режим сушіння 80/65°C, він відрізняється від режиму сушіння 80/відл./65°C на 5 хв, тобто на час відлежування насіння. Під час відлежування руху теплоносія в сушильній камері припиняється і відбувається значне сповільнення видалення вологи з

насіння, а основним процесом йде перерозподіл теплоти та вологи в самій зернині. Також можна спостерігати, що в режимі відлежування крива кінетики сушіння зміщується в сторону кривої сушіння 65/50°C, в область високої схожості матеріалу.

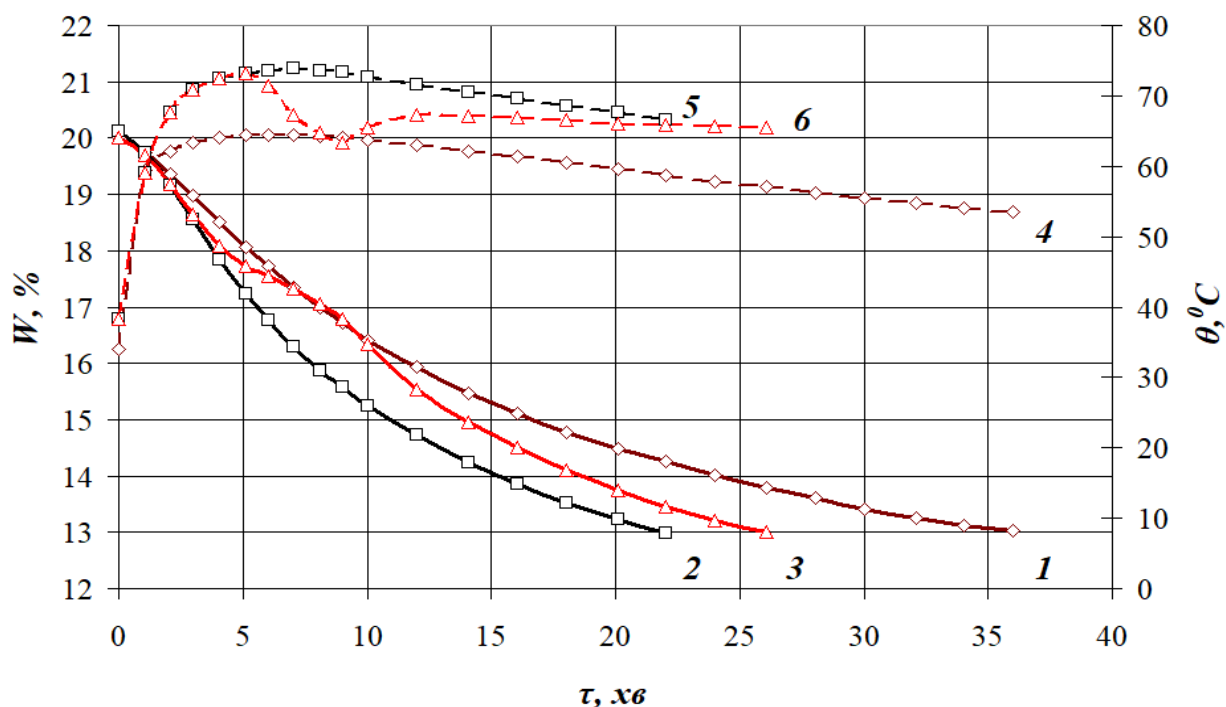


Рис. 3.38. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння ячменю в ступеневих режимах:

$$V = 1,5 \text{ м/с}; d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

$$1 - 65/50^\circ\text{C}, 2 - 80/\text{відл.}/65^\circ\text{C}, 3 - 80/65^\circ\text{C}.$$

Представлені температурні криві в ступеневих режимах сушіння 65/50°C та 80/65°C, вказує на проходження процесу нагрівання та охолодження насіння із сушінням по ходу процесу.

В ступеневому режимі сушіння 80/відл./65°C крім зазначених процесів, існує процес відлежування, що на кривих спостерігається як «температурна яма», зниження температури відбувається від температури нагрівання насіння 74 °C на 15°C через 5 хв від початку. На 9 хвилині відбувається перехід до режиму сушіння 65°C – температура різко піднімається і потім поступово знижується.

Криві швидкості сушіння насіння ячменю в ступеневих режимах сушіння представлені на рис. 3.39.

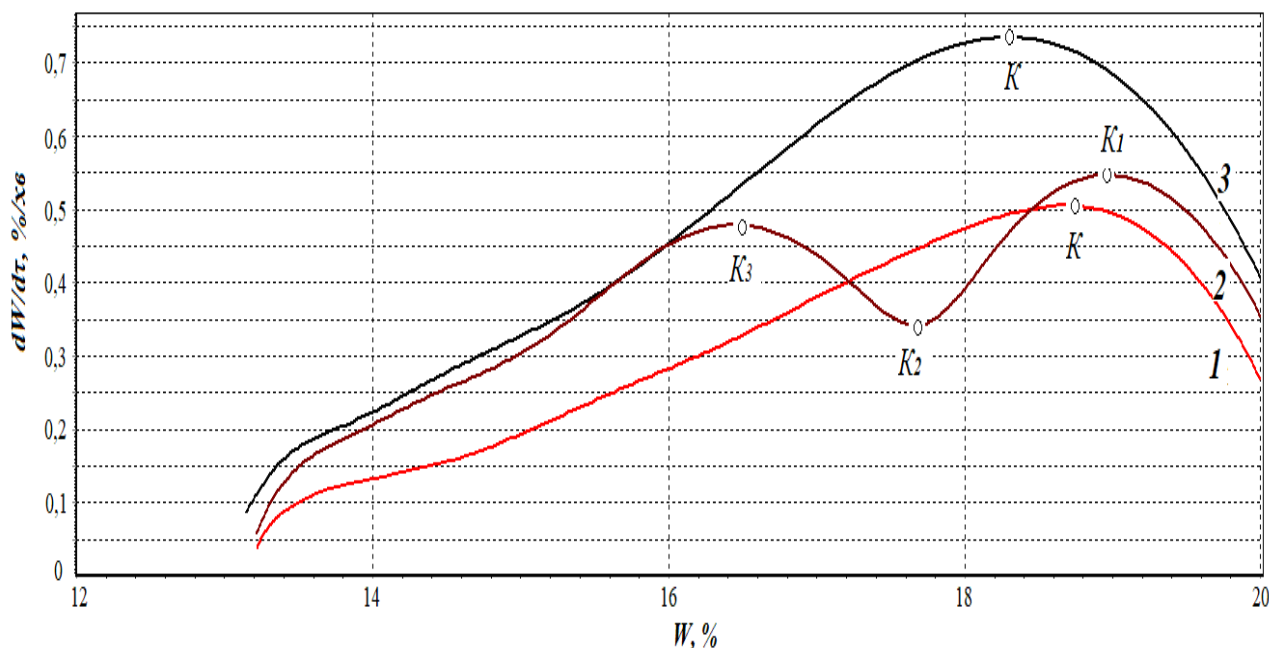


Рис. 3.39. Вплив температури теплоносія на швидкість сушіння насіння ячменю в ступеневих режимах:

$$V = 1,5 \text{ м/с}; d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

1 – 65/50°C, 2 – 80/відл./65°C, 3 – 80/65°C.

Характер кривих сушіння 65/50°C і 80/65°C не відрізняються від наведених раніше кривих сушіння в одноступеневих режимах. Найбільш інтенсивний режим сушіння 80/65°C, він більший за режим сушіння 65/50°C на 0,24%/хв.

В ступеневому режимі сушіння 80/відл./65°C відбувається двох кратна зміна періоду нагрівання та падаючої швидкості сушіння із зменшенням швидкості сушіння із критичною вологістю $K_1 - K_3$.

Для порівняння одноступеневих та багатоступеневих режимів проводимо дослідження на якісні показники насіння ячменю і зводимо в табл. 3.14.

Наведені результати схожості вказує на отримані гарні результати в режимах сушіння 50°C та 65/50°C. Але виходячи із підвищення енергоефективності процесу найбільш доцільно вибрати двоступеневий режим сушіння 65/50°C.

В режимі сушінні 4 та 6 не відбувається схожості насіння ячменю при температурі теплоносія 80°C та ступеневому 80/65°C, хоча ступеневий режим сушіння 80/відл./65°C має досить високу схожість на рівні 90%.

Таблиця 3.14.

Аналіз схожості насіння ячменю сорту «Барвистий»
від режимів сушіння на 7 день

Режим сушіння	Схожість
№ 1. Вих. сировина	100
№ 2. $t = 50^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{II}} = 20\%$, $V = 1,5 \text{ м/с}$	98
№ 3. $t = 65^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{II}} = 20\%$, $V = 1,5 \text{ м/с}$	94
№ 4. $t = 80^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{II}} = 20\%$, $V = 1,5 \text{ м/с}$	0
№ 5. $t = 65/50^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{II}} = 20\%$, $V = 1,5 \text{ м/с}$	99
№ 6. $t = 80/65^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{II}} = 20\%$, $V = 1,5 \text{ м/с}$	0
№ 7. $t = 80/\text{відл.}/65^{\circ}\text{C}$, $W_{\text{II}} = 20\%$, $V = 1,5 \text{ м/с}$	90

В підтверджені до даних схожість насіння ячменю представлені фотографії пророщування ячменю на 7 день (рис. 3.40).

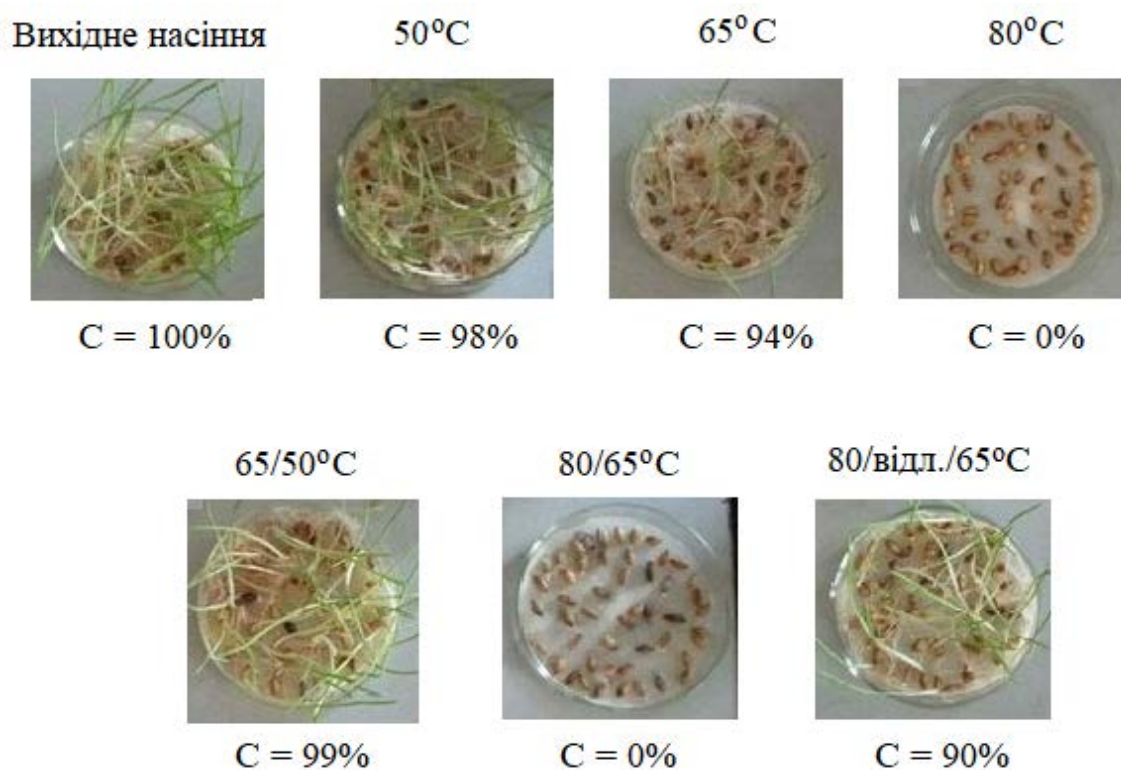


Рис. 3.40. Схожість насіння ячменю сорту «Барвистий»
від зміни режиму сушіння на 7 день пророщування

Можна також зазначити, що найбільш сильні ростки спостерігаються при температурі 50°C та ступеневому режиму сушіння 65/50°C. Як видно з рис. 3.40 всі насінневі властивості в ячмені зникають при 80°C і в ступеневому режимі 80/65°C. Ступеневий режим сушіння 80/65°C показує, що вплив температури теплоносія 80°C на протязі 10 хв знищує всі насінневі властивості (рис. 3.38).

В режимі сушіння з відлежуванням 80/відл./65°C вплив температури теплоносія 80°C відбувався на протязі 5 хв, що дозволило зберегти схожість насіння на рівні 90% (рис. 3.38, рис. 3.40).

Особливість сушіння насіння сої полягає в тому, що зернівка повільно віддає вологу і легко травмується від механічного впливу. Крім того, оболонка сої висихає швидше чим ядро, починає збільшуватись і під тиском ядра розривається в наслідок чого сім'ядолі розділяються. Сушіння насіння сої застосовують в бункерах для вентилявання, камерних, лоткових, конвеєрних та тунельних сушарках.

За результатами літературного огляду зрозуміло, що для кращої якості насіння сої більшість дослідників схиляються до сушіння при температурі теплоносія 38°C і нижче, хоча є дослідження які вказують на можливість підвищення температури навіть до 60°C [11, 17 - 21].

Враховуючи зазначене вище, приймаємо необхідний діапазон температур для сушіння насіння сої 40 - 60°C із застосування ступеневих режимів сушіння.

Кінетику процесу сушіння насіння сої сорту «Княжна» представлено на рис. 3.41.

Сушіння насіння сої в елементарному шарі на конвективному сушильному стенді показало, що процес сушіння йде повільніше ніж чим при сушінні зернових культур наведених вище.

Із підвищенням температури тривалість сушіння суттєво зменшується, так при збільшенні температури на 20°C (від 40 до 60°C) тривалість зменшується на 100 хв, або на 70% від загального часу.

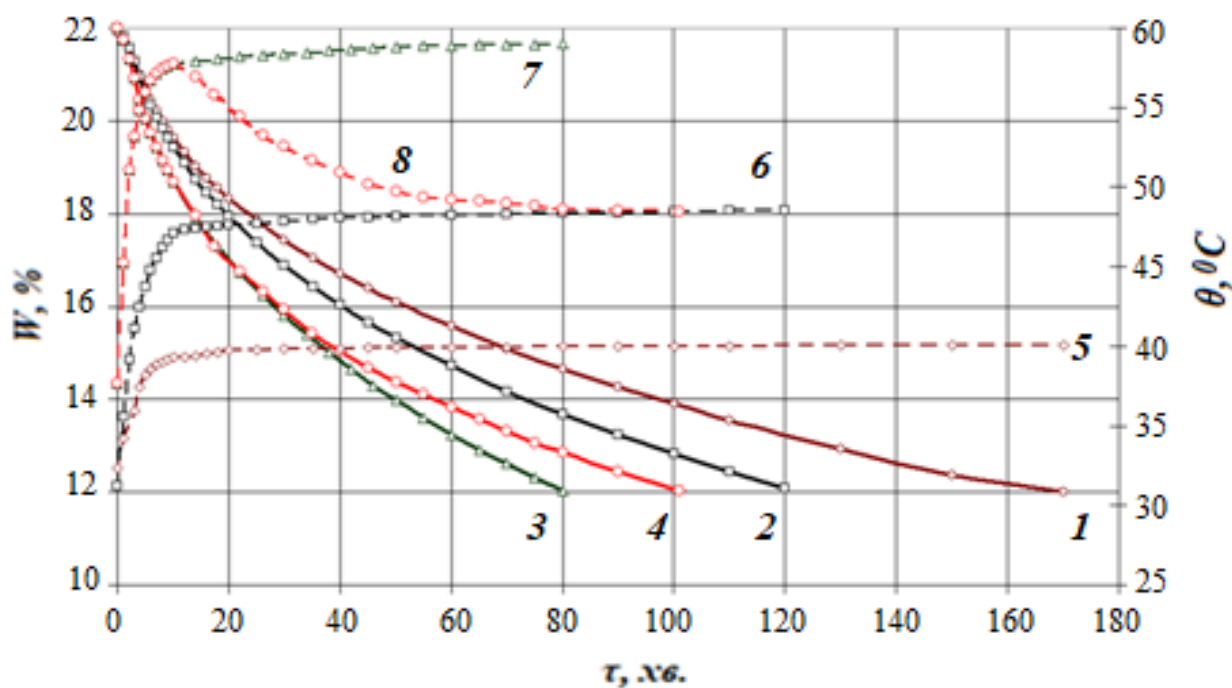


Рис. 3.41. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння сої:

$$W_n = 22\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм.}$$

1 – 40°C, 2 – 50°C, 3 – 60°C, 4 – 60/50°C.

Інтенсивність процесу сушіння насіння сої можна досягнути застосуванням ступеневого режиму 60/50°C, визначення доцільності застосування цього режиму напряму пов'язано із якістю матеріалу. Реалізація ступеневого режиму дозволило знизити температуру сушіння в області низької вологості матеріалу, що позитивно впливає на насінніві властивості матеріалу, а також дозволяє прискорити процес на 23%.

В ступеновому режимі сушіння 60/50°C температура насіння сої змінюється наступним чином: прогрівання насіння до температури 60°C – 8 хв, перехід до температури 50°C – 22 хв, сушіння при температурі 50°C – 71 хв. Тобто біля 70% часу відбувається сушіння при температурі теплоносія 50°C.

З підвищенням температури теплоносія максимальна швидкість сушіння збільшується, так при температурі 40°C швидкість сушіння складає 0,3%/хв, збільшення температури до 60°C підвищує швидкість сушіння до 0,47%/хв. Також відбувається зміщення критичної точки при збільшенні температури в бік зменшення вологості від 21,1 – 20,7% (рис. 3.42).

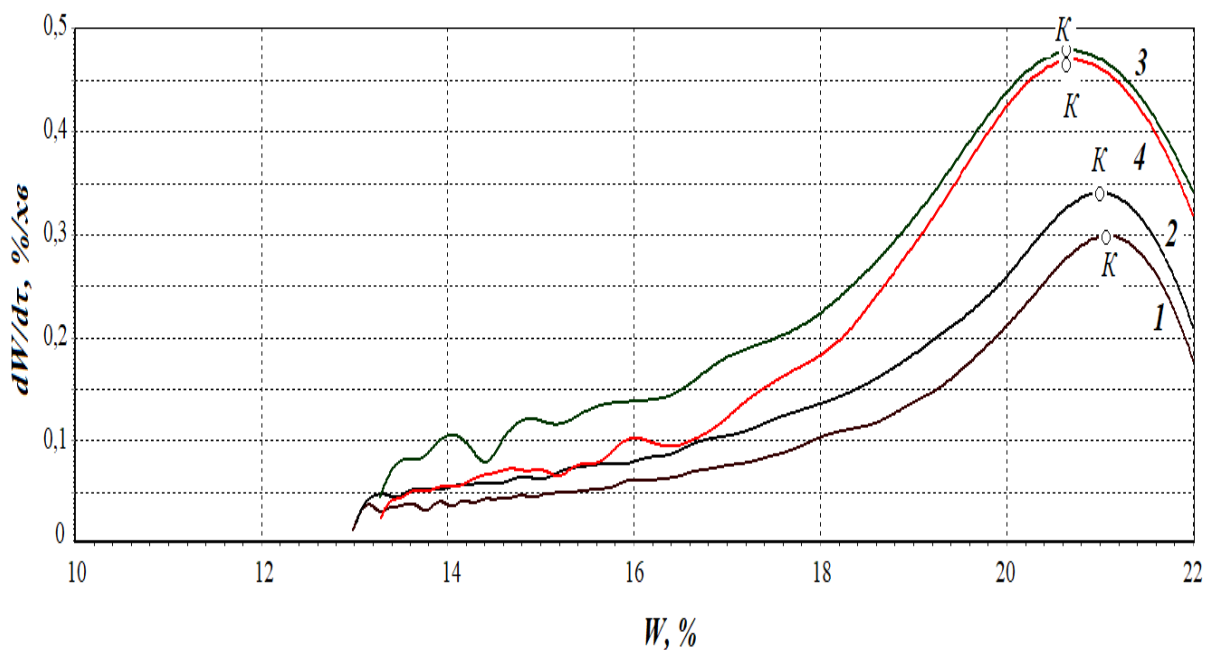


Рис. 3.42. Вплив температури теплоносія на швидкість сушіння насіння сої:

$Wn = 22\%$, $V = 1,5$ м/с, $d = 10$ г/кг с. п., $\delta = 2$ мм:

1 – 40°C, 2 – 50 °C, 3 – 60°C, 4 – 60/50°C.

На рис. 3.43 вказані результати досліджень із схожості насіння сої сорту «Княжна» від режимів сушіння на 7 день пророщування.

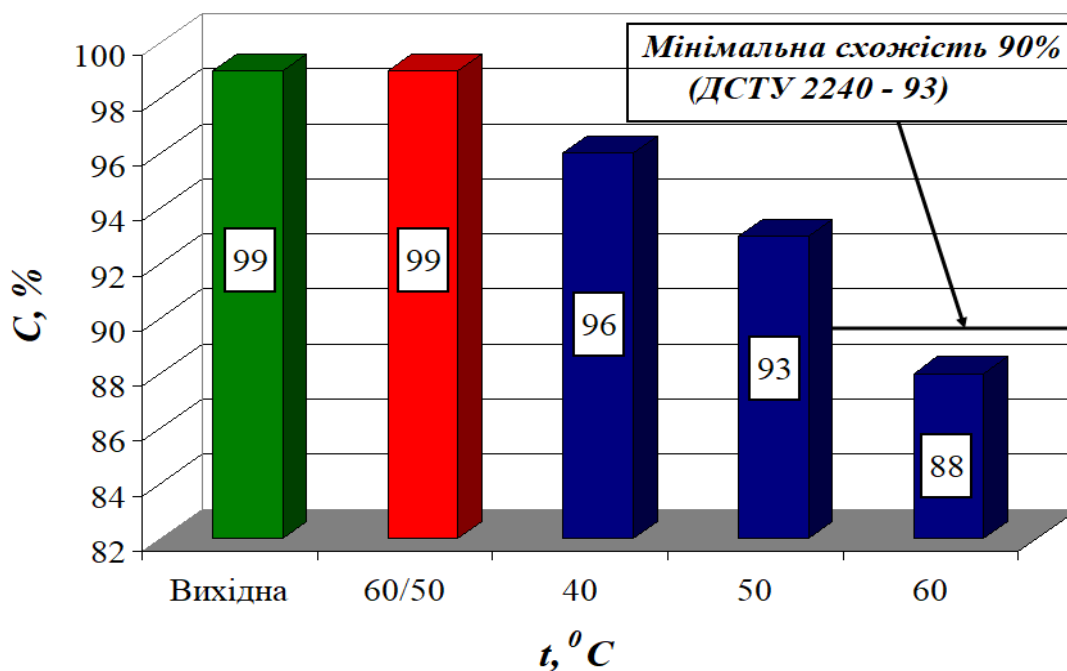


Рис. 3.43. Вплив температури теплоносія на схожість насіння сої на 7 день пророщування $Wn = 22\%$, $V = 1,5$ м/с, $d = 10$ г/кг с. п

При аналізі схожості насіння сої сорту «Княжна» можна зазначити високу схожість в ступеневому режимі 60/50°C на рівні 99%, у всіх інших зазначених режимів схожість нижче. Навіть при температурі 40°C схожість складає 96%, що нижче на 3% від схожості в ступеневому режимі сушіння 60/50°C.

Візуально оцінити схожість насіння сої сорту «Княжна» можна із рис. 3.44.

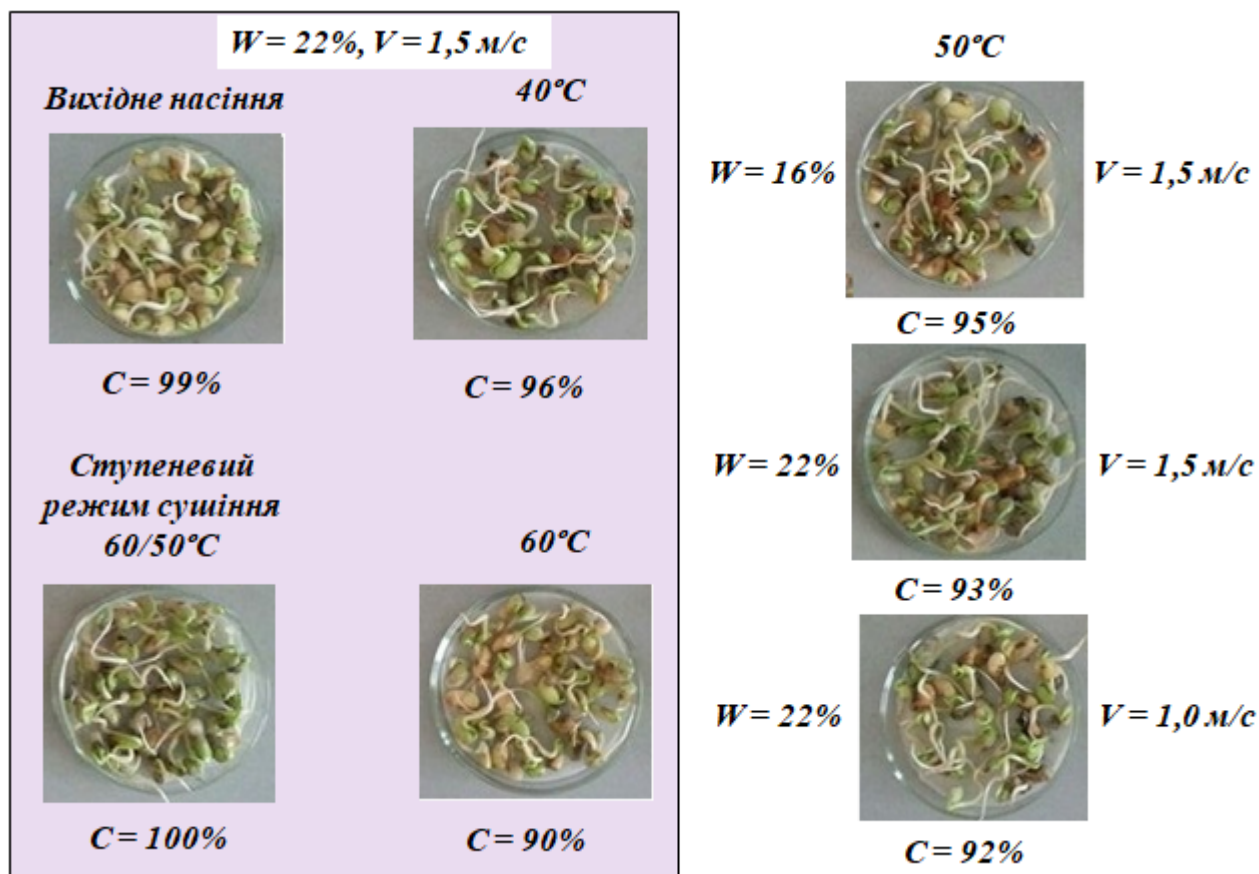


Рис. 3.44. Фотографії схожості насіння сої сорту «Княжна» на 7 день пророщування від впливу режимів сушіння

На рис. 3.44 в рамці показана зміна схожості насіння сої від впливу температури теплоносія при початковій вологості 22% та швидкості руху теплоносія 1,5 м/с. Оцінюючи візуально схожість спостерігаємо вищу схожість за вихідну, тобто теплова обробка в ступеневому режимі 60/50°C покращує насінніві властивості матеріалу.

Також розглянута зміна якості насінневого матеріалу при температурі теплоносія 50°C від зміни початкової вологості та швидкості руху теплоносія.

Підвищення температури теплоносія на 10°C, в діапазоні температур 40 - 60°C, знижує схожість насіння сої на 3%. Збільшення початкової вологості

від 16 до 22% при температурі теплоносія 50°C зменшує схожість на 2%, а зміна швидкості від 1,5 до 1,0 м/с на 1%. Для більш детального аналізу режимів сушіння вівса, ячменю, та сої на схожість зводимо в таблицю 3.15.

Таблиця 3.15.

Аналіз схожості насіння вівса, ячменю та сої на 7 день пророщування від режиму сушіння

№	Культура, режим сушіння	С, %	№	Культура, режим сушіння	С, %	№	Культура, режим сушіння	С, %
1	Овес Вихідне зерно	99	7	Ячмінь Вихідне зерно	100	14	Соя Вихідне зерно	99
2	Овес t = 50°C, W = 20%, V = 1,5 м/с	98	8	Ячмінь t = 50°C, W = 20%, V = 1,5 м/с	98	15	Соя t = 40°C, W = 22%, V = 1,5 м/с	96
3	Овес t = 65°C, W = 20%, V = 1,5 м/с	90	9	Ячмінь t = 65°C, W = 20%, V = 1,5 м/с	94	16	Соя t = 50°C, W = 16%, V = 1,5 м/с	95
4	Овес t = 80°C, W = 20%, V = 1,5 м/с	20	10	Ячмінь t = 80°C, W = 20%, V = 1,5 м/с	0	17	Соя t = 50°C, W = 22%, V = 1,5 м/с	93
5	Овес t = 65...50 °С, W= 20%, V =1,5 м/с	98	11	Ячмінь t = 65...50 °С, W= 20%, V =1,5 м/с	99	18	Соя t = 50°C, W = 22%, V = 1,0 м/с	92
6	Овес t = 80...65 °С, W= 20%, V =1,5 м/с	50	12	Ячмінь t = 80...65°C, W= 20%, V =1,5 м/с	0	19	Соя t = 60°C, W = 22%, V = 1,5 м/с	88
			13	Ячмінь t = 80 / відл. / 65°C, W= 20%, V =1,5 м/с	90	20	Соя t = 60...50°C, W = 22%, V = 1,5 м/с	99

Правильне застосування ступеневих режимів сушіння дозволяє більш повно зберегти природні властивості насінневого матеріалу на рівні 98 – 99% із пришвидшенням процесу сушіння.

3.3. Дослідження режимів сушіння та якісних характеристик насіння овочевих культур (томату, перцю та гарбуза)

Для вибору режиму сушіння насіння овочевих культур були вибрано насіння томата сорту «Сливки», солодкого перцю сорту «Болгарський» та гарбуза сорту «Стофунтова». При сушінні насіння томату та солодкого перцю

ступеневі режими не застосовували, у зв'язку із суттєвим зниженням схожості при температурі теплоносія 60°C, а для перцю 50 - 60°C.

Сушіння насіння томату на конвективному стенді в елементарному шарі відбувалось від початкової вологості 70% до 8 %, що при сушіння склало 31 хв. Збільшення температури до 80°C зменшує тривалість в 2,58 рази (рис. 3.45).

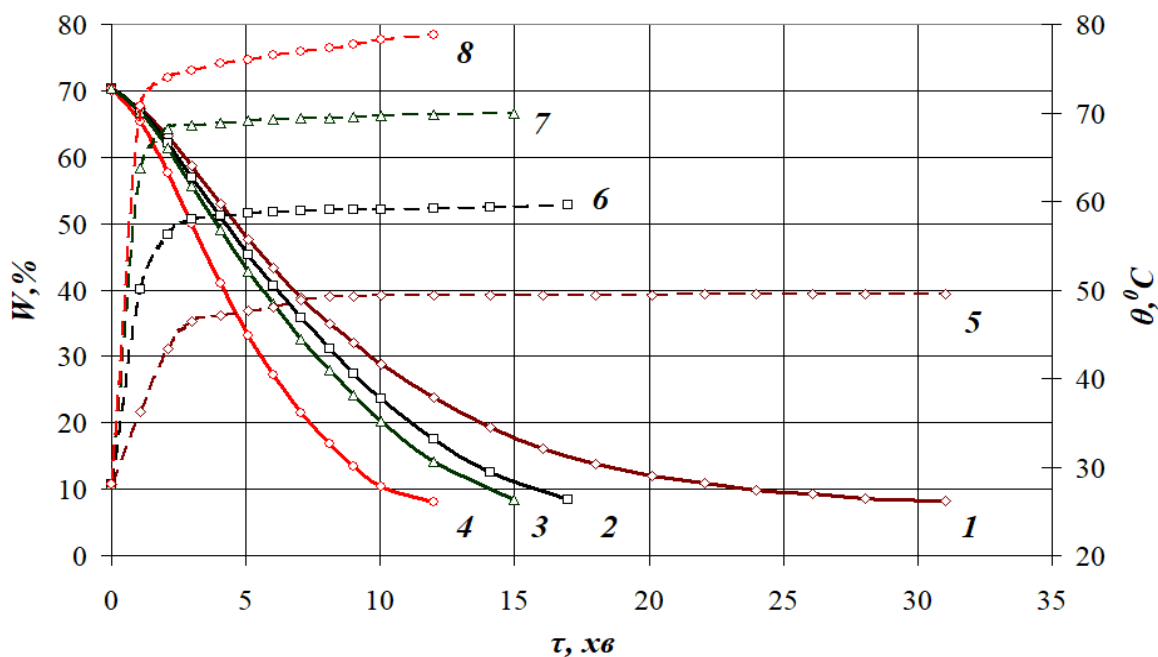


Рис. 3.45. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння томату сорту «Сливки»:

$$W_n = 70\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм.}$$

$$1,5 - 50^\circ\text{C}, 2,6 - 60^\circ\text{C}, 3,7 - 70^\circ\text{C}, 4,8 - 80^\circ\text{C}.$$

На термограмах нагрівання насіння томату відбувається від 8 до 12 хв. В режимі сушіння при температурі теплоносія 80°C відбувається видалення вологи та нагрівання на протязі всього процесу сушіння, в інших режимах після прогрівання температура нагрівання майже не змінюється.

Швидкість сушіння значно вища ніж у насіння зернових та олійних культур, можна зазначити що максимальна швидкість при температурі 50°C складає 5,5%/хв. Підвищення температури підвищує значення швидкості сушіння, так при температурі теплоносія 80°C швидкість сушіння складає 8,8%/хв. (рис. 3.46).

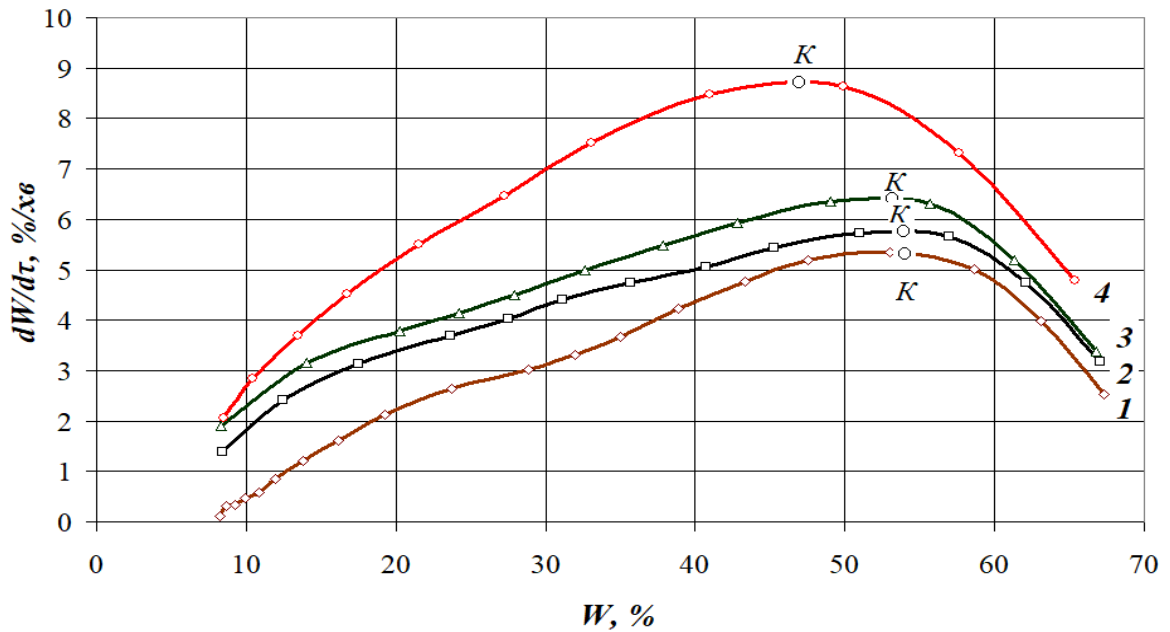


Рис. 3.46. Вплив температури теплоносія на швидкість сушіння насіння томату:

$$Wn = 70\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм.}$$

1 – 50°C, 2 – 60°C, 3 – 70°C, 4 – 80°C.

Насіння томату для кращої схожості доцільно сушити при температурі теплоносія 50°C схожість на 7 день пророщування становить 98% (рис. 3.47).

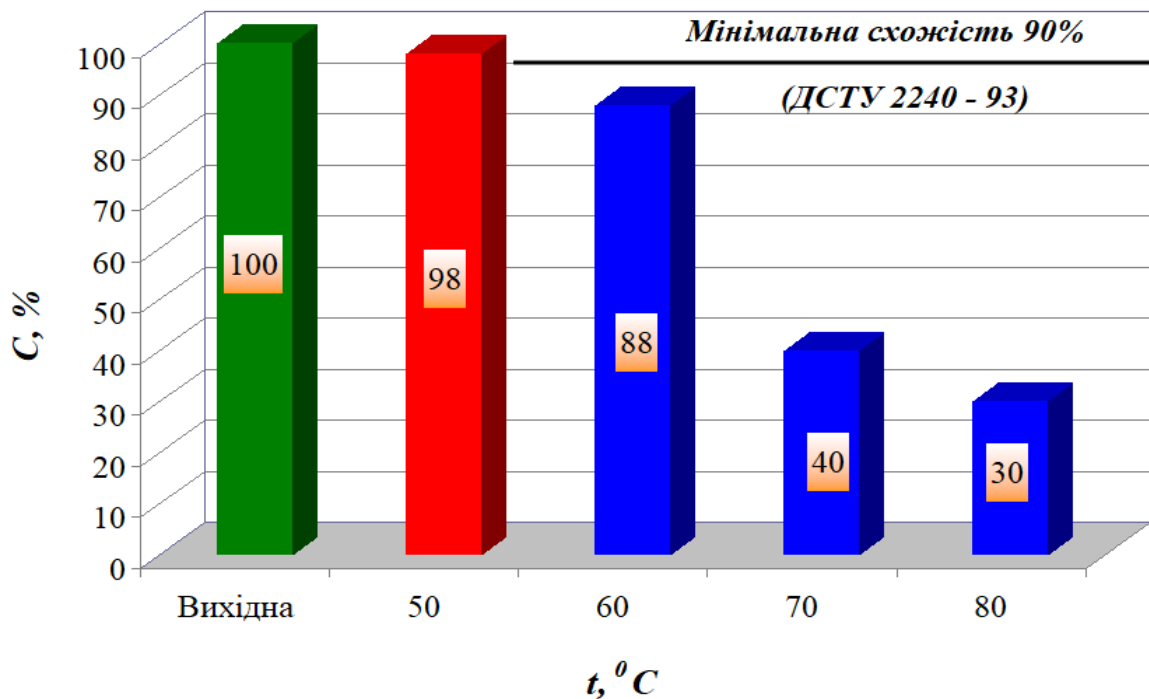


Рис. 3.47. Схожість насіння томату сорту «Сливки» на 7 день пророщування від впливу режимів сушіння

Підвищення температури негативно впливає на якісні показники. Так при температурі теплоносія 60°C схожість знижується до 88%, при 70°C – 40%, 80°C – 0%.

Сушіння насіння солодкого перцю сорту «Болгарський» відбувається при температурі 50 - 80°C (рис. 3.48).

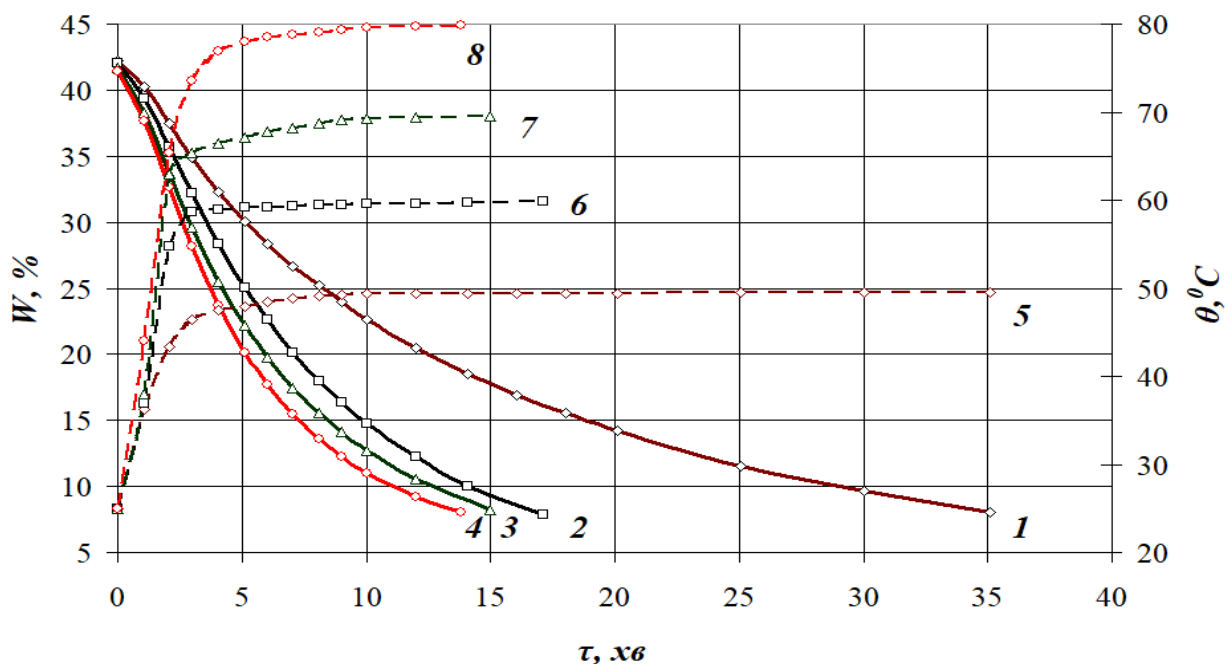


Рис. 3.48. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння перцю сорту «Болгарський»:

$$Wn = 44\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм.}$$

$$1 - 50^\circ\text{C}, 2 - 60^\circ\text{C}, 3 - 70^\circ\text{C}, 4 - 80^\circ\text{C}.$$

При температурі теплоносія 50°C тривалість сушіння насіння солодкого перцю триває 35 хв, з підвищення температури до 60°C зменшується час на 76%. Найменша тривалість сушіння насіння солодкого перцю 14 хв при температурі теплоносія 80°C.

Із наведених температурних кривих видно, що нагрівання насіння солодкого перцю в основному відбувається від 5 до 10 хв і залишається на протязі всього процесу сушіння. Відмінність температури теплоносія та кінцевої температури нагрівання досить мала і складає від 0,2 – 0,4°C.

На рис. 3.49 наведені криві швидкості сушіння в залежності від режиму сушіння.

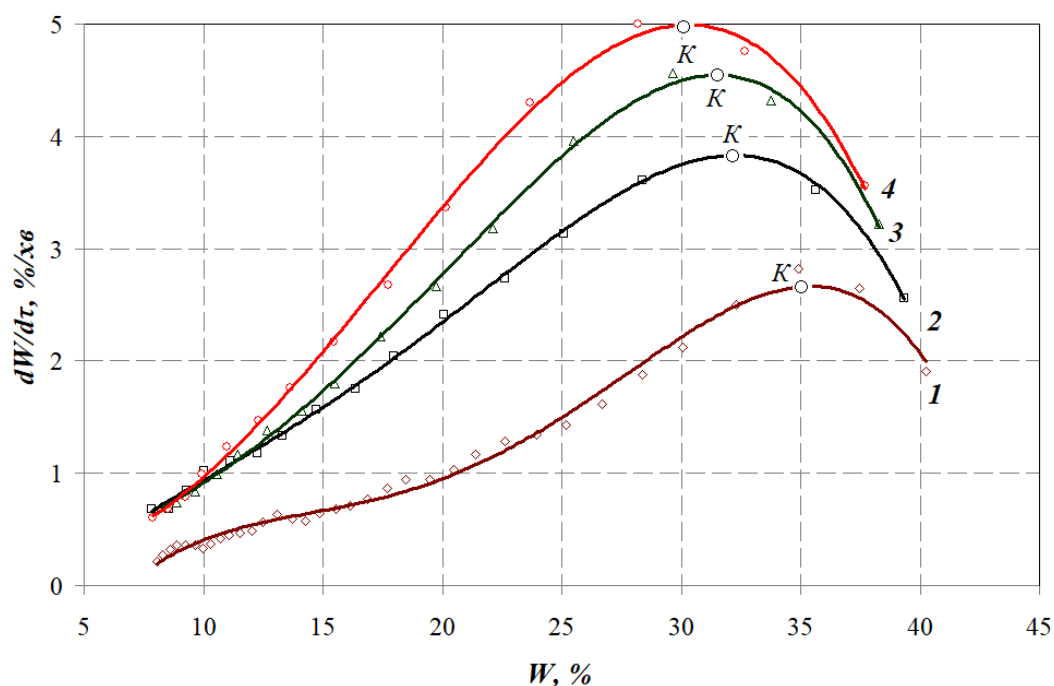


Рис. 3.49. Вплив температури теплоносія на швидкість сушіння насіння перцю:

$W_n = 44\%$, $V = 1,5$ м/с, $d = 10$ г/кг с. п., $\delta = 2$ мм:

1 – 50°C, 2 – 60°C, 3 – 70°C, 4 – 80°C.

Підвищення температури не тільки підвищує інтенсивність сушіння, але зміщує максимальну швидкість сушіння в область низької вологості. Так порівнюючи режими сушіння при температурі теплоносія 50 та 80°C дозволяє збільшити швидкість сушіння в 2 рази і змістити максимальну швидкість в область більш низької вологості, що негативно впливає на насінні властивості.

Проведені дослідження із якості насіння солодкого перцю «Болгарський» вказали на те, що запропоновані режими сушіння 50 - 80°C не дозволяють отримати якісного насіння, тому краще зменшити температуру до 40°C. Але застосування режиму сушіння 50°C можливо згідно з державним стандартом України ДСТУ 2240 - 93 (рис. 3.50).

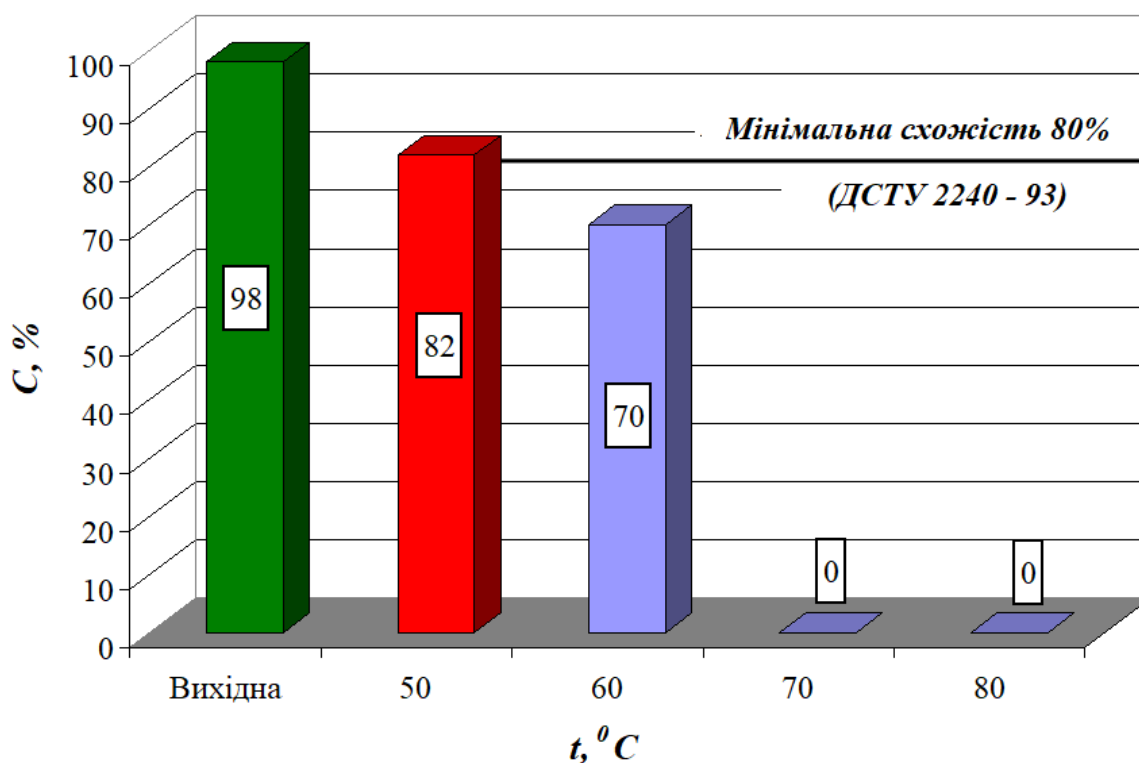


Рис. 3.50. Схожість насіння солодкого перцю сорту «Болгарський» на 7 день пророщування від впливу режимів сушіння

Також із даних пророщування можна зробити висновок, що насіння солодкого перця «Болгарський» при температурі теплоносія 70 - 80°C остаточно втрачає всі насінневі властивості.

Проведенням експериментальних досліджень із сушіння насіння гарбуза займались закордонні дослідники, такі як Сацілік К (Sacilik K.), Акіюл Е (Akyol E), Гуїн Р (Guiné R.) Хашім Н (Hashim N.) и ін. [22,23,199,200].

Разом з тим, проведені дослідження не давали рекомендації із сушіння насінневого зерна, так як не розглядали вплив режимів на якісні характеристики, зокрема схожості насіння.

Тому була поставлена задача про необхідність дослідження і обґрунтування режимів насіння гарбуза з метою отримання більш якісного насінневого матеріалу.

Кінетику процесу сушіння насіння гарбуза сорту «Стофунтовий» при температурі теплоносія 40 - 80°C представлено на рис. 3.51.

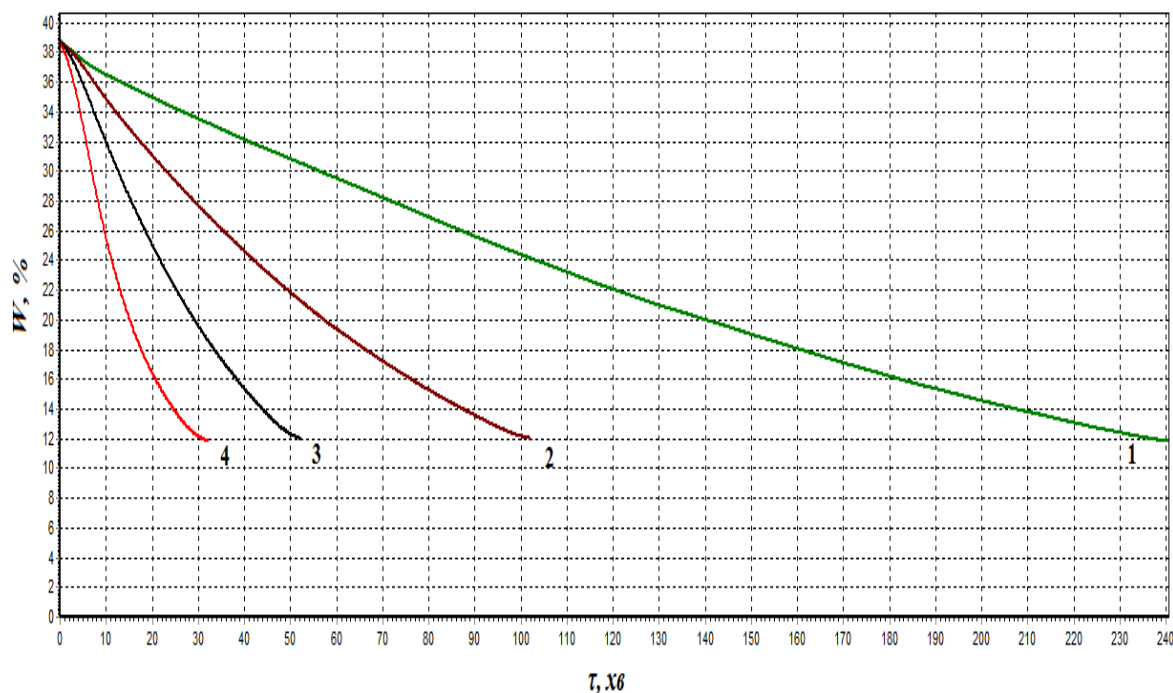


Рис. 3.51. Вплив температури теплоносія на кінетику

сушіння насіння гарбуза сорту «Стофунтовий»:

$W_n = 39\%$, $V = 1,5$ м/с, $d = 10$ г/кг с. п., $\delta = 2$ мм:

1 – 40°C, 2 – 50°C, 3 – 60°C, 4 – 80°C.

Сушіння при температурі теплоносія 40°C при початковій волозі 39% займає 4 годин, підвищення температури до 50°C і вище різко знижує тривалість сушіння від 100 – 35 хв.

Характер кривих швидкості сушіння від температури теплоносія не змінюється і проходить в період падаючої швидкості (рис. 3.52).

Інтенсивність сушіння насіння гарбуза збільшується від підвищення температури теплоносія, так максимальне значення швидкості при температурі теплоносія 80°C – 1,6%/хв, що в 6,15 раз більше за швидкість сушіння при температурі 40°C.

При збільшенні температури теплоносія також зміщується критична точка W_k в область зменшення вологості матеріалу, що також свідчить про збільшення інтенсивності проходження процесу.

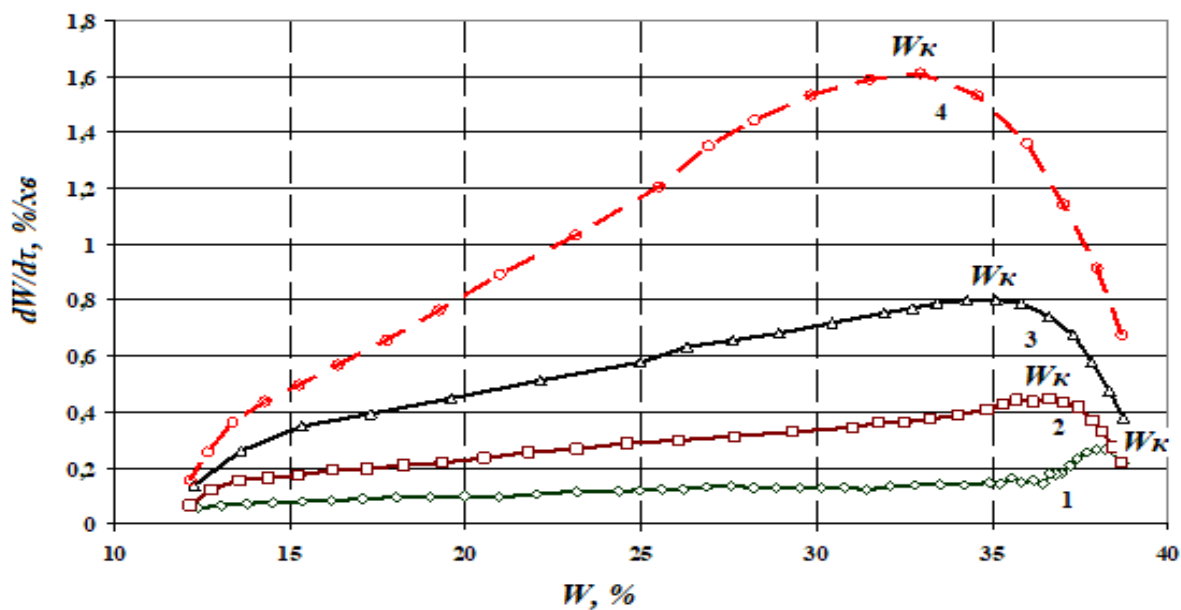


Рис. 3.52. Вплив температури теплоносія на швидкість сушіння насіння гарбуза сорту «Стофунтовий»:
 $Wn = 39\%$, $V = 1,5$ м/с, $d = 10$ г/кг с. п., $\delta = 2$ мм:
 1 – 40°C, 2 – 50 °C, 3 – 60°C, 4 – 80°C.

Представлені криві на рис. 3.53 характеризують нагрівання насіння гарбуза в середині матеріалу від різних режимів сушіння (рис. 3.53).

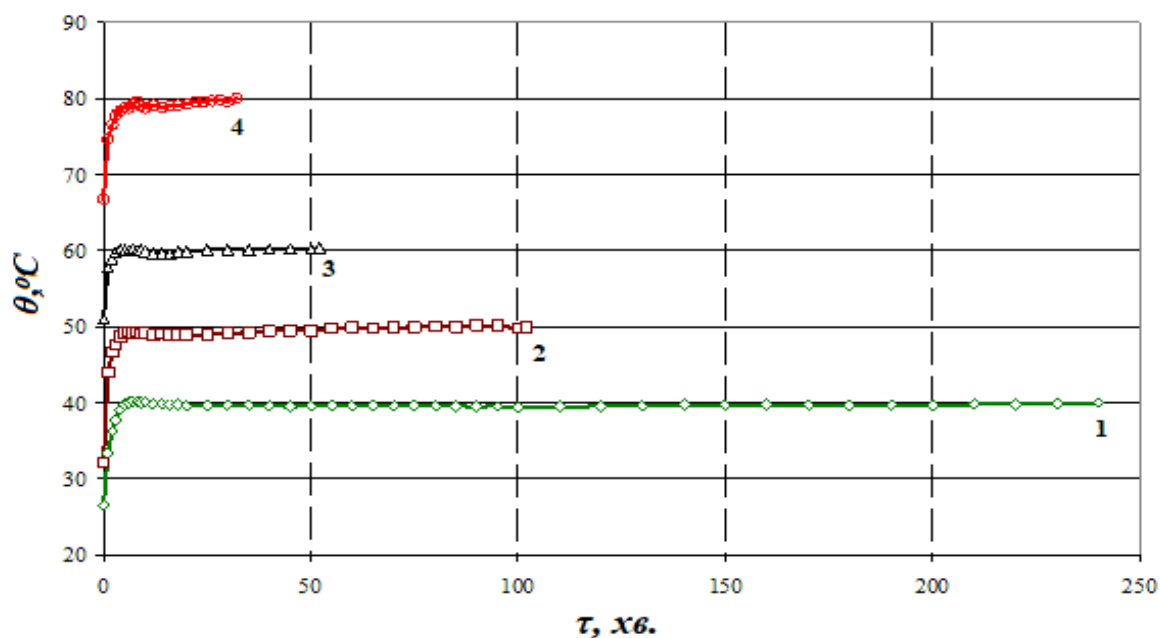


Рис. 3.53. Нагрівання насіння гарбуза від впливу температури теплоносія
 $V = 1,5$ м/с; $d = 10$ г/кг с. п.:
 1 – 40°C, 2 – 50 °C, 3 – 60°C, 4 – 80°C.

Під час експериментальних досліджень реєструвались температури теплоносія та нагрівання насіння гарбуза. На рис. 3.55 вказані термограми під час сушіння насіння гарбуза в режимі сушіння 40°C. Відмінність між температурами теплоносія та насіння не значне: на початку процесу складає 1,5°C, в кінці зменшується до 0,5°C.

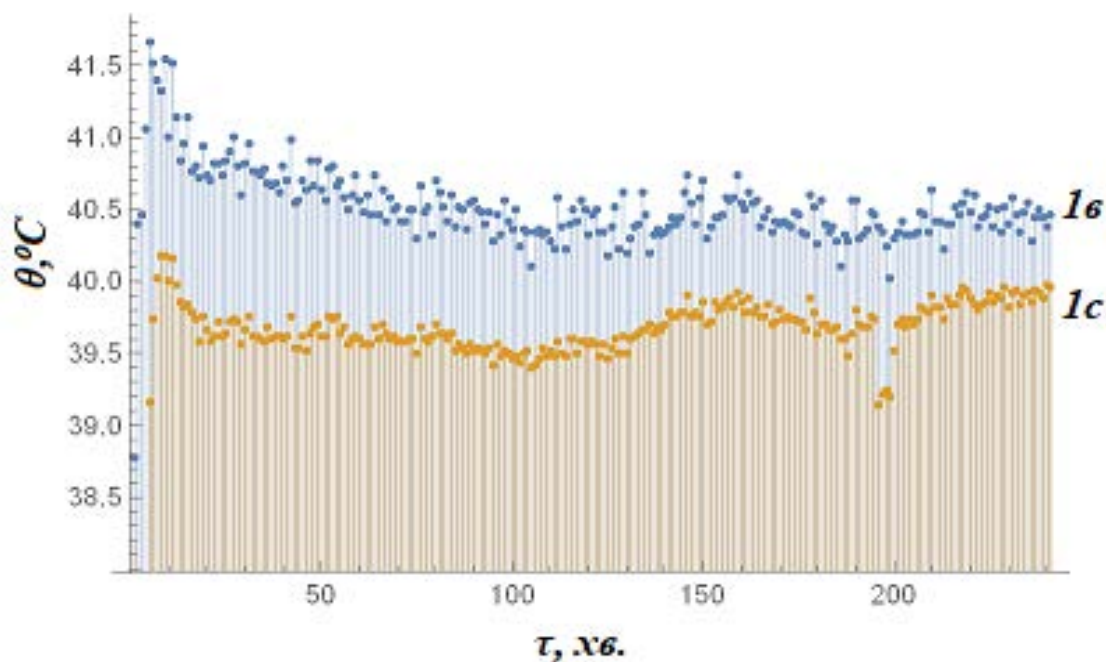


Рис. 3.54. Термограми нагрівання насіння гарбуза при температурі теплоносія 40°C: 1в – температура теплоносія; 1с – температура в центрі зерна.

$$t = 40^\circ\text{C}, Wn = 39\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм}$$

Схожість насіння гарбуза сорту «Стофунтовий» на 5,7 та 10 день представлено на рис. 3.55.

Відмінність пророщування насіння гарбуза від інших культур полягає в тому, що схожість насіння контролювали на протязі 10 днів. Також видно, що схожість підвищується від 5 до 10 дня. Хоча на 5 день найкраща схожість спостерігається у вихідного зерна, вже на 10 день схожість на 10 день в режимах сушіння 40,50°C складає на рівні 96 – 98%, а при 60°C – 90%. Схожість насіння гарбуза не спостерігається лише при температурі теплоносія 80°C.

Підвищення швидкості протікання процесу сушіння насіння гарбуза насіннєвого призначення можливо через використання ступеневих режимів сушіння.

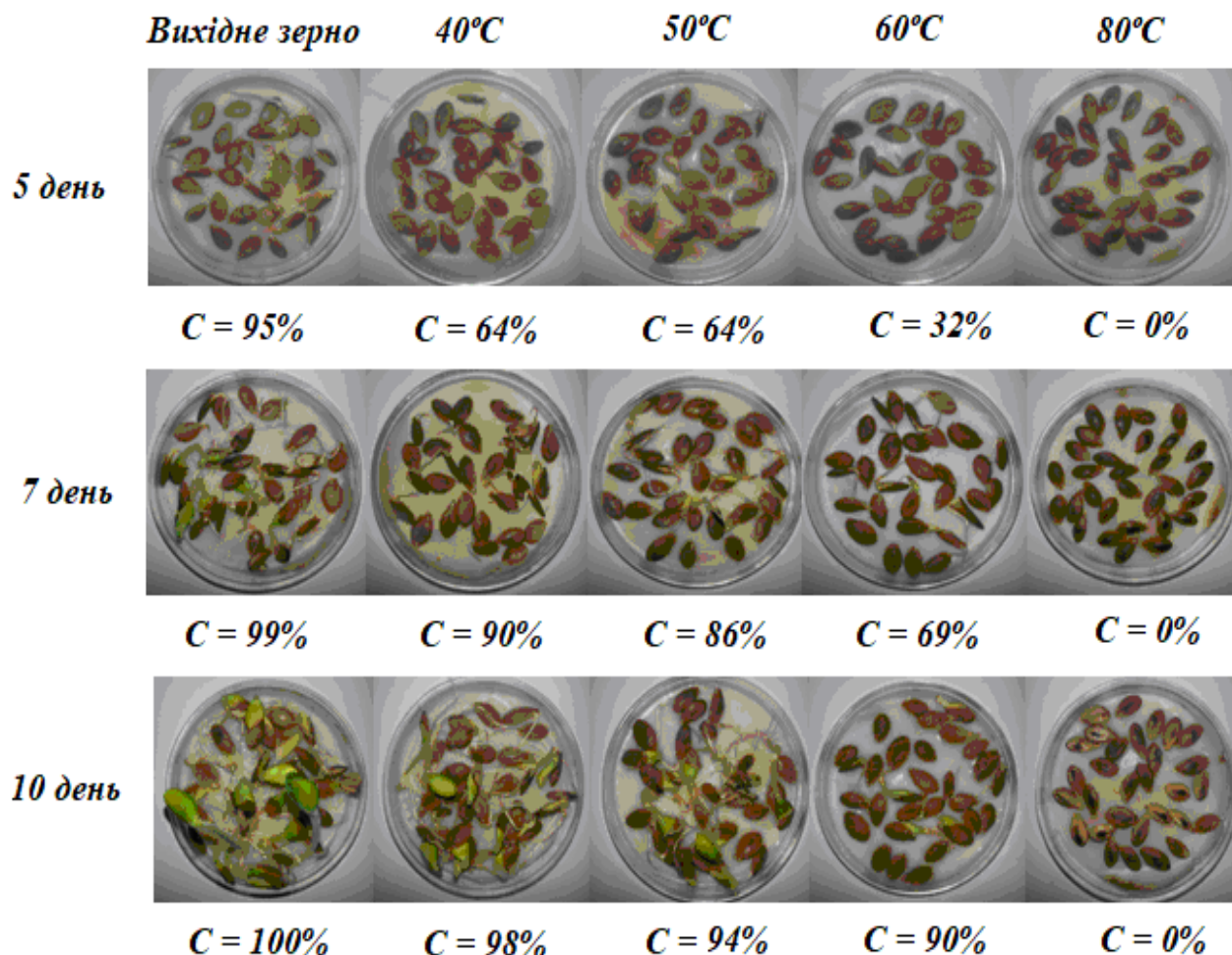


Рис. 3.55. Схожість насіння гарбуза сорту «Стофунтовий» на 5,7 та 10 день пророщування від режимів сушіння

В даному випадку, запропонований режим сушіння 60/40°C, що прискорює процес у 3 рази в порівнянні із режимом сушіння 40°C і дає схожість на рівні 98% (рис. 3.56).

Сушка насіння гарбуза в ступінчатому режимі сушіння 60/40°C відбувається швидше чим при режимі 50°C на 25% і повільніше за 60°C на 25%.

Представлені результати швидкості сушіння насіння гарбуза в ступінчатому режимі сушіння 60/40°C на значне зменшення інтенсивності в

другому періоді за температурою теплоносія 60°C , але воно інтенсивніше за запропоновані режими сушіння 40 та 50°C (рис. 3.57).

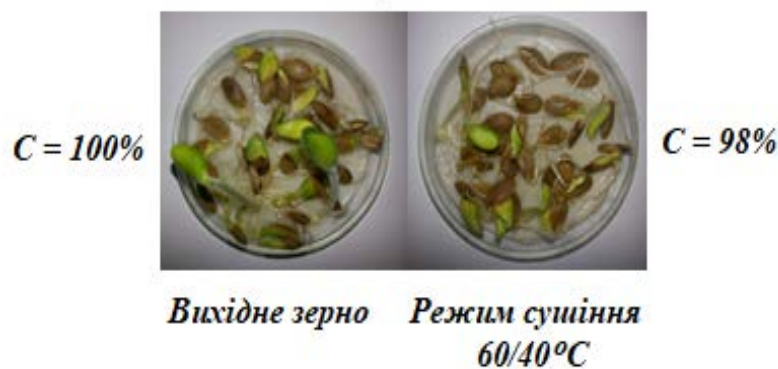
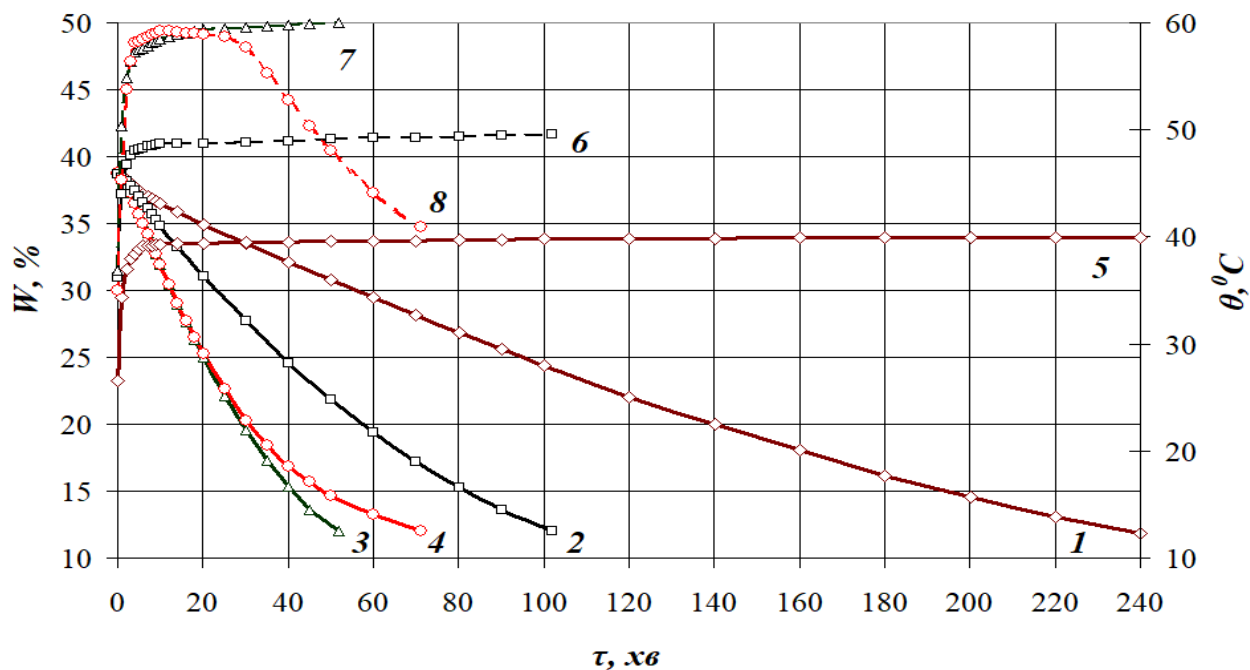


Рис. 3.56. Вплив температури теплоносія і температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння та якість насіння перцю сорту «Болгарський»:

$$Wn = 39\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм.}$$

$$1 - 40^{\circ}\text{C}, 2 - 50^{\circ}\text{C}, 3 - 60^{\circ}\text{C}, 4 - 60/40^{\circ}\text{C}.$$

Для більш детального аналізу енергії росту і схожості насіння гарбуза сорту «Стофунтовий» від режимів сушіння наведено в таблиці 3.16.

Із таблиці 3.16 можна зробити висновок, що при впливі режиму сушіння 60°C на схожість найбільше впливає швидкість руху теплоносія, так при збільшенні швидкості від $1,5$ до $3,5$ м/с схожість знижується на 80% .

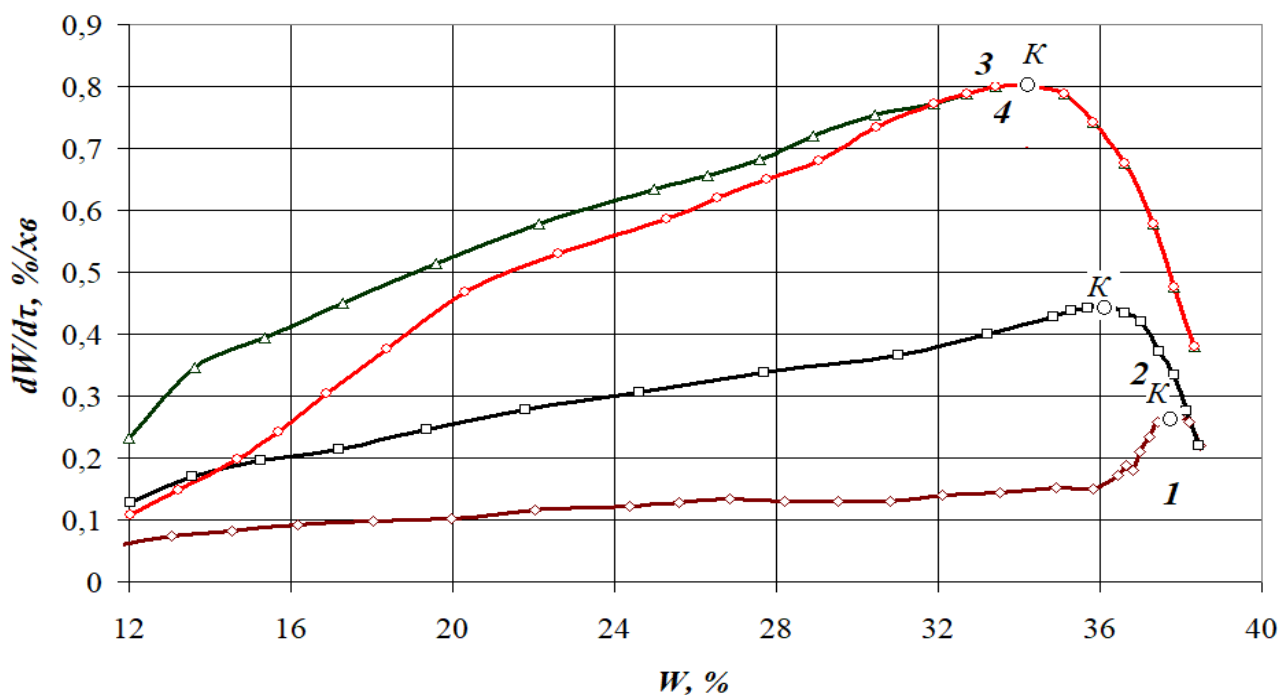


Рис. 3.57. Вплив температури теплоносія на швидкість сушіння насіння гарбуза сорту «Стофунтовий» із застосуванням ступеневого режиму сушіння:

$$W_n = 39\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

$$1 - 40^\circ\text{C}, 2 - 50^\circ\text{C}, 3 - 60^\circ\text{C}, 4 - 60/40^\circ\text{C}.$$

Визначення схожості в ступеновому режимі сушіння $60/40^\circ\text{C}$ відбувалось за 2 зразками, що показали однаковий високий результат на рівні 98%, що відповідає вимогам до насінневого зерна гарбуза за державним стандартом України 2240 – 93 схожість повинна складати 95%,.

Для якісної характеристики процесу сушіння насінневого зерна гарбуза запропоновано проводити замір величини сходів на 3,5,7 та 10 день. Це дає більш об'єктивну оцінку інтенсивності схожості насіння гарбуза сорту «Стофунтовий» і більш якісно характеризує режими сушіння (рис. 3.58).

На 3 день пророщування величина сходів найменша в ступеновому режимі сушіння $60/40^\circ\text{C}$, але на 5,7 та 10 день вона поступається лише інтенсивності сходів у вихідного зерна.

Всі інші режими сушіння показують, що з збільшенням температури від 40 до 60°C інтенсивність росту зменшується, хоча на 7 день показники росту майже однакові (біля 30 мм).

Таблиця 3.16.

Вплив режиму сушіння на якісні характеристики насіння гарбуза
сорту «Стофунтовий»

№	Параметри процесу			Параметри якості			
	Температура теплоносія $t, ^\circ\text{C}$	Швидкість теплоносія $V, \text{ м/с}$	Тривалість сушки $\tau, \text{ хв.}$	Енергія росту $E, \%$			Схожість на 10 день $C, \%$
				3 день	5 день	7 день	
1.	Вихідне зерно			7	95	99	100
2.	40	1,5	240	2	64	95	98
3.	50	1,5	102	2	64	86	94
4.	60	1,5	52	1	32	69	90
5.	60	2,5	48	1	16	33	46
6.	60	3,5	44	1	4	5	10
7.	60/40 (1 зразок)	1,5	82	2	93	96	98
8.	60/40 (2 зразок)	1,5	82	3	93	95	98
9.	80	1,5	32	0	0	0	0

Ступеневий режим сушіння із наведених режимів сушіння найбільш ефективний за схожістю та ростом насіння, тобто тепловий вплив на насіння відбувається менше чим в інших режимах сушіння. Якщо взяти висоту сходів вихідного зерна за 100% на 10 день схожості, то ступеневий режим сушіння на 86% відповідає параметрам росту вихідного зерна.

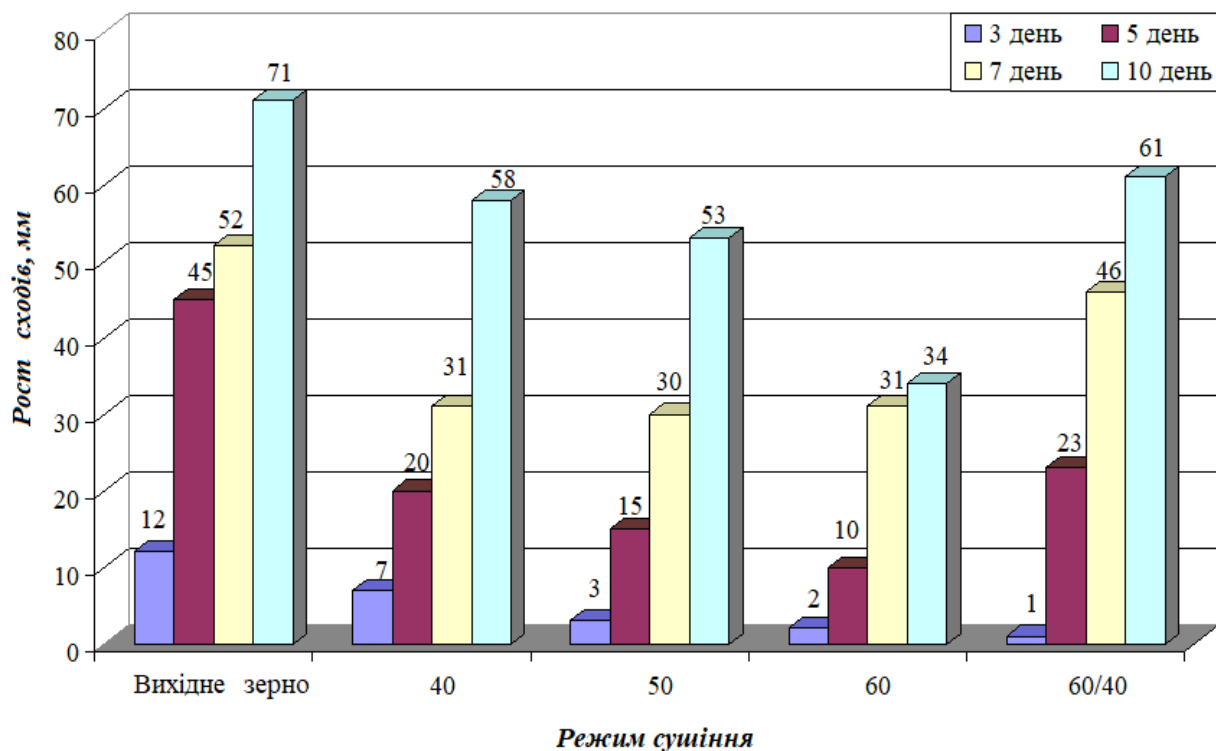


Рис. 3.58. Інтенсивність росту сходів насіння гарбуза сорту «Стофунтовий»

3.4. Визначення режимів сушіння та якісних властивостей насіння технічних культур (ріпаку, цукрового буряку)

Рекомендовані режими сушіння насіння ріпаку [11, 24,25] показують, що для насіння ріпаку в залежності від початкової вологості матеріалу граничнодопустима температура теплоносія 55-65°C. Але наведені рекомендації не дають повну інформацію про вплив режимів сушіння на якісні характеристики насіння.

Для визначення особливостей сушіння насіння ріпаку основну увагу приділяли низькотемпературним режимам сушіння із температурою теплоносія 50 - 80 °C (рис. 3.59).

Кінцева температура нагрівання насіння ріпаку при 50°C – 48,2°C; 60°C – 58,52°C; 70°C – 66,86°C та 80°C – 74,4°C.

З підвищення температури теплоносія від 50 до 80°C збільшується швидкість сушіння з одночасним прогріванням і випаровуванням вологи, так

швидкість сушіння в режимі сушіння 80°C майже в 2,35 рази більше від температури сушіння 50°C (рис. 3.60).

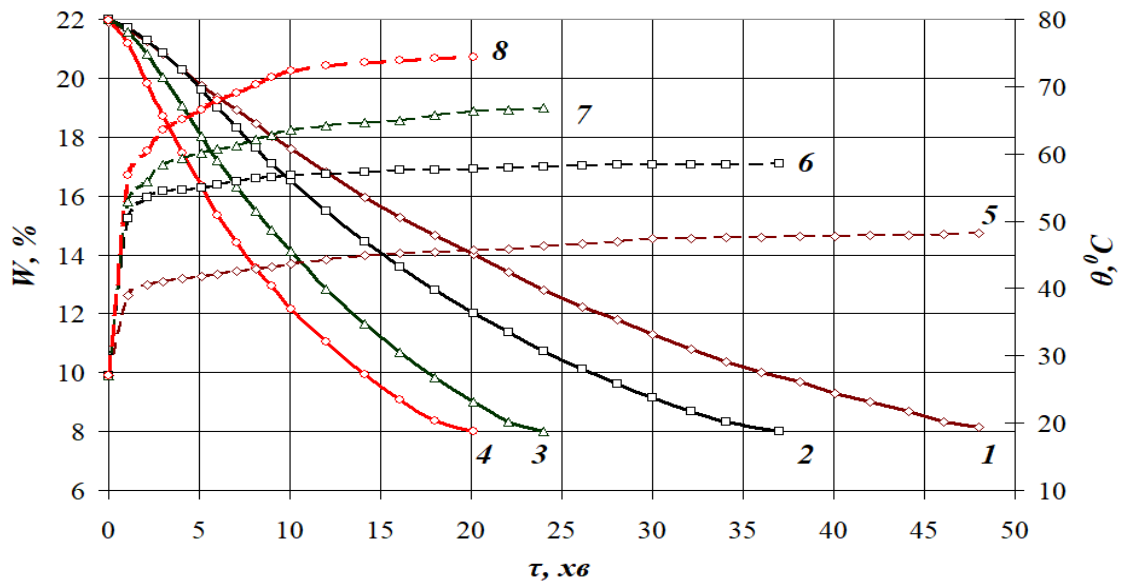


Рис. 3.59. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння ріпаку сорту «Чорний Велетень»

$$Wn = 22\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

1 – 50°C, 2 – 60°C, 3 – 70°C, 4 – 80°C.

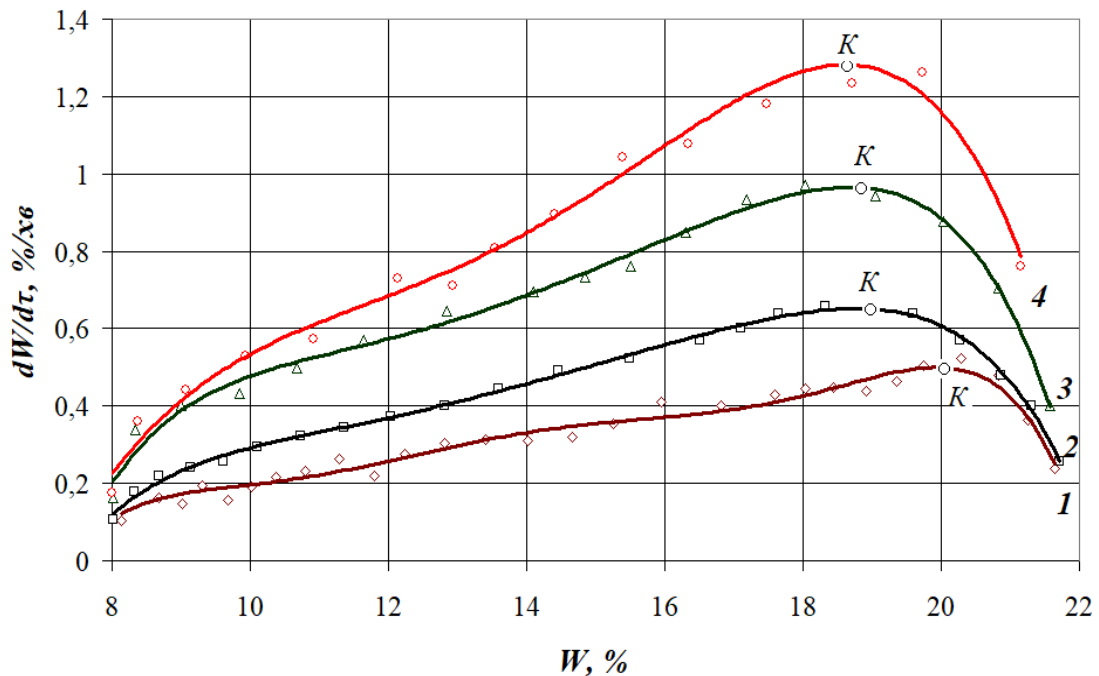


Рис. 3.60. Криві швидкості сушіння насіння ріпаку сорту

«Чорний Велетень» $Wn = 22\%$, $V = 1,5 \text{ м/с}$, $d = 10 \text{ г/кг с. п.}$, $\delta = 2 \text{ мм}$:

1 – 50°C, 2 – 60°C, 3 – 70°C, 4 – 80°C.

Дослідження із впливу температури теплоносія на якісні показники насіння ріпаку сорту «Чорний Велетень» при початковій вологості 22% показано на рис. 3.61.

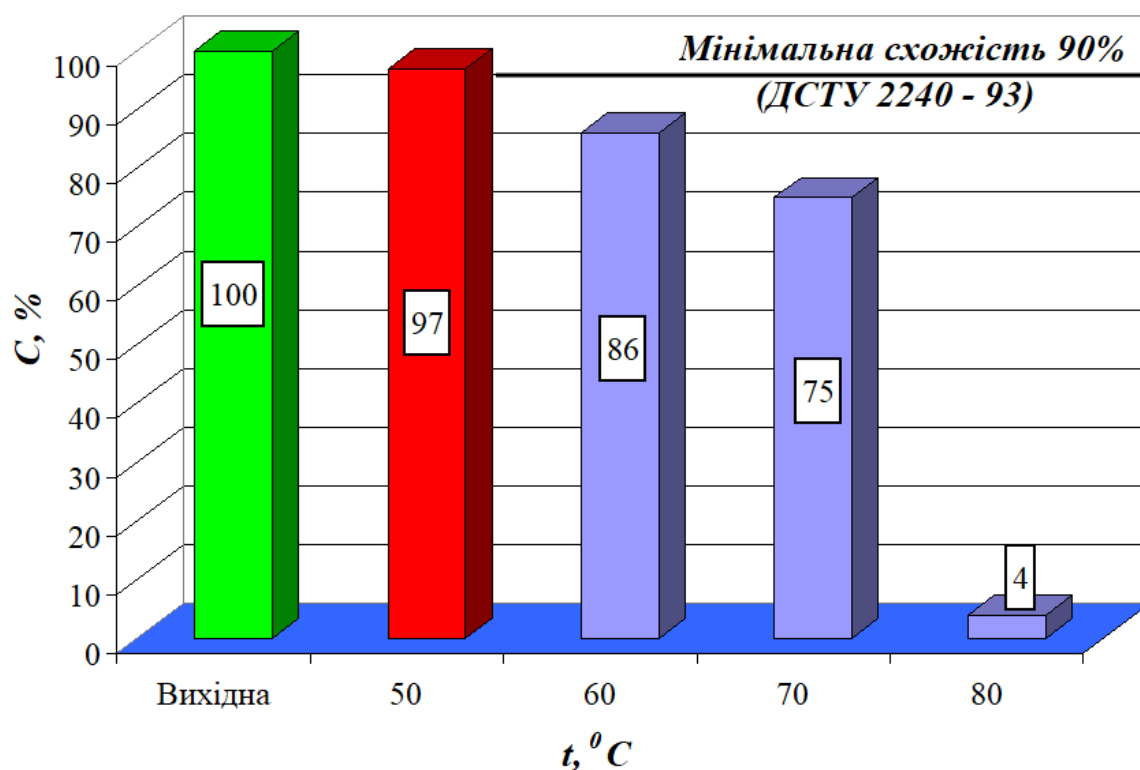


Рис. 3.61. Вплив температури теплоносія на схожість насіння ріпаку сорту «Чорний Велетень» на 7 день пророщування при початковій вологості насіння ріпаку 22%

Найкраще пророщування насіння ріпаку спостерігається при температурі теплоносія 50°C – схожість яка складає на рівні 97%. Підвищення температури до 60°C знижує якісні параметри насінневого матеріалу до 86%. При температурі теплоносія 70°C – схожість 75%, а при 80°C схожість на рівні 4%.

Візуально вплив температури теплоносія на схожість при початковій вологості насіння ріпаку 22% можна оцінити за представленими фотографіями (рис. 3.62), так активне пророщування проходить при температурі 50°C , а при 80°C – майже не відбувається.

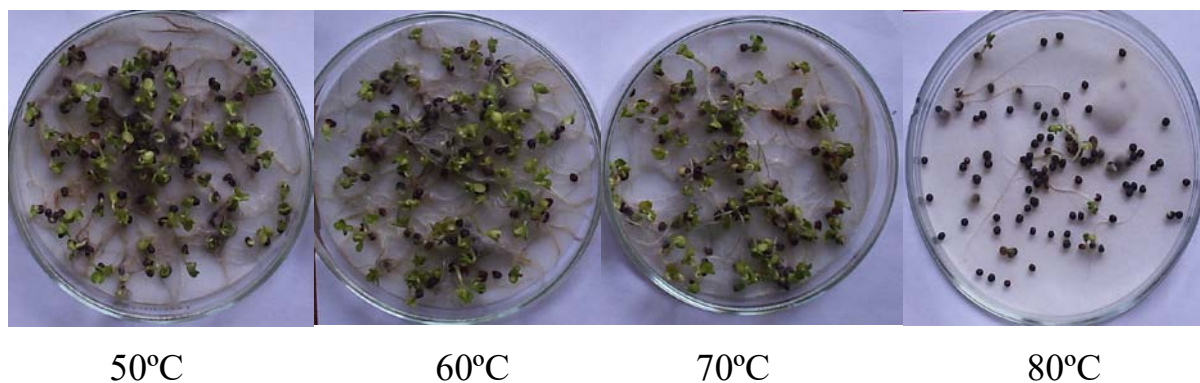


Рис. 3.62. Вплив температури теплоносія на схожість насіння ріпаку сорту «Чорний Велетень» при початковій вологості насіння ріпаку 22%

Наступною технічною культурою, що розглядається в даній роботі – це цукровий буряк. Проблемою є повноцінне збереження насіннєвих властивостей насіння після теплової обробки.

Кінетика процесу сушіння насіння цукрового буряку представлено на рис. 3.63.

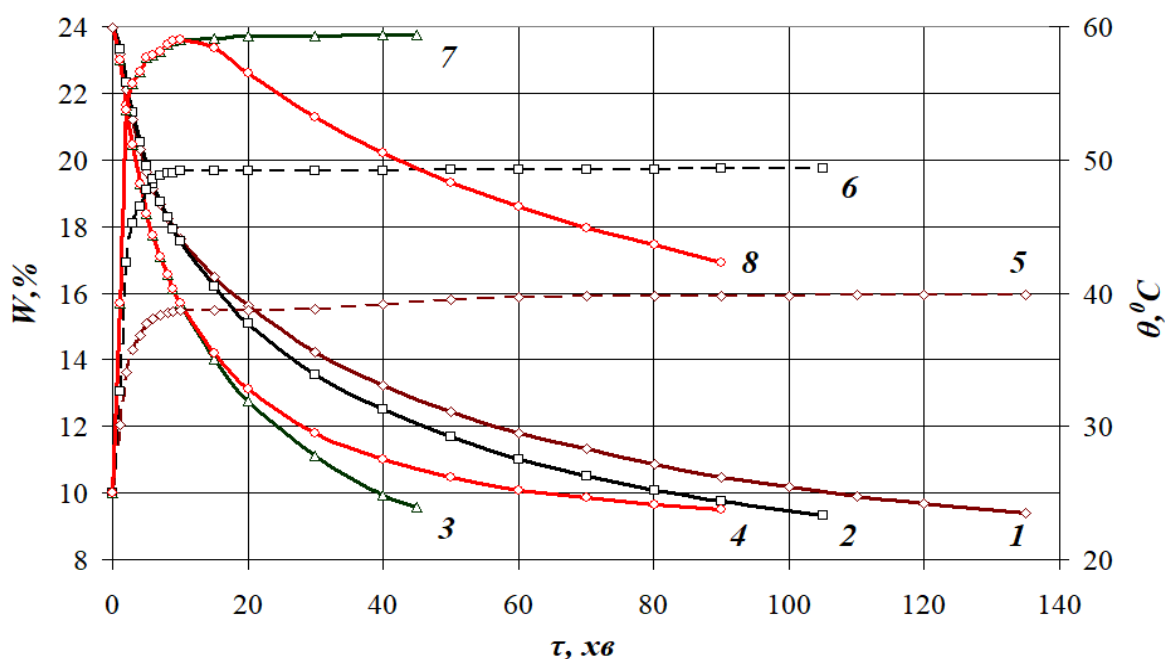


Рис. 3.63. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння цукрового буряку сорту «Рамзес»

$$W_n = 24\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}, \delta = 2 \text{ мм:}$$

$$1,5 - 40^\circ\text{C}, 2,6 - 50^\circ\text{C}, 3,7 - 60^\circ\text{C}, 4,8 - 60/40^\circ\text{C}.$$

Сушіння насіння цукрового буряку з підвищенням температури теплоносія сушаться нерівномірно, тобто підвищення на 10°C від 40 до 50°C знижує тривалість сушіння на 30 хв, а від 50 до 60°C на 60 хв. Ступеневий режим сушіння 60/40 °C дозволяє зменшити тривалість сушіння на 45 хв, або на 33% в порівнянні з режимом сушіння 60°C. Прогрівання насіння цукрового буряку відбувається в основному на протязі 5 хв (рис. 3.63).

Максимальна швидкість сушіння при температурі теплоносія 60°C складає 1,4%/хв., що більше за режими сушіння 40, 50°C на 0,2%/хв. (рис. 3.64).

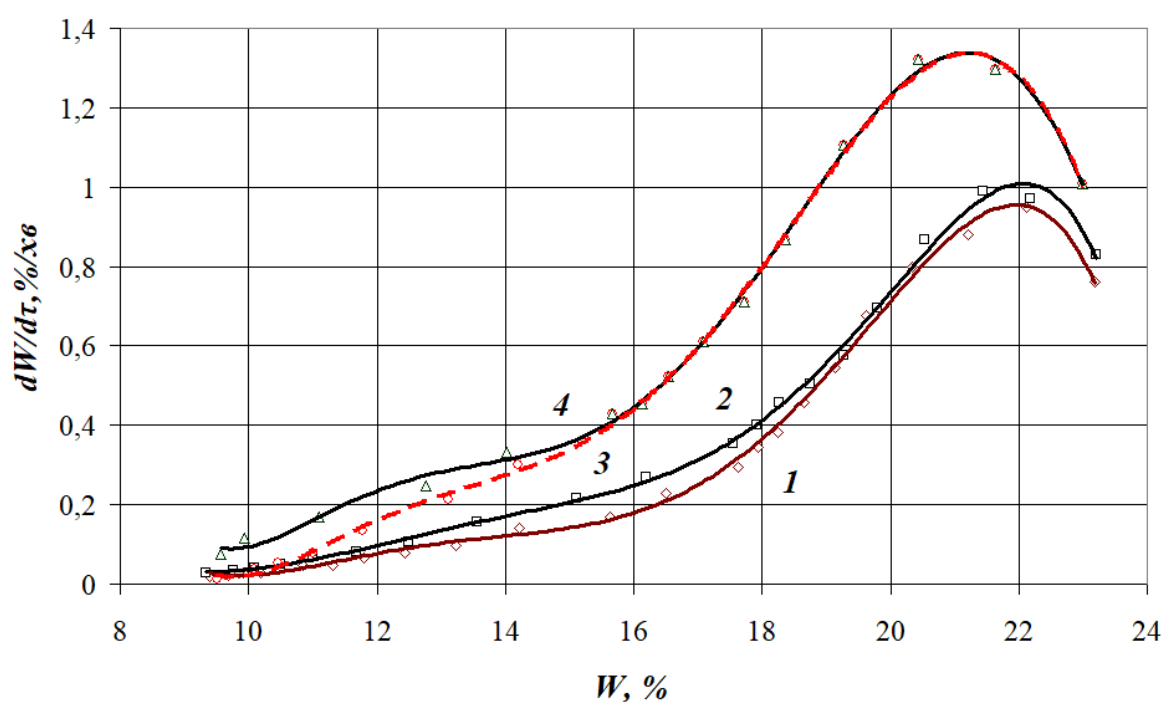


Рис. 3.64. Криві швидкості сушіння насіння цукрового буряку сорту

«Рамзес» $V = 1,5$ м/с, $d = 10$ г/кг с. п. :

1 – 40°C, 2 – 50 °C, 3 – 60/40°C, 4 – 60°C

Дослідження із схожості насіння цукрового буряку показали, що збільшення температури теплоносія зменшує пророщування насіннєвого матеріалу (табл. 3.17).

Навіть не висока температура теплоносія 40°C не дає високої схожості насіння цукрового буряку і складає 75%, збільшення температури до 60°C знижує схожість до 61%.

Таблиця 3.17.

Вплив температури на якість насіння цукрового буряку сорту «Рамзес» при початковій вологості 24% та швидкості руху теплоносія 1,5 м/с

№ п/п	Температура теплоносія t, °C	День схожості насіння, %								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Вихідна схожість	1	11	23	29	48	69	78	88	93
3.	40	1	13	24	41	48	53	61	68	75
4.	50		18	25	37	34	49	54	65	71
5.	60		19	24	30	34	37	44	53	61
6.	60/40		9	20	25	45	67	73	80	90

Не високі показники схожості насіння при температура теплоносія 40°C дало поштовх до розробки енергоефективного ступеневого режиму сушіння 60/40°C схожість при якому суттєво підвищилось до 90% при вихідній схожості 93%.

Візуально вплив температури теплоносія на схожість насіння цукрового буряку при початковій вологості 24% та швидкості руху теплоносія 1,5 м/с можна оцінити за представленими фотографіями на 10 день пророщування (рис. 3.65).



40°C (C = 75%)



60°C (C = 61%)



60/40°C (C = 90%)

Рис. 3.65. Фотографії схожість насіння цукрового буряку сорту «Рамзес» від впливу температури теплоносія на 10 день пророщування

Як видно із представлених даних про схожість, а також фотографій найкращий режим – це ступеневий режим сушіння 60/40°C.

Порівнюючи інтенсивність росту сходів насіння цукрового буряку сорту «Рамзес» від режиму сушіння на 10 день пророщування показано на рис. 3.66.

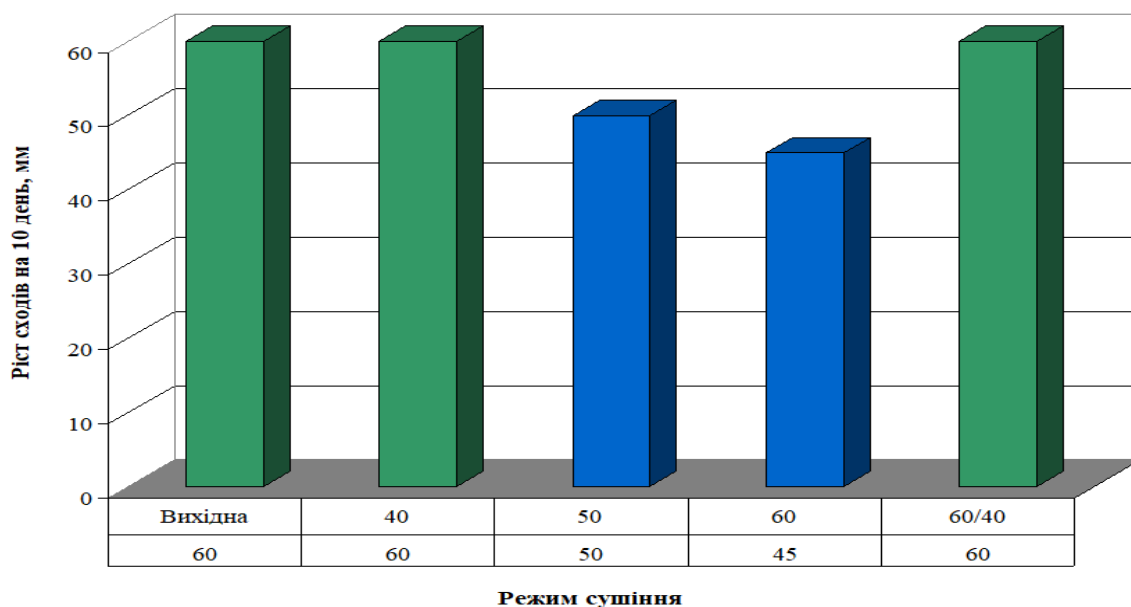


Рис. 3.66. Вплив температури теплоносія на інтенсивність росту сходів насіння цукрового буряку на 10 день пророщування:

$$Wn = 24\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п}$$

Для більш детальної характеристики впливу режиму сушіння на інтенсивність росту сходів насіння цукрового буряку сорту «Рамзес» представимо дані за 3,4,5,6,7,8,9,10 день (табл. 3.18).

Таблиця 3.18.

Інтенсивність росту сходів насіння цукрового буряку сорту «Рамзес»

№ п/п	Режим сушіння	День пророщування/довжина ростка ,мм							
		3	4	5	6	7	8	9	10
1	Вихідне насіння	12	15	25	35	40	45	55	60
2	$t = 40^\circ\text{C}, V = 1.5 \text{ м/с}$	6	20	28	38	47	50	55	60
3.	$t = 50^\circ\text{C}, V = 1.5 \text{ м/с}$	7	15	25	30	35	45	50	50
4.	$t = 60^\circ\text{C}, V = 1.5 \text{ м/с}$	10	18	25	25	30	30	40	45
5.	$t = 60/40^\circ\text{C}, V = 1.5 \text{ м/с}$	5	15	25	40	45	55	55	60

Ріст сходів цукрового буряку сорту «Рамзес» при температурі теплоносія 40°C та 60/40°C на 10 день пророщування відповідають вихідному зерні і складає 60 мм. Підвищення до температури теплоносія 50°C зменшує ріст на 5 мм, а при 60°C на 10 мм від вихідного росту, що говорить про вплив режиму сушіння на інтенсивність росту.

ВИСНОВКИ ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ

1. Визначено закономірності кінетики та раціональні режими сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур як основа для вдосконалення технології сушіння. Встановлено, що процес сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур в елементарному шарі протікає в період падаючої швидкості сушіння при безперервному збільшенні температури нагрівання насіння, що свідчить про інтенсивне поглиблення зони випаровування всередину зерна.

2 Отримано регресійні рівняння та побудовані поверхні відгуку схожості насіння та тривалості сушіння від впливу температури і швидкості теплоносія та початкової вологості насіння. Встановлено, що вплив на тривалість сушіння та схожість насіння мають всі фактори, але найбільший вплив спостерігається від температури теплоносія.

3. Вперше визначено граничнодопустиму температуру нагрівання насіння зернових культур графічним методом на основі аналізу експериментальних даних схожості та кінетики процесу.

4. Вперше розроблені ступеневі режими сушіння для насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур, що дали змогу отримати схожість насіннєвого матеріалу 98 – 100% при зменшенні тривалості сушіння та енерговитрат.

5. Низькотемпературні режими сушіння найкраще реалізуються для насіння перцю, томату та ріпаку.

Основні наукові результати розділу опубліковані в роботах [189 – 194, 198, 201 - 206].

РОЗДІЛ 4.

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ СУШІННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ, ОЛІЙНИХ, ОВОЧЕВИХ ТА ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР НА СУШИЛЬНИХ СТЕНДАХ ІЗ ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

4.1. Дослідження кінетики сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур (пшениця, ячмінь, овес, ріпак) на сушильному стенді шахтного типу із тепловим насосом

При виборі режимів сушіння зернових, олійних та технічних культур на сушильних стендах із тепловим насосом використовувались дані експериментальних досліджень та результати лабораторних досліджень з якості насіння представлені в 3 розділі.

Проведені дослідження впливу вологовмісту теплоносія на кінетику сушіння насіння зернових та олійних культур на конвективному сушильному стенду показало, що навіть зміна вологовмісту теплоносія на 2 г/кг дає інтенсифікацію процесу на 12 – 19% (рис. 3.10, 3.18, 3.26).

В якості досліджуваного матеріалу використовували штучно зволожене зерно пшениці, вівса, ячменю та ріпаку. Конструкція сушильної камери передбачає можливість сушіння насіння із вагою 25 – 30 кг за вологим матеріалом (рис. 2.9).

Вологовміст теплоносія в сушильному стенді із тепловим насосом для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур вибрано 6 г/кг с. п. при температурі на випарнику ТН $t_v = 5^\circ\text{C}$ (рис. 4.1).

Як видно із рис. 4.2 найбільш оптимальний коефіцієнт перетворення теплового насосу при температурі на випарнику ТН $t_v = 5^\circ\text{C}$ з компресором ZR49K3E – TFD фірми Copeland ZR і температурою на конденсаторі ТН $t_k = 50^\circ\text{C}$ складає 3,2 [222].

Технологічний режим при сушінні насіння зернових, олійних та технічних культур на сушильних стендах із тепловим насосом складається з різних параметрів, значення яких необхідно підтримувати при роботі. Головними параметрами є температура, вологовміст і товщина шару матеріалу.

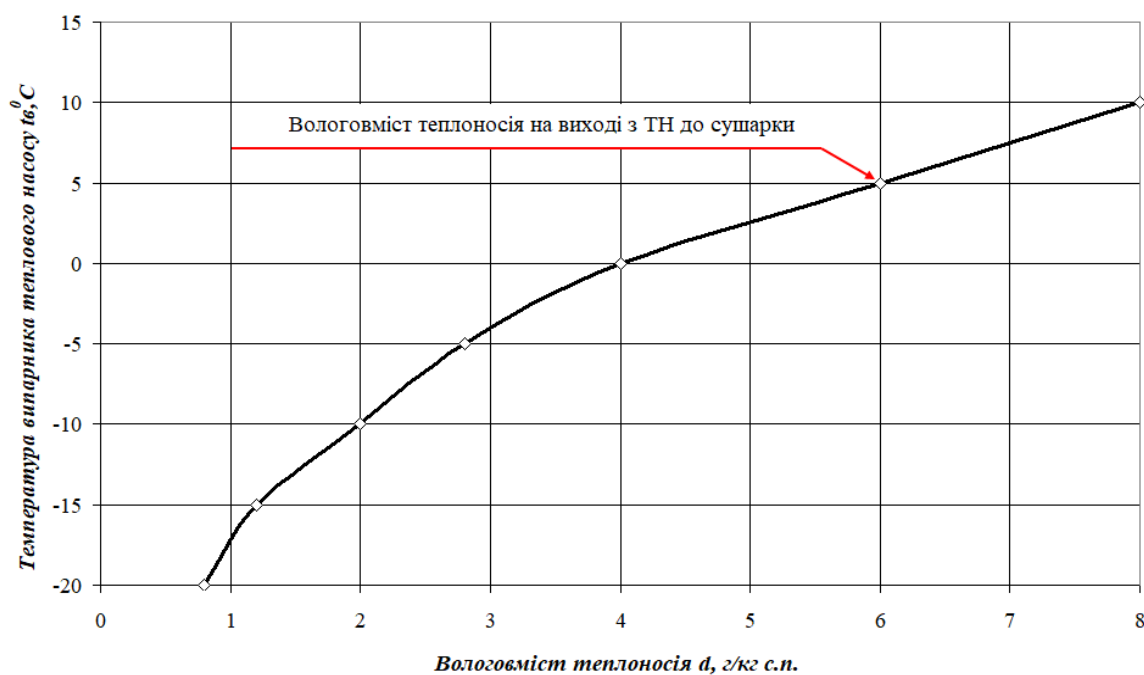


Рис. 4.1. Зміна температури на випарнику ТН з компресором ZR49K3E – TFD фірми Copeland ZR при роботі на фреоні R 22 від вологовмісту теплоносія

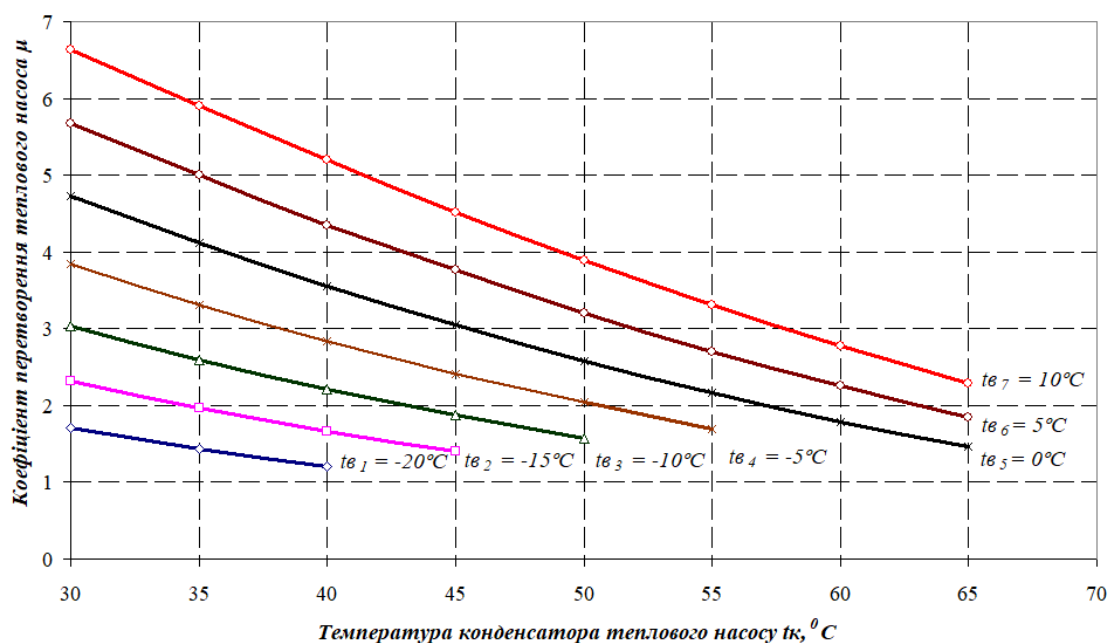
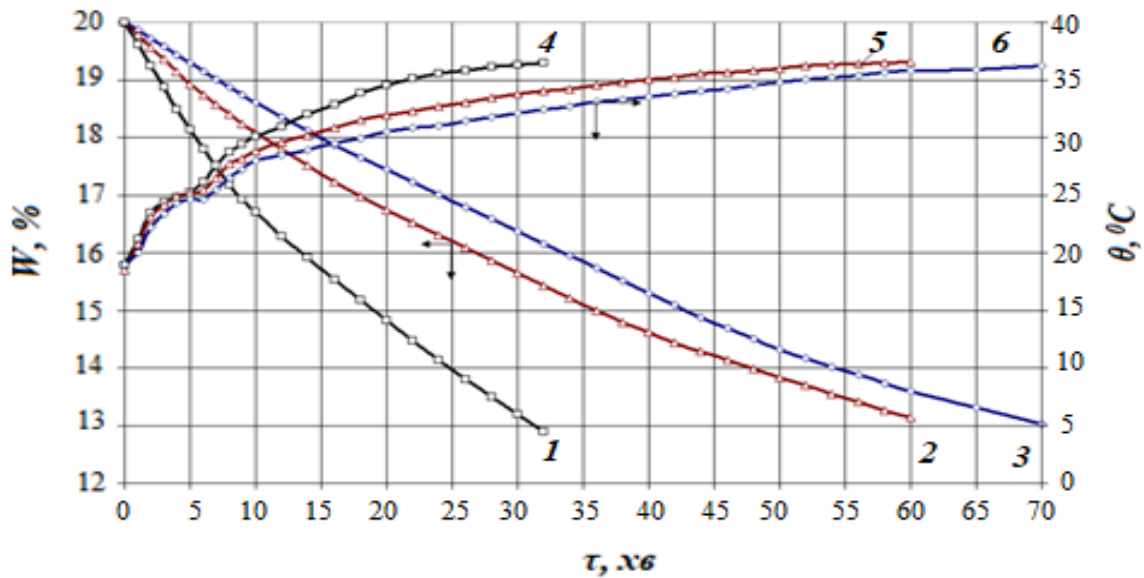


Рис. 4.2. Залежність коефіцієнту перетворення ТН від зміни температури випарника та конденсатора теплового насосу з компресором ZR49K3E – TFD фірми Copeland ZR при роботі на фреоні R 22

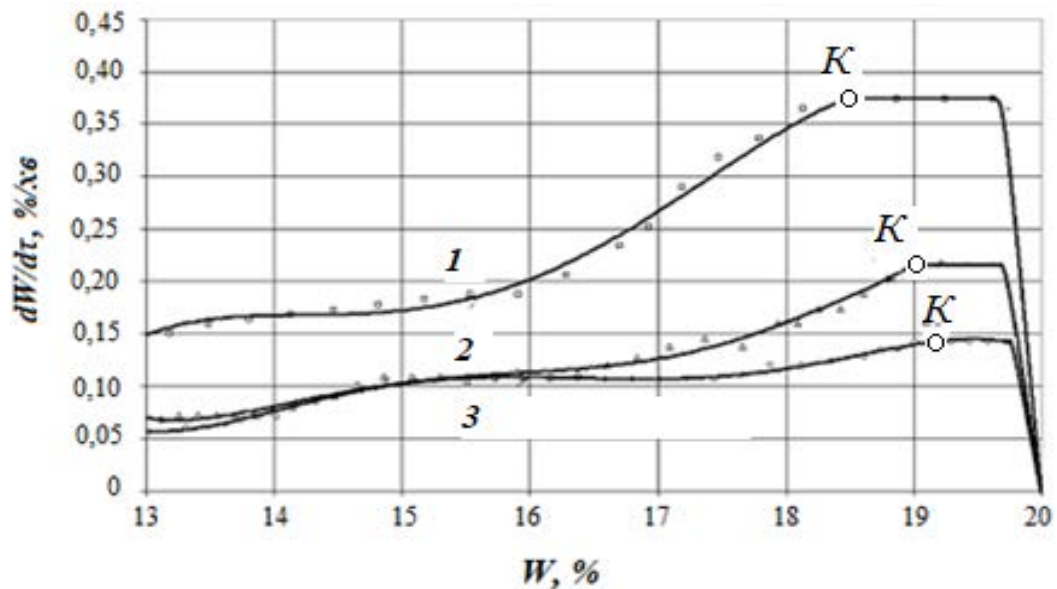
Дослідження із сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур проводилось на сушильному стенді шахтного типу із тепловим насосом для сушіння насіння вівса, пшениці, ячменю та ріпаку (рис. 2.9).

Питомі витрати енергії під час сушіння на одиницю вилучення вологи визначаються за показником лічильника електроенергії та маси матеріалу на тару терезів.

Кінетика процесу сушіння та температурні криві сушіння насіння вівса, пшениці та ячменю представлено на рис. 4.3.



а)



б)

Рис. 4.3. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння (а) та швидкість сушіння (б) насіння вівса, пшениці та ячменю $t = 50^{\circ}\text{C}$, $V = 1,5 \text{ м/с}$, $S = 20 \text{ мм}$, $d = 6 \text{ г/кг с. п.}$:

1,4 – овес; 2,5 – пшениця; 3,6 – ячмінь.

Із наведених зернових культур найбільша інтенсивність спостерігається при сушінні насіння вівса. Тривалість сушіння насіння вівса від початкової вологості 20% до кінцевої вологості 13% складає 32 хв., що на 1,8 раз менше за тривалість сушіння пшениці та на 2,18 раз менше за ячмінь. Прогрівання насіння зернових культур відбувається до температури 36 – 36,5°C (рис. 4.3,а).

Сушіння насіння зернових культур проходить періоди прогрівання, постійної та падаючої швидкості сушіння. Максимальна швидкість сушіння вівса складає 0,375%/хв., пшениці – 0,218%/хв. та ячменю – 0,142%/хв. (рис. 4.3,б)

Для визначення впливу товщини шару насіння ріпаку на кінетику процесу сушіння вибираємо такі параметри сушіння: температура теплоносія – 50°C, швидкість руху теплоносія – 1,2 м/с, початкова вологість насіння ріпаку – 19,2% (рис. 4.4).

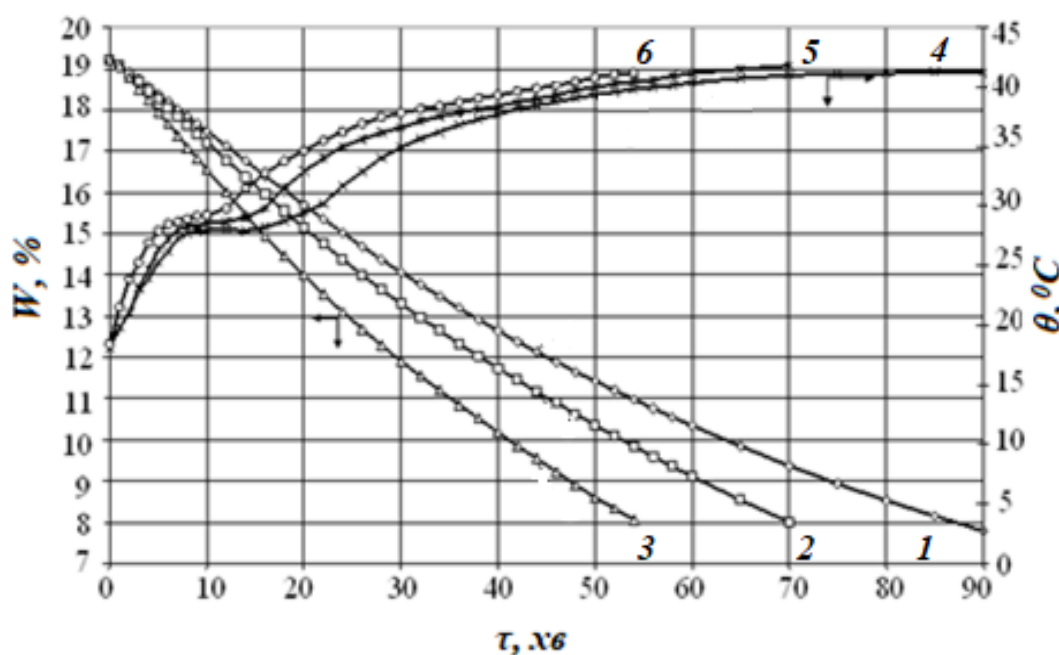


Рис. 4.4. Вплив товщини шару та температури теплоносія на тривалість сушіння насіння ріпаку:

$$W_n = 19,2\%, \quad t = 50^\circ\text{C}, \quad V = 1,2 \text{ м/с}, \quad d = 6 \text{ г/кг с. п.}$$

$$1,4 - 40 \text{ мм}; \quad 2,5 - 30 \text{ мм}; \quad 3,6 - 20 \text{ мм}$$

Збільшення товщини шару від 20 мм до 40 мм – збільшує тривалість сушіння на 66% та завантаження зерносушильної шахти на 35%

(від 17 до 23 кг). Шар ріпаку 20 мм прогривається більш інтенсивно, чим інші і становить $41,8^{\circ}\text{C}$ при тривалості сушіння насіння ріпаку 54 хв. Прогрівання шарів 30 та 40 мм проходить більш повільніше до кінцевої температури $42 - 42,4^{\circ}\text{C}$ при тривалості сушіння відповідно 70 хв. та 88 хв.

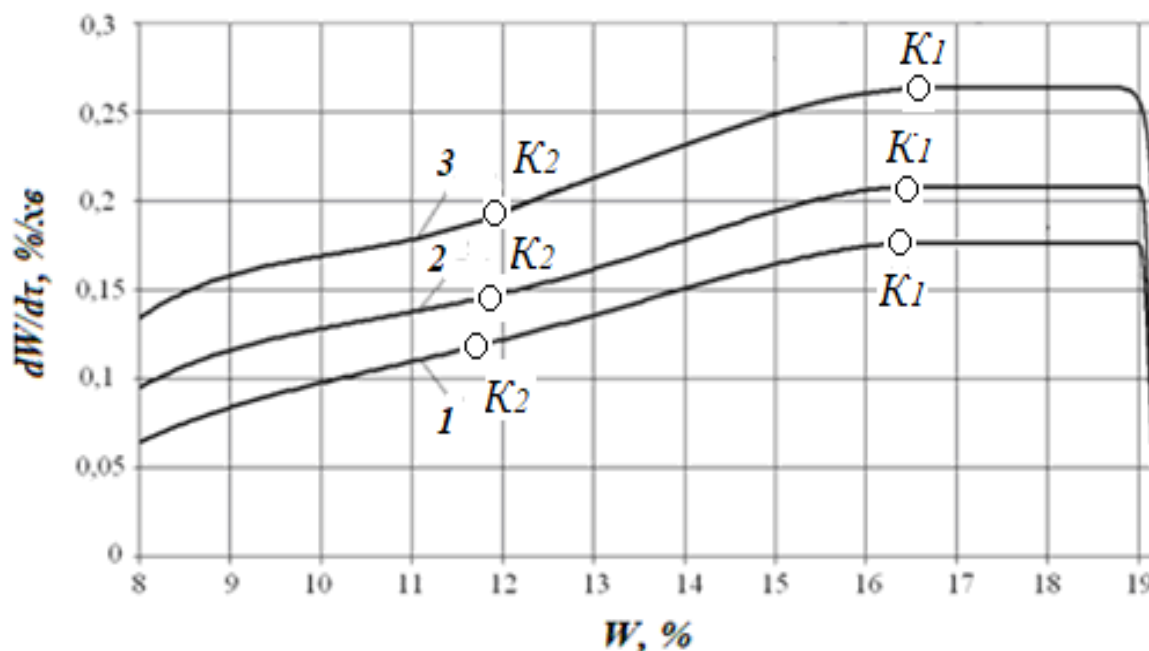


Рис. 4.5. Вплив товщини шару на швидкість сушіння насіння ріпаку:

$$W_n = 19,2\%, \quad t = 50^{\circ}\text{C}, \quad V = 1,2 \text{ м/с}, \quad d = 6 \text{ г/кг с. п.}$$

1 – 40 мм; 2 – 30 мм; 3 – 20 мм

Максимальна швидкість сушіння ріпаку в критичній точці K_1 при товщині шару складає 20 мм – $0,32\%/хв.$, при збільшенні шару до 30 мм швидкість зменшується і складає $0,21\%/хв.$, а при товщині шару 40 мм – $0,181 \%/хв.$ Також на рис. 4.5 спостерігається друга частина другого періоду сушіння в точці K_2 , яка знаходиться в залежності від товщини шару від 11,5 до 12%.

Для дослідження впливу вологовмісту на кінетики процесу сушіння насіння ріпаку проведена модернізація сушильного стенда із тепловим насосом представленого на рис. 2.9 полягає у встановленні додаткового блоку нагрівачів загальною потужністю 7,5 кВт. та автоматичних приборів для підтримання та точного регулювання температури.

При цьому проводилось порівнянням сушіння насіння ріпаку за допомогою теплового насоса та електронагрівачів встановлених перед зерносушильною шахтою з відстанню між коробами 20 мм (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Сушильний стенд шахтного типу із тепловим насосом з блоком електричних нагрівачів:

- 1 – теплонасосний агрегат з щитом керування; 2 – терморегулятор;
 3 – автотрансформатор; 4 – блок нагрівачів; 5 – лічильник електроенергії;
 6 – зерносушильна шахта; 7 – терези.

Зменшення вологовмісту теплоносія в тепловому насосі прискорює процес сушіння насіння ріпаку на 11%. Кінцева температура теплоносія в шарі ріпаку при вологості зерна 8% складає 40,9°C, з електричним нагріванням - 41,2°C (рис. 4.7).

Середні питомі витрати теплоти в сушильному стенді порівнюють підготовка теплоносія з електричним підігріванням в режимі 1 та з тепловим насосом в режимі 3 збільшуються в 4 рази (рис. 4.8).

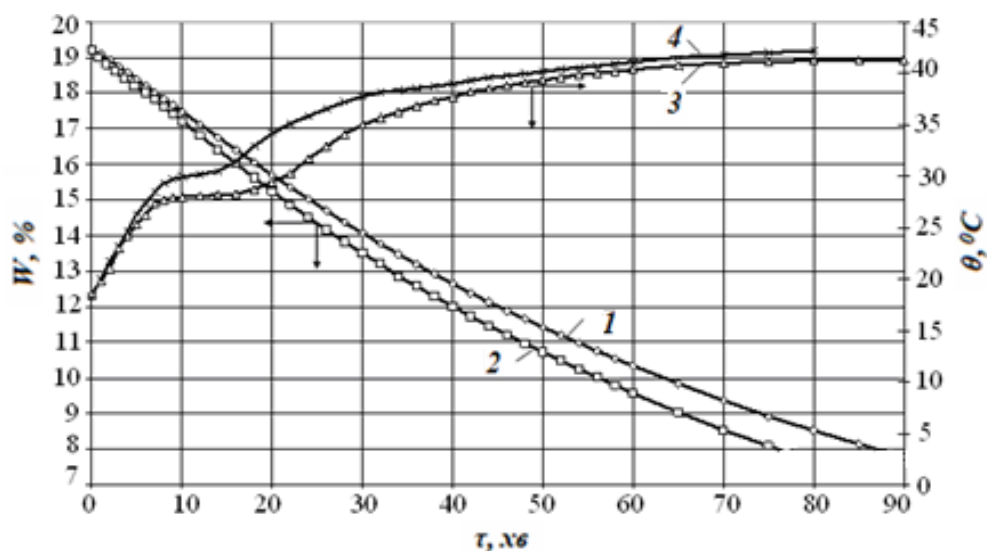


Рис. 4.7. Вплив вологовмісту теплоносія на тривалість сушіння насіння ріпаку: $W_n = 19,2\%$, $t = 50^\circ\text{C}$; $V = 1,5 \text{ м/с}$, $\delta = 40 \text{ мм}$

1,3 – електронагрів ($d = 10 \text{ г/кг с. п.}$),

2,4 – тепловий насос ($d = 6 \text{ г/кг с. п.}$)

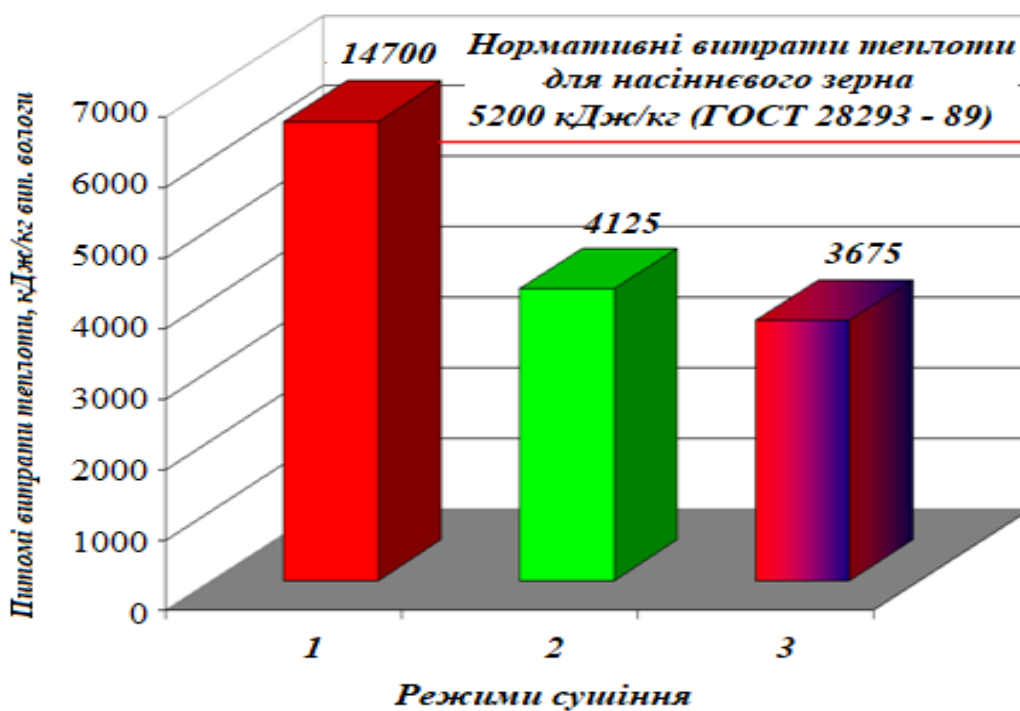


Рис. 14. Питомі витрати теплоти від режиму сушіння ріпаку та способу підготовки теплоносія:

з електронагрівом: 1 – $t = 50^\circ\text{C}$, $V = 1,5 \text{ м/с}$, $\delta = 40 \text{ мм}$, $d = 10 \text{ г/кг с. п.}$;

з тепловим насосом: 2 – $t = 50^\circ\text{C}$, $V = 1,5 \text{ м/с}$, $\delta = 40 \text{ мм}$, $d = 6 \text{ г/кг с. п.}$;

3 – $t = 50^\circ\text{C}$, $V = 1,2 \text{ м/с}$, $\delta = 20 \text{ мм}$, $d = 6 \text{ г/кг с. п.}$

Наведені питомі витрати теплоти в залежності від режиму сушіння показують, що вони менші на 20 – 40% за нормативні ГОСТ 28293-89 [281]. Найменші витрати теплоти в тепловому насосі спостерігаються в режимах 3 і складають відповідно 3675 кДж/кг. Питомі витрати при збільшенні товщини шару від 20 до 40 мм при температурі 50°C і швидкості руху теплоносія 1,5 м/с збільшуються на 12%.

Схожість насіння вівса, пшениці, ячменю та ріпаку при сушінні в сушильному стенді із тепловим насосом на 7 день пророщування при температурі теплоносія 50°C складає 99 – 100%.

4.2. Сушильний стенд камерного типу із тепловим насосом для сушіння насіння олійних та овочевих культур (соя, гарбуз)

Для сушіння насіння олійних та овочевих культур з великою зернівкою був розроблений сушильний стенд камерного типу із тепловим насосом, що додатково оснащений системою повітропроводів з пристроями для нагрівання та циркуляції теплоносія, сушильної камери, вимірювальних схем та приладів для контролю параметрів процесу та вимірювання величин, які характеризують процес сушіння матеріалу (рис. 4.9).

Сушильний стенд із тепловим насосом камерного типу дозволяє збільшити температуру в сушильній камері до 80°C за рахунок встановлення додаткових нагрівачів та встановлений терморегулятор ТК-6 для регулювання температури теплоносія у межах $\pm 0,1^\circ\text{C}$, що говорить про більш точне зняття даних температур теплоносія в камері та нагрівання насіння під час сушіння.

Дільниця теплової підготовки повітря виконана у вигляді прямокутного короба, в якому розміщений двохсекційний електронагрівач потужністю 18 кВт (2), який дозволяє підтримувати та регулювати температуру повітря в широких діапазонах.



Рис. 4.9. Сушильний стенд камерного типу із тепловим насосом для сушіння насіння олійних та овочевих культур (соя, гарбуз):

1 – теплонасосний агрегат; 2 – блок електронагрівачів;

3 – сушильна камера

Технічна характеристика:

Температура теплоносія	30 – 80°C
Швидкість руху теплоносія	1,0 – 5,5 м/с
Продуктивність по вилученій волозі	1 - 2,5 кг/год
Одноразове завантаження	15 - 20 кг
Холодоагент	R22
Температура випаровування холодоагенту	-20÷+10 °C
Коефіцієнт перетворення теплоти	2,8 - 3,2
Встановлена потужність компресора	4,5 кВт
Габаритні розміри сушильної камери:	0,8×0,8×0,9м
Габаритні розміри теплонасосного агрегату :	0,7×0,9×1,3м

Сушильна камера (3) являє собою прямокутний короб із листового заліза з патрубками для подачі та відведення теплоносія. В середині камери встановлені направляючі пластини для встановлення піддонів з продукту.

Зміна в широкому діапазоні швидкості руху теплоносія досягається регулюванням роботи вентилятора за допомогою частотного перетворювача при регулюванні вручну на щиті керування. Швидкість теплоносія в сушильній камері визначалась крильчатим термоанемометром DT- 3893. Вологовміст повітря після теплового насоса вимірювався психрометром.

Після встановлення заданого режиму дослідження в сушильну камеру вставляють піддони із зразком дослідного матеріалу та через деякий час реєструють зменшення маси зразка вручну за допомогою напільних ваг, короткочасно виймаючи для зважування та перемішування матеріалу.

Температура теплоносія в сушильній камері і дослідного матеріалу реєструється за допомогою хромель-алюмелевих термоелектричних перетворювачів типу К (ДСТУ 2837 – 94) із діаметром 0,2 мм.

З метою підвищення точності, інформативності та полегшення обробки одержуваної інформації під час проведення дослідів експериментальний стенд доукомплектована допоміжним обладнанням: аналоговим цифровим перетворювачем *i-7018*, конвертором-інтерфейсом *i-7520* з передачею сигналу на комп'ютер за допомогою спеціально розробленої програми «*System0*».

4.3. Дослідження кінетики сушіння насіння олійних та овочевих культур (соя, гарбуз) на сушильному стенді камерного типу із тепловим насосом

Дослідження із сушіння насіння сої на конвективному сушильному стенді дало можливість визначити енергоефективний режим сушіння з високою схожістю 60/50°C. Вибраний режим для сушіння насіння сої застосовуємо на сушильному стенді камерного типу із тепловим насосом (рис. 4.10).

Сушіння насіння сої в ступеневому режимі сушіння 60/50°C проводили при температурі теплоносія 60°C на протязі 60 хв, потім знижували температуру до 50°C і сушили на протязі 150 хв.

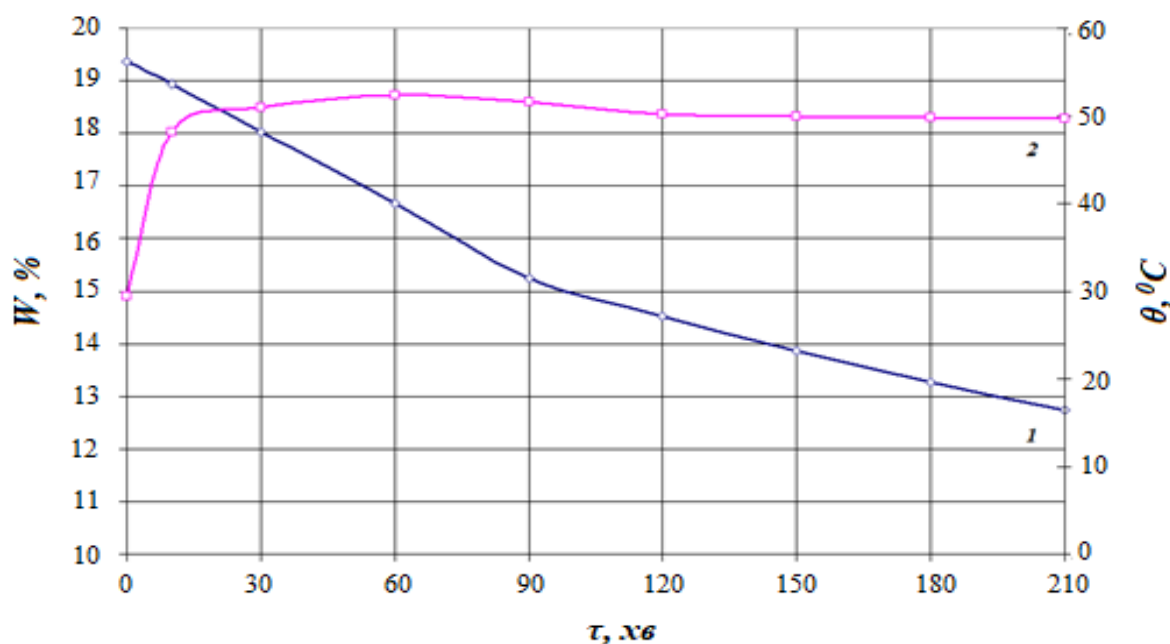


Рис. 4.10. Вплив температури теплоносія в ступінчатому режимі сушіння та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння сої

$$t = 60/50^{\circ}\text{C}, W_n = 19,4\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 6 \text{ г/кг с. п.}:$$

1 – крива сушіння; 2 – температурна крива

Представлені температурні криві свідчать, про досить швидке нагрівання насіння сої до $53,4^{\circ}\text{C}$ при температурі 60°C із зниженням температури теплоносія до 50°C – температура нагрівання сої знижується до $49,7^{\circ}\text{C}$.

Характеризуючи сушіння насіння сої сорту «Княжна» в режимі сушіння $60/50^{\circ}\text{C}$ можна сказати, що процес проходить в період постійної швидкості сушіння при температурі 60°C . Перехід від температури теплоносія 60°C до 50°C – характеризується різким зниженням швидкості сушіння від $0,66$ до $0,33\%/хв$. Потім сушіння відбувається в періоді падаючої швидкості сушіння при температурі теплоносія 50°C і поступово знижується швидкість сушіння до $0,22\%/хв$. (рис. 4.11).

Разом з кінетикою процесу сушіння насіння сої проводили дослідження із визначення схожості. Результати схожості насіння сої показали, що вже на 3 день схожість в режимі сушіння $60/50^{\circ}\text{C}$ склало 100% , як і для вихідного зерна (табл. 4.1).

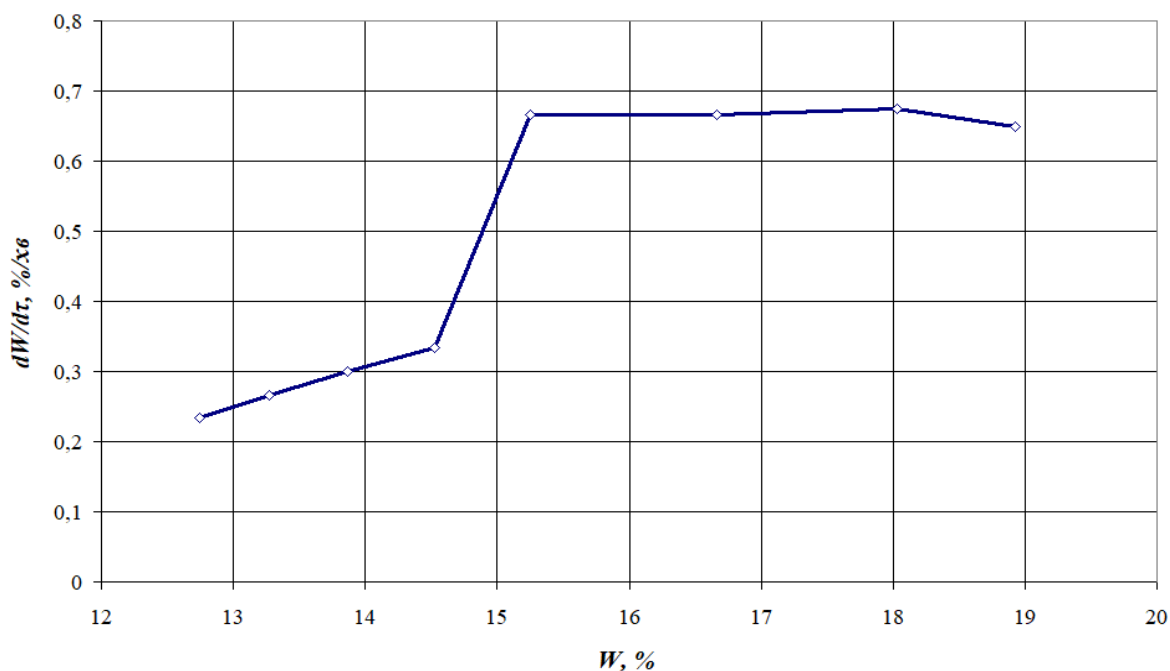


Рис. 4.11. Вплив температури теплоносія в ступінчатому режимі сушіння на швидкість сушіння насіння сої

$$t = 60/50^{\circ}\text{C}, W_n = 19,4\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 6 \text{ г/кг с. п.}$$

Таблиця 4.1.

Вплив ступінчатого режиму сушіння 60/50°C на якісні характеристики насіння сої сорту «Княжна»

№	Режим сушіння	День пророщування / схожість, %	
		2	3
1.	Вихідне насіння	75	100
2.	60/50°C	70	100

Для візуального аналізу пророщування насіння сої сорту «Княжна» наведемо фотографію пророщування на 3,5 та 7 день пророщування (рис. 4.12).

При порівнянні ступеневого режиму сушіння 60/50°C та вихідного насіння, видно що ростки на 7 день більше у вихідного насіння.

Все ж таки, хоча схожість насіння сої на 3 день становить 100%, більш стабільні сходи з сильними проростками відбувається на 5-7 день (рис. 4.12,б,в).

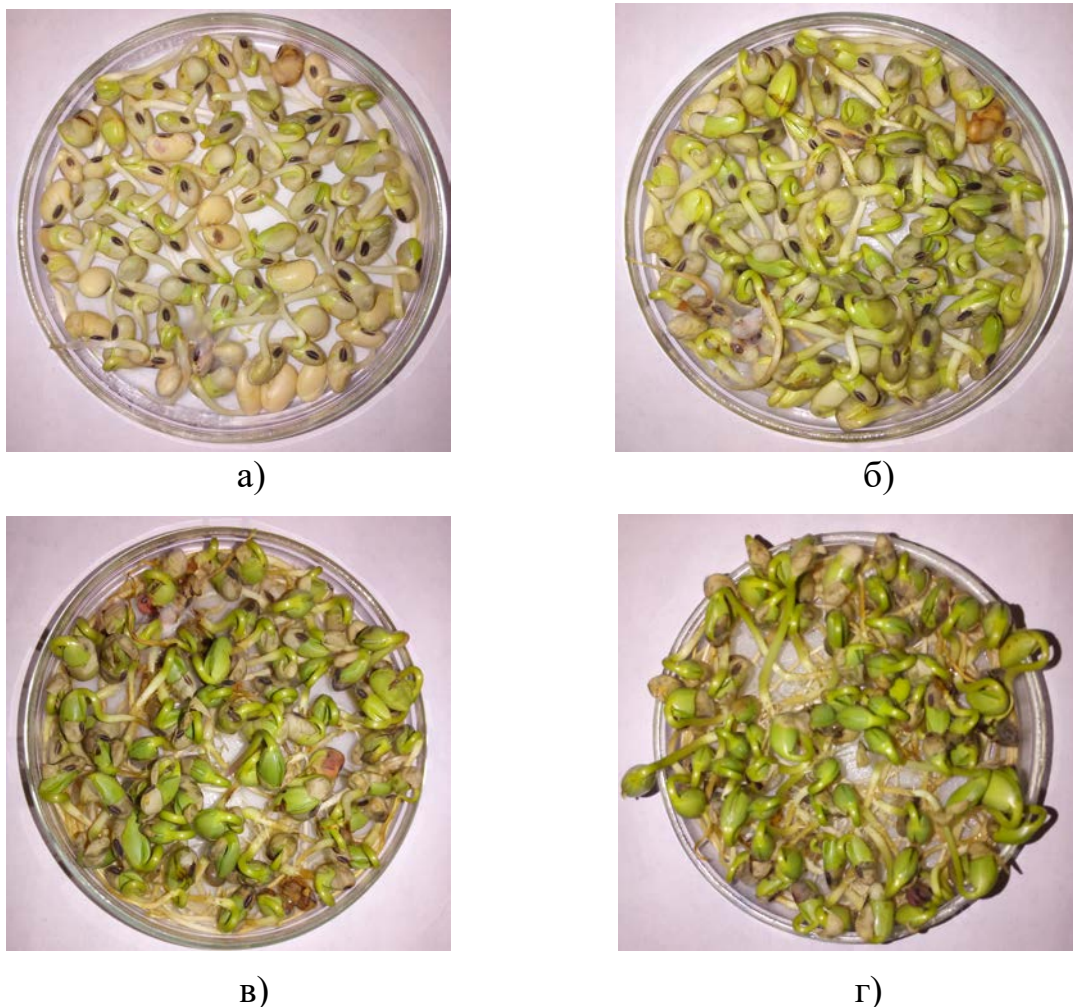


Рис. 4.12. Пророщування насіння сої сорту «Княжна»
в ступеневому режимі сушіння 60/50°C на 3,5,7 день (а-в)
та порівняння з вихідним насінням на 7 день (г)

Інтенсивність росту насіння сорту «Княжна» можна охарактеризувати довжиною ростка в порівнянні з вихідним насінням на протязі 7 днів (табл. 4.2).

З табл. 4.2 видно, що інтенсивність сходів насіння в ступінчатому режимі сушіння відрізняється від вихідного насіння не значно на ± 5 мм.

Таблиця 4.2.

Інтенсивність росту насіння сої сорту «Княжна»

№	Режим сушіння	День пророщування / довжина ростка, мм					
		2	3	4	5	6	7
1.	Вихідне насіння	5	15	30	45	50	65
2.	60/50°C	5	20	35	40	45	60

Сушіння насіння гарбуза насінневого призначення сорту «Стофунтовий» відбувається від початкової вологості 42,5% до 8,5%. Експериментальні дослідження проводилось як в режимі 40°C, так і в ступеневому режимі 60/40°C. Порівняння кінетики процесу запропонованих режимів сушіння показало, що застосування ступеневого режиму сушіння 60/40°C зменшує тривалість на 90 хв. або на 30%. (рис. 4.13).

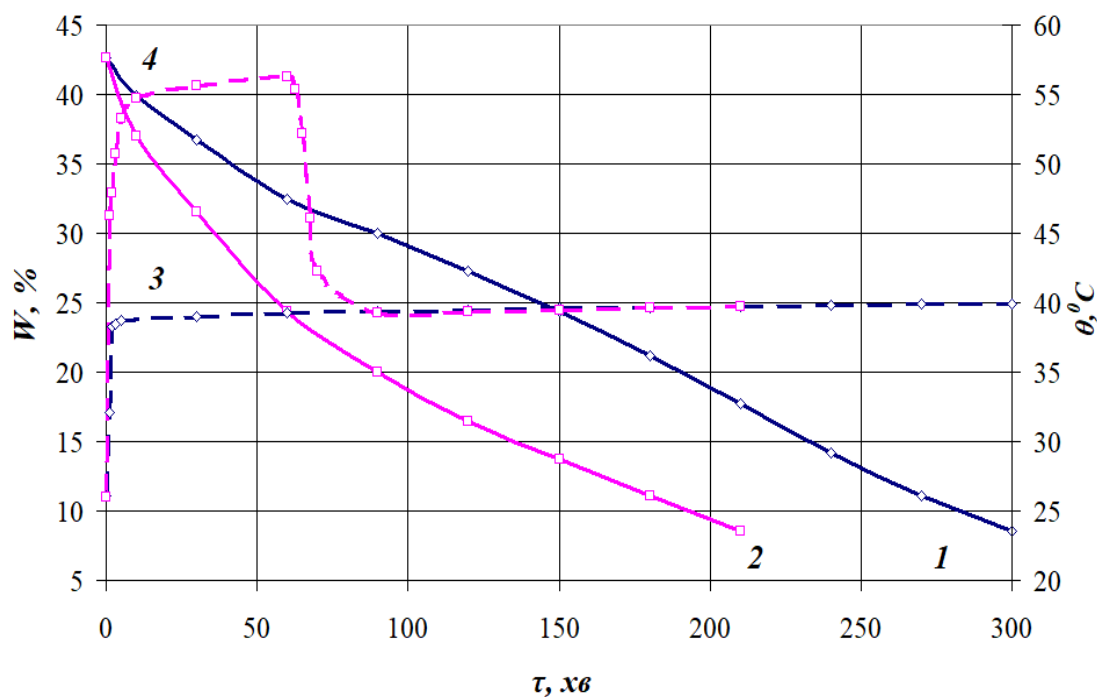


Рис. 4.13. Вплив температури теплоносія та температури нагрівання матеріалу на тривалість сушіння насіння гарбуза

$$W_n = 42,6\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 6 \text{ г/кг с. п.}:$$

$$1,3 - 40^\circ\text{C}; 2,4 - 60/40^\circ\text{C}$$

Прогрівання матеріалу при температурі теплоносія 40°C активно відбувається в основному на протязі 2 хв до температури 38,3°C, а потім підвищується не значно до кінцевої температури нагрівання насіння 39,9°C (рис. 4.13).

Прогрівання насіння в ступеневому режимі сушіння 60/40°C проходить в три етапи:

– на першому етапі тривалість сушіння складає 60 хв із температурою прогрівання насіння 56,3°C;

– на другому етапі відбувається перехід від режиму сушіння 60 до 40°C тривалість 30 хв, – температура нагрівання матеріалу 39,3°C;

– третій етап проходить при температурі сушіння 40°C з поступовим прогрівання насіння гарбуза до кінцевої температури 39,7°C.

Швидкість сушіння в ступеневому режимі сушіння 60/40°C в 2 рази більше чим в режимі сушіння 40°C (рис. 4.14)

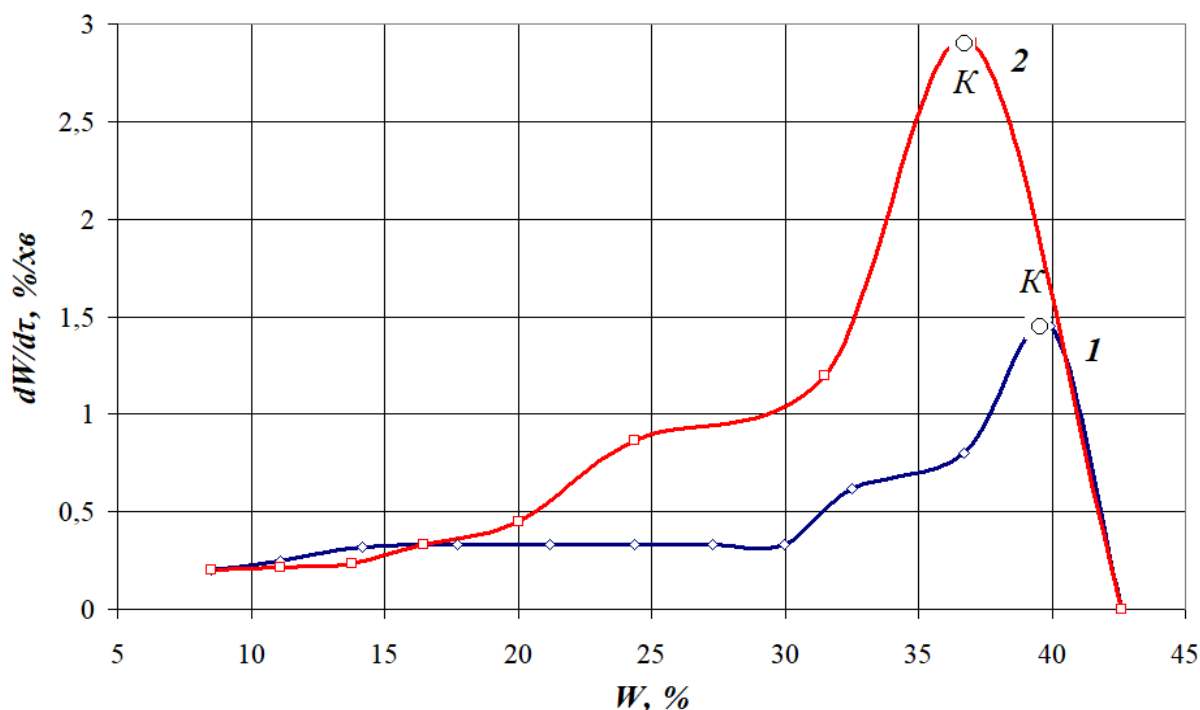


Рис. 4.14. Зміна швидкості сушіння від вологості насіння гарбуза

$$W_n = 42,6\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 6 \text{ г/кг с. п.}:$$

$$1 - 40^\circ\text{C}, 2 - 60/40^\circ\text{C}$$

Характеризуючи процес сушіння в режимі сушіння 40°C, можна пояснити наступним чином. Сушіння насіння гарбуза на початку процесу прогривається до максимального значення швидкості сушіння, потім настає перший період падаючої швидкості сушіння до вологості матеріалу 30%.

Після 30% вологості насіння присутній період постійної швидкості сушіння, що пов'язано із висушуванням насіння після руйнування плівки насіння гарбуза, і стінки насіння більш активно контактують з теплоносієм.

Після 14% вологості матеріалу швидкість сушіння сповільнюється і настає другий період падаючої швидкості.

В ступеневому режимі сушіння 60/40°C період постійної швидкості не спостерігається, а зменшення температури до температури теплоносія 40°C зменшує інтенсивність процесу сушіння. Тому процес проходить в період падаючої швидкості із однаковим характером кривих швидкості сушіння із режимом сушіння 40°C до кінцевої вологості матеріалу 8%.

Для характеристики процесу сушіння насіння сорту «Стофунтовий» на сушильному стенді камерного типу із тепловим насосом проводимо графічну побудову критерію Ребіндера від значень поточної вологості матеріалу під час сушіння (рис. 4.15).

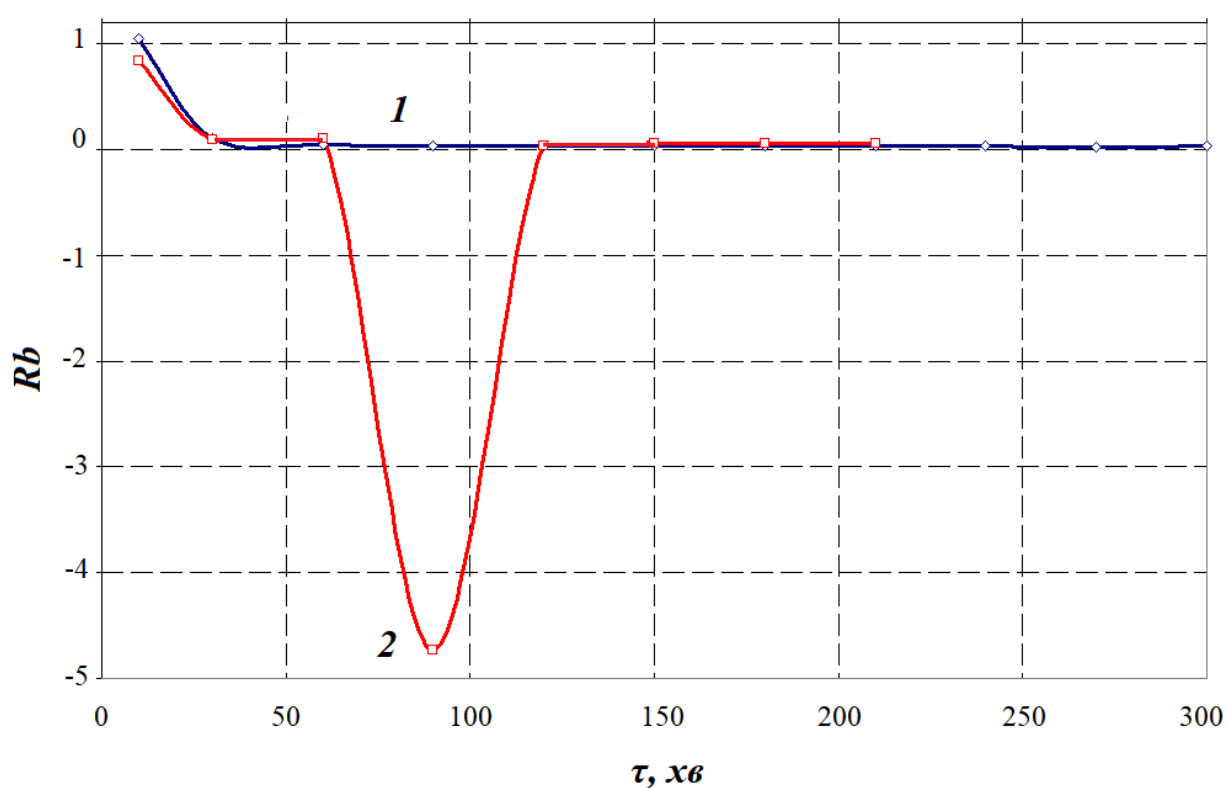


Рис. 4.15. Зміна критерію Ребіндера від тривалості сушіння насіння гарбуза

$$Wn = 42,6\%, V = 1,5 \text{ м/с}, d = 6 \text{ г/кг с. п.}:$$

$$1 - 40^\circ\text{C}, 2 - 60/40^\circ\text{C}$$

З рис. 4.15 можна охарактеризувати тепломасообмінний процес наступним чином:

- в режимі сушіння 40°C процес сушіння насіння гарбуза проходить інтенсивно і наближений до нуля, тобто йде активне випаровування вологи;

- для режиму сушіння 60/40°C на початку процесу йде активне випаровування, а потім із зміною температурою теплоносія відбувається різке охолодження і критерій Ребіндера набуває від'ємного значення. Після вмикання теплонасосного теплогенератора при температурі теплоносія 40°C відбувається активне прогрівання насіння і на 120 хв продовжується випаровування вологи.

Наведені питомі витрати теплоти при сушінні насіння гарбуза насінневого призначення в ступеневому режимі сушіння 60/40°C менші на 40% за нормативні витрати теплоти та витрати в режимі сушіння 40°C (рис. 4.16).

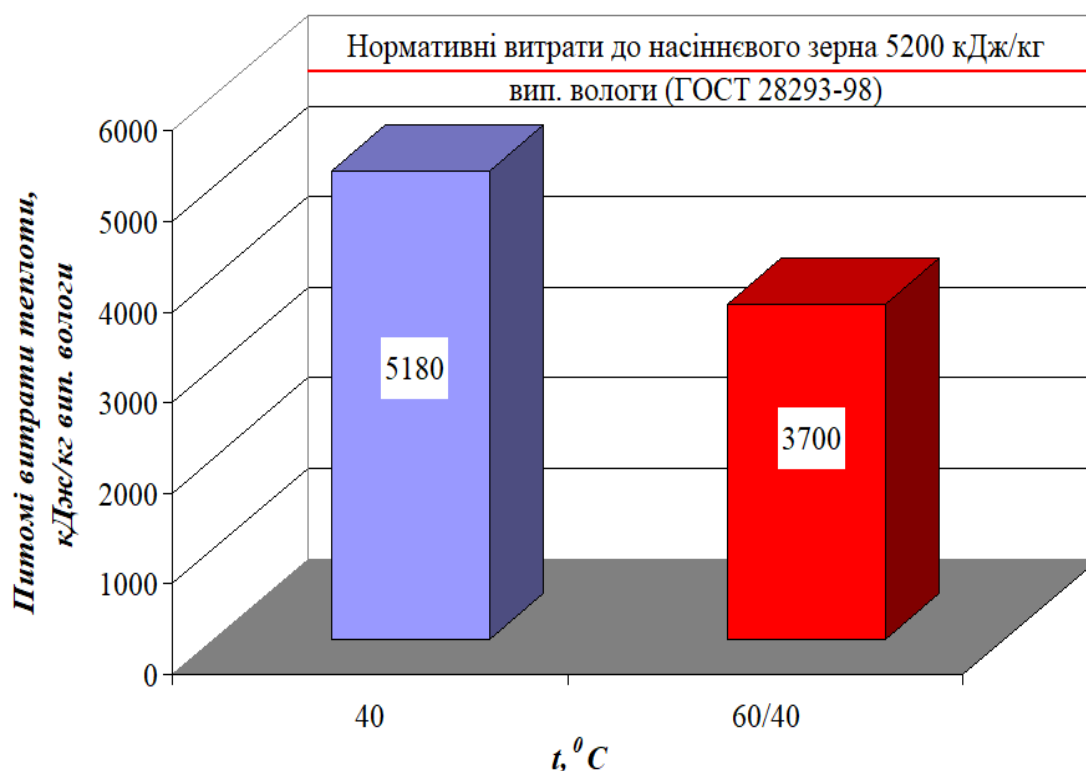


Рис. 4.16. Питомі витрати теплоти від режиму сушіння насіння гарбуза на сушильному стенді із тепловим насосом камерного типу

Фотографії схожості насіння гарбуза сорту «Лікувальний» на 5,7 та 10 день пророщування представлені на рис. 4.17.

З наведених фотографій видно динаміку пророщування насіння гарбуза сорту «Лікувальний» з 5 по 10 день, так на 5 день з'являються сходи, на 7 день відбувається розтріскування насіння, на 10 день – активний ріст ростків з появою листків.

5 день



Вихідне зерно (C = 80%)



40°C (C = 80%)



60/40°C (C = 98%)

7 день



Вихідне зерно (C = 100%)



40°C (C = 99%)



60/40°C (C = 99%)

10 день



Вихідне зерно (C = 100%)



40°C (C = 99%)



60/40°C (C = 100%)

Рис. 4.17. Пророщування насіння гарбуза сорту «Лікувальний»
в режимі сушіння 40 °С та в ступеневому режимі сушіння 60/40°C

Для оцінки якісних показників насіння при сушінні були вибрані 2 сорту насіння гарбуза: 1 сорт - «Лікувальний», 2 сорт - «Стофунтовий». Результати схожості насіння гарбуза знімалися на протязі 10 днів (табл. 4.3).

Таблиця 4.3.

Схожість насіння гарбуза сорту «Лікувальний» та «Стофунтовий» при сушінні на сушильному стенді камерного типу із тепловим насосом

№ п/п	Режим сушіння	День пророщування / схожість, %							
		3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Вихідне насіння 1 сорт	60	70	80	100	100	100	100	100
2.	1 сорт – 40°C	45	65	80	98	99	99	99	99
3.	1 сорт – 60/40°C	66	70	98	98	98	99	99	100
4.	1 сорт – 60/40°C контроль	60	75	99	99	99	99	100	100
5.	Вихідне насіння 2 сорт		60	78	100	100	100	100	100
6.	2 сорт – 40°C		50	74	100	100	100	100	100
7.	2 сорт – 60/40°C		10	50	98	98	98	100	100

Високі результати схожості наведених сортів насіння гарбуза на рівні 100% на 9 та 10 день пророщування говорить про вірність підібраних ступеневих режимів сушіння.

Інтенсивність росту сходів насіння гарбуза починаючи з 3 по 10 день при сушінні на сушильному стенді із тепловим насосом камерного типу заносимо в табл. 4.4.

Порівнюючи сорти насіння гарбуза «Лікувальний» та «Стофунтовий» найбільш активний ріст спостерігається у насіння першого сорту і на 10 день складає 70 - 75 мм.

Для візуальної оцінки сушіння насіння гарбуза сортів «Стофунтовий» та «Лікувальний» на конвективному експериментальному стенді та на

сушильному стенді камерного типу із тепловим насосом на 10 день пророщування в ступеневому режимі сушіння 60/40°C (рис. 4.18).

Таблиця 4.4.

Інтенсивність росту насіння гарбуза сорту «Лікувальний» та «Стофунтовий» при сушінні на сушильному стенді із тепловим насосом камерного типу

№ п/п	Режим сушіння	День пророщування / довжина ростка, мм							
		3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Вихідне насіння 1 сорт	5	15	25	32	50	65	70	85
2.	1 сорт – 40°C	5	20	35	50	62	70	75	80
3.	1 сорт – 60/40°C	7	10	25	45	53	60	65	70
4.	1 сорт – 60/40°C контроль	5	10	30	45	50	65	70	75
5.	Вихідне насіння 2 сорт		11	27	38	45	50	65	70
6.	2 сорт – 40°C		7	24	35	40	50	55	55
7.	2 сорт – 60/40°C		5	15	30	35	40	45	50

Конвективний стенд



Сорт «Стофунтовий»
(C = 98%)

Теплонасосна сушильна установка



Сорт «Стофунтовий»
(C = 100%)



Сорт «Лікувальний»
(C = 100%)

Рис. 4.18. Схожість насіння гарбуза в залежності від сорту та способу підготовки теплоносія в ступеневому режимі сушіння 60/40°C на 10 день пророщування

Наведені фотознімки пророщування насіння гарбуза на 10 день пророщування при сушінні в ступеневому режимі сушіння 60/40°C в залежності від способу сушіння вказує на перевагу теплонасосного способу сушіння, зокрема характеризується здоровими гарними товстими стеблами, появою листків на 10 день пророщування.

При сушінні на конвективному сушильному стенді насіння гарбуза сорту «Стофунтовий» такої активності росту не спостерігається як в сушильному стенді із тепловим насосом (відставання в інтенсивності росту складає 2 – 3 доби).

Схожість насіння гарбуза в ступеневому режимі 60/40°C із зниженим вологовмістом теплоносія при сушінні в сушильному стенді із тепловим насосом складає 100%.

ВИСНОВКИ ДО ЧЕТВЕРТОГО РОЗДІЛУ

Розроблені енергоефективні режими на сушильних стендах із тепловим насосом для сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур. Витрати теплоти менші від нормативних показників для насінневого зерна на 40%. Забезпечується висока схожість насіння на рівні 100%.

Основні наукові результати розділу опубліковані в роботах [223 - 227].

РОЗДІЛ 5.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ПРИ ЗНЕВОДНЕННІ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ, ОЛІЙНИХ, ОВОЧЕВИХ ТА ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР

5.1. Методи дослідження кінетики вологообміну при сушінні насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур

Багатоманітність факторів та їх взаємозв'язок значно ускладнює отримання аналітичних залежностей кінетики сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур. Тому при описанні кінетики процесу сушіння використовують емпіричні залежності. Найбільш наближеним методом розрахунку кінетики сушіння, є метод оснований на вивченні загальних закономірностей процесу, що наближує теорію і практику сушіння. До цих методів відносяться методи А. В. Ликова [175], Г. К. Філоненко [207], М.Ф. Докучаєва, М.С. Смирнова [208] та метод В. В. Красникова [209].

Для визначення тривалості сушіння зерна в різні моменти часу застосовують рівняння А.В. Ликова [202]:

$$\tau = \frac{W_{II} - W_{KP}}{N} + \frac{2,3}{K} \cdot \ln \left(\frac{W_{KP} - W_p}{W - W_p} \right) \quad (5.1)$$

де N – максимальна швидкість сушіння в першому періоді, %/хв.;

K – коефіцієнт сушіння, залежить від властивостей матеріалу та режиму сушіння, 1/хв.,

W_{II} – початкова вологість зерна;

W_{KP} – приведена критична вологість;

W_p – рівноважна вологість зерна;

W – поточна вологість зерна.

Для розрахунку тривалості сушіння пропонується використати метод Г.К. Філоненко [207]. Рівняння тривалості сушіння має вигляд:

$$\tau = \frac{1}{N} \left[(W_{II} - W_{KP}) + A \cdot 2.3 \cdot \lg \frac{W_{KP} - W_p}{W_K - W_p} + B(W_{KP} - W_K) \right] \quad (5.2)$$

де W_K – кінцева вологість зерна

A та B - постійні коефіцієнти.

Тривалість процесу сушіння за методом Краснікова В.В. [209] можна розрахувати за формулою 4.3:

$$\tau = \frac{1}{N} (W_{II} + W_{KP1} + \frac{1}{\chi_1} \lg \frac{W_{KP1}}{W_{KP2}} + \frac{1}{\chi_2} \lg \frac{W_{KP2}}{W_K}) \quad (5.3)$$

де χ_1, χ_2 – відносні коефіцієнти сушіння.

Для визначення тривалості сушіння зерна у другому періоді Сімондс, Вуд та Мак-Івен [210,211] запропонували наступну формулу:

$$\tau = \frac{10G \cdot (W_{II} - W_{KP})}{L \cdot (d_2 - d_1)} + \frac{2,3}{K^1} \cdot \lg \left(\frac{W_{KP} - W_p}{W - W_p} \right) \quad (5.4)$$

G – кількість зерна в шарі в перерахунку на масу сухої речовини, кг;

L – витрата теплоносія, кг/год;

d_1, d_2 – вологовміст теплоносія на вході та виході із шару, г/кг с.п.;

K^1 – коефіцієнт сушіння в елементарному шарі зерна.

Зеленко В.І. у своїй праці [212] запропонував наступну формулу для визначення тривалості процесу сушіння зерна:

$$\tau = \frac{W_{II} - W_{KP1}}{N} + \frac{2 \cdot (W_{KP1} - W_{KP2})}{N} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{W - W_{KP2}}{W_{KP1} - W_{KP2}}} \right) \quad (5.5)$$

За методикою запропонованою І. Л. Любошицем і І.Ф. Пікусом [213] тривалість сушіння в псевдоожигеному шарі при високачастотному осцилюючому режимі має наступний вигляд:

$$d\tau = -\frac{1}{N} \left[\frac{dW}{[a + b(W - W_p)](W - W_p)} \right] \quad (5.6)$$

де a, b – постійні коефіцієнти визначаються експериментально і не залежать від вологості насіння.

Тривалість охолодження зерна при двохступінчатій сушці знайшов відображення в роботі [214] і визначається за формулою:

$$\tau = \frac{(U_{II} - U_K) \cdot r^* \cdot \ln \frac{R}{r} \cdot R \cdot f}{S_3 \cdot 2\lambda \cdot (T_3 - t_0)} \quad (5.7)$$

де U_{II} , U_K – початковий і кінцевий вологовміст зерна, кг/кг;

r^* – питома теплота випаровування, кДж/кг;

R – радіус обмеженого циліндра (форма зерна), м;

r – радіус центральної області зерна, де сконцентроване джерело теплоти при охолодженні, м;

S_3 – площа зерна, м²;

λ – коефіцієнт теплопровідності зерна, кДж/(м год °С);

T_3 – температура зерна перед охолодження, °С;

t_0 – температура охолоджуючого повітря, °С.

Приведені рівняння розрахунку тривалості сушіння зерна наближає нас більш достовірно описувати процес.

5.2. Розрахунок тривалості та швидкості процесів сушіння насіння за методами В. В. Краснікова та В.А. Данілова

Розрахунок кінетики вологообміну при сушінні насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур виконано з використанням методу В.В. Краснікова [209].

Під кінетикою сушіння розуміють зміну середньої вологості та середньої температури матеріалу на протязі часу. Ці залежності дають можливість розрахувати кількість випареної з матеріалу води, витрати теплоти на сушіння та тривалість процесу.

Аналіз багатьох експериментальних даних з кінетики сушіння різних матеріалів різними методами сушіння дозволив встановити наступну закономірність: при сушінні насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур, який має початковий вологість W_n , при будь-якому режимі сушіння зберігається незалежною величина $N\tau$, яка відповідає проміжній вологості W .

Оперування узагальненим часом сушіння надає дослідженню процесу сушіння узагальнюючий характер. Одне і те ж значення може бути отримано внаслідок великої кількості різних комбінацій N і τ , тобто фіксованому значенню $N\tau$ відповідає не одна визначена сукупність першочергових величин, а велика кількість подібних сукупностей. Відповідно, при дослідженні процесу сушіння з використанням $N\tau$ аналізується не єдиний частковий випадок, а велика кількість різних випадків сушіння, об'єднаною деякою узагальненістю параметрів процесів.

В математичній формі запису ці залежності представлені наступним виразом:

$$N_1\tau_1 = N_2\tau_2 = \dots = N_n\tau_n = (N\tau)_W = \text{const} \quad (5.8)$$

де: N_1, N_2, \dots, N_n – швидкість сушіння в перший період (при відсутності першого періоду – максимальна швидкість сушіння) при різних режимах;

$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ – проміжний час сушіння, на протязі якого вологість змінюється від початкової вологості W_n до вологості W .

Змінна $N\tau$ є стійким комплексом величин, характерних для процесу сушіння, тому у відповідності з основами теорії подібності і аналізу розмірностей [215, 216] величину $N\tau$ назвали узагальненою змінною або узагальненим часом сушіння.

В частковому випадку для першого періоду сушіння:

$$(N\tau)_W = W_n - W \quad (5.9)$$

В загальному випадку для другого періоду сушіння:

$$(N\tau)_W = W_n - W + W_x = \text{const} \quad (5.10)$$

де: W_x – величина, яка залежить від властивостей матеріалу, визначається з експерименту.

Чим більше величина N , тим менше час сушіння τ , необхідний для досягнення заданої вологості W , але згідно (4.1) або (4.3) при всіх можливих N , для цього W , величина $N\tau$ лишається постійною. З наведеного вище витікає, що якщо по вісі абсцис відкладати узагальнюючий час $N\tau$, а по вісі ординат –

величину поточної вологості W , то всі експериментальні криві сушіння даного матеріалу, отримані при одній початковій вологості W_n , але при різних режимах (сімейство кривих), перенесені в нову систему координат $W - N\tau$, з'єднуються в єдину криву, названу узагальненою кривою кінетики сушіння.

По В.В. Краснікову швидкість сушіння в кожній частині другого періоду являє собою лінійну функцію вологості, тобто, дійсна крива швидкості сушіння в другому періоді замінюється ломаною прямою.

Використовуємо для розгляду, так звану відносну швидкість сушіння, яка визначається виразом:

$$N^* = \left| \frac{dW}{d\tau} \right| \div N = \frac{1}{N} \left| \frac{dW}{d\tau} \right| \quad (5.11)$$

Величина відносної швидкості сушіння при даному W , яка знаходиться з узагальненої кривої сушіння $W - N\tau$, чисельно рівна тангенсу кута нахилу кривої точки W до вісі $N\tau$, тобто N^* знаходиться безпосередньо з узагальненої кривої сушіння:

$$N^* = \frac{1}{N} \frac{dW}{d\tau} = \operatorname{tg}(W, N\tau) = f(W) \quad (5.12)$$

Величина N^* не залежить від режиму сушіння і для конкретного матеріалу при даному методі сушіння є лише функцією вологості.

Провівши графічне диференціювання всього лише однієї узагальненої кривої кінетики сушіння, можна отримати криву $N^* - W$, яка носить назву узагальненої кривої швидкості сушіння.

Криві сушіння та швидкості сушіння капілярно-пористих тіл, не дивлячись на різноманіття режимів сушіння, а також відмінність в механізмах перенесення вологи і тепла в широкому діапазоні температур теплоносія мають в основному однаковий характер. На кривих знаходиться два періоди, другий період ділиться на дві або три частини, виявлені критичні точки $W_{к1}$, $W_{к2}$ і $W_{к3}$. Відмінність виявляється лише в кількісному відношенні. Подібна аналогія спостерігається, також, при порівнянні кривих сушіння та швидкості сушіння визначеного матеріалу різними методами сушіння, тобто, відмінність в

режимах і методах сушіння не приводить до змін виду кривих сушіння і швидкості сушіння даного матеріалу. При математичному описанні кінетики вологообміну при сушінні в другому періоді, у зв'язку з викладеним, обов'язково повинні враховуватися величини емпіричних коефіцієнтів, обумовлені властивостями даного матеріалу. Ці коефіцієнти, як правило, визначаються безпосередньо, з досліду по сушінню даного матеріалу.

Рівняння кривої сушіння в першому періоді має вигляд:

$$W = W_n - N\tau \quad (5.13)$$

Другий період сушіння починається при всіх режимах в W_{k_1} і часу τ , рівного тривалості першого періоду сушіння.

Рівняння для першої частини другого періоду має вигляд:

$$\lg(W - W_p) = \lg(W_{k_1} - W_p) - K_1\tau_1 \quad (5.14)$$

$$W_{k_1} \geq W \geq W_{k_2}$$

де K_1 – коефіцієнт сушіння 1-ої частини другого періоду;

τ_1 – час, який відраховується від початку 1-ої частини другого періоду.

Рівняння для другої частини другого періоду має вигляд:

$$\lg(W - W_p) = \lg(W_{k_2} - W_p) - K_2\tau_2 \quad (5.15)$$

$$W_{k_2} \geq W \geq W_{k_3}$$

де K_2 – коефіцієнт сушіння 2-ої частини другого періоду;

τ_2 – час, який відраховується від початку 2-ї частини другого періоду.

Рівняння для третьої частини другого періоду має вигляд:

$$\lg(W - W_p) = \lg(W_{k_3} - W_p) - K_3\tau_3 \quad (5.16)$$

$$W_{k_3} \geq W \geq W_k$$

де K_3 – коефіцієнт сушіння 3-ої частини другого періоду;

τ_3 – час, який відраховується від початку 3-ї частини другого періоду.

Величина W_p являє собою рівноважну вологість матеріалу. Величина W_k визначає кінцеву вологість висушеного матеріалу.

Коефіцієнти K_1 , K_2 і K_3 – називають коефіцієнтами сушіння, чисельно рівне тангенсам кутів нахилу відрізків прямих до вісі τ в напівлогарифмічному

анаморфозі. Величина цих коефіцієнтів залежить від роду вологого матеріалу, його властивостей, режиму і методу сушіння.

Вплив режиму на коефіцієнти K_1 , K_2 і K_3 може бути відображено величиною N – максимальною швидкістю сушіння матеріалу при даному режимі в перший період сушіння (або при відсутності першого періоду – максимальною швидкістю сушіння при даному W_n). Це можливо тому, що N є узагальненою величиною, в якій відображено вплив всіх параметрів, які впливають на швидкість сушіння даного матеріалу і розповсюджується на весь другий період сушіння.

$$K_1 = \chi_1 N \quad (5.17)$$

$$K_2 = \chi_2 N \quad (5.18)$$

$$K_3 = \chi_3 N \quad (5.19)$$

Значення величин χ_1 , χ_2 , χ_3 – мають назву відносними коефіцієнтами сушіння, в двох (трьох) частинах другого періоду різні, вони визначаються формою зв'язку вологи з матеріалом, його структурою та методом сушіння, але не залежить від режиму.

Відносні коефіцієнти сушіння легко визначаються з дослідної кривої за наступним виразом:

$$\chi_1 = \frac{\lg(W_{K_1} - W_p) - \lg(W_{K_2} - W_p)}{N \max \tau_1} \quad (5.20)$$

$$\chi_2 = \frac{\lg(W_{K_2} - W_p) - \lg(W_{K_3} - W_p)}{N \max \tau_2} \quad (5.21)$$

$$\chi_3 = \frac{\lg(W_{K_3} - W_p) - \lg(W_{K_4} - W_p)}{N \max \tau_3} \quad (5.22)$$

Загальна тривалість процесу сушіння τ_T (без врахування періоду прогріву) складається з тривалості сушіння в першому періоді τ_1 , в 1-й τ_2 , 2-й τ_3 і 3-й τ_4 частинах другого періоду:

$$\tau_T = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 \quad (5.23)$$

Вирішивши рівняння (5.13) – (5.16) відносно τ і використовуючи співвідношення (5.17) - (5.19) отримують вираз для розрахунку тривалості сушіння в кожній частині процесу.

Тривалість сушіння в перший період дорівнює:

$$\tau_1 = \frac{Wn - W_{K_1}}{N} \quad (5.24)$$

Тривалість сушіння в 1 – й частині другого періоду:

$$\tau_1 = \frac{1}{\chi_1 N} \lg \frac{W_{K_1} - W_p}{W_{K_2} - W_p} \quad (5.25)$$

Тривалість сушіння в 2 – й частині другого періоду:

$$\tau_2 = \frac{1}{\chi_2 N} \lg \frac{W_{K_2} - W_p}{W_{K_3} - W_p} \quad (5.26)$$

Тривалість сушіння в 3 – й частині другого періоду:

$$\tau_3 = \frac{1}{\chi_3 N} \lg \frac{W_{K_3} - W_p}{W_{K_4} - W_p} \quad (5.27)$$

Загальна тривалість сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур (без врахування першого періода сушіння) становить:

$$\tau_{\text{роз}} = \frac{1}{N} \left(\frac{1}{\chi_1} \lg \frac{W_{K_1} - W_p}{W_{K_2} - W_p} + \frac{1}{\chi_2} \lg \frac{W_{K_2} - W_p}{W_{K_3} - W_p} + \frac{1}{\chi_3} \lg \frac{W_{K_3} - W_p}{W_{K_4} - W_p} \right) \quad (5.28)$$

5.3. Дослідження кінетики вологообміну при сушінні насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур

Дослідження кінетики вологообміну насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур представлені згідно з методикою 5.1.

Для дослідження кінетики сушіння із 4 груп було взято насіння пшениці, сої, гарбуза та ріпаку та проведено побудова в системі напівлогарифмічних координатах $\lg(W - W_p)$ від часу проведення досліду (рис. 5.1). Значення рівноважної вологості для насінневих культур взято з табл. 2.1 – 2.2.

Представлені криві сушіння насіння пшениці в напівлогарифмічних координатах на рис. 5.1 вказують на те, що другий період складається з двох

частин з критичними точками K_1 та K_2 . Чим менша температура теплоносія, тим значення критичних точок наступає пізніше і процес проходить повільніше.

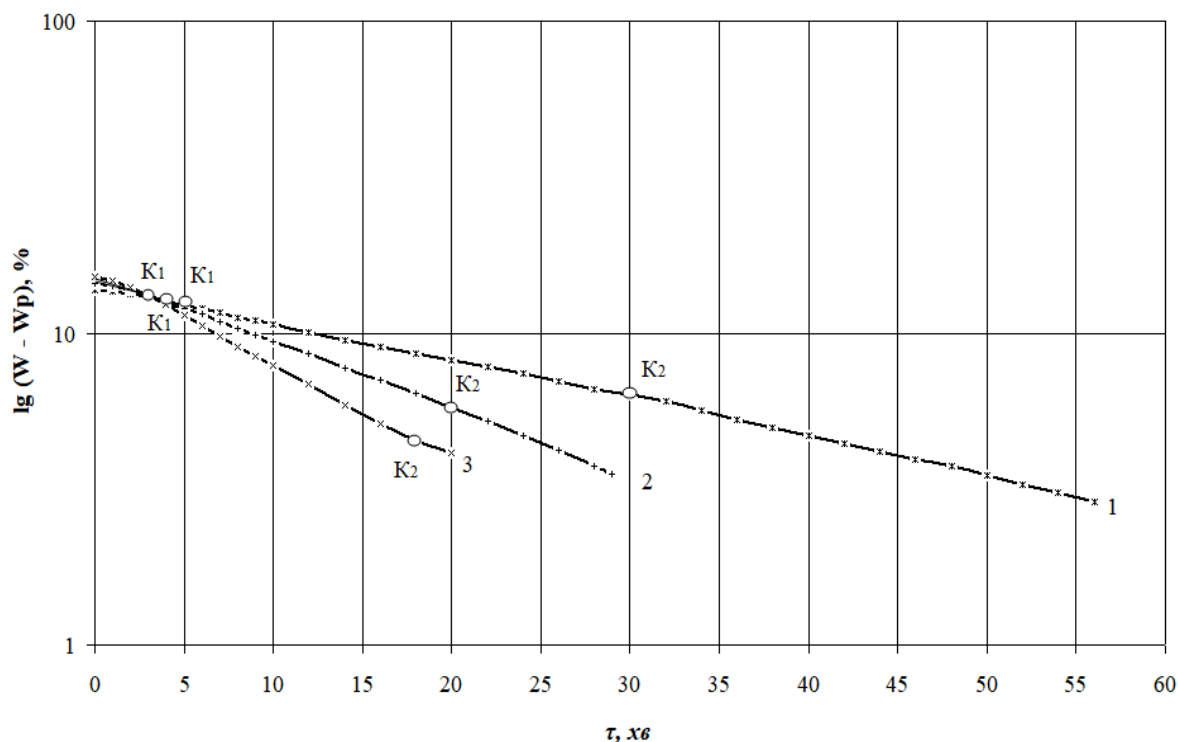


Рис. 5.1. Вплив температури теплоносія на тривалість сушіння насіння пшениці в напівлогарифмічній системі координат:

$$V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}$$

$$1 - 50^\circ\text{C}; 2 - 65^\circ\text{C}; 3 - 80^\circ\text{C}.$$

Аналогічно проводимо аналіз для насіння сої, гарбуза та ріпаку із визначення критичних точок.

При аналізі кінетики сушіння насіння сої також існують дві критичні точки K_1 та K_2 , що за тривалістю сушіння наступають дещо пізніше (рис. 5.2).

Аналіз сушіння насіння гарбуза показав, що при збільшенні температури теплоносія від 40 до 60°C в другому періоді кількість критичних точок становить 3 (рис. 5.3).

Дослідження процесу сушіння насіння ріпаку в елементарному шарі на конвективному сушильному стенді показало, що другий період також ділиться на дві частини з критичними точками K_1 та K_2 , як при сушінні пшениці та сої. Але друга частина другого періоду займає від 10 до 20% від загальної часу проведення дослідів (рис. 5.4).

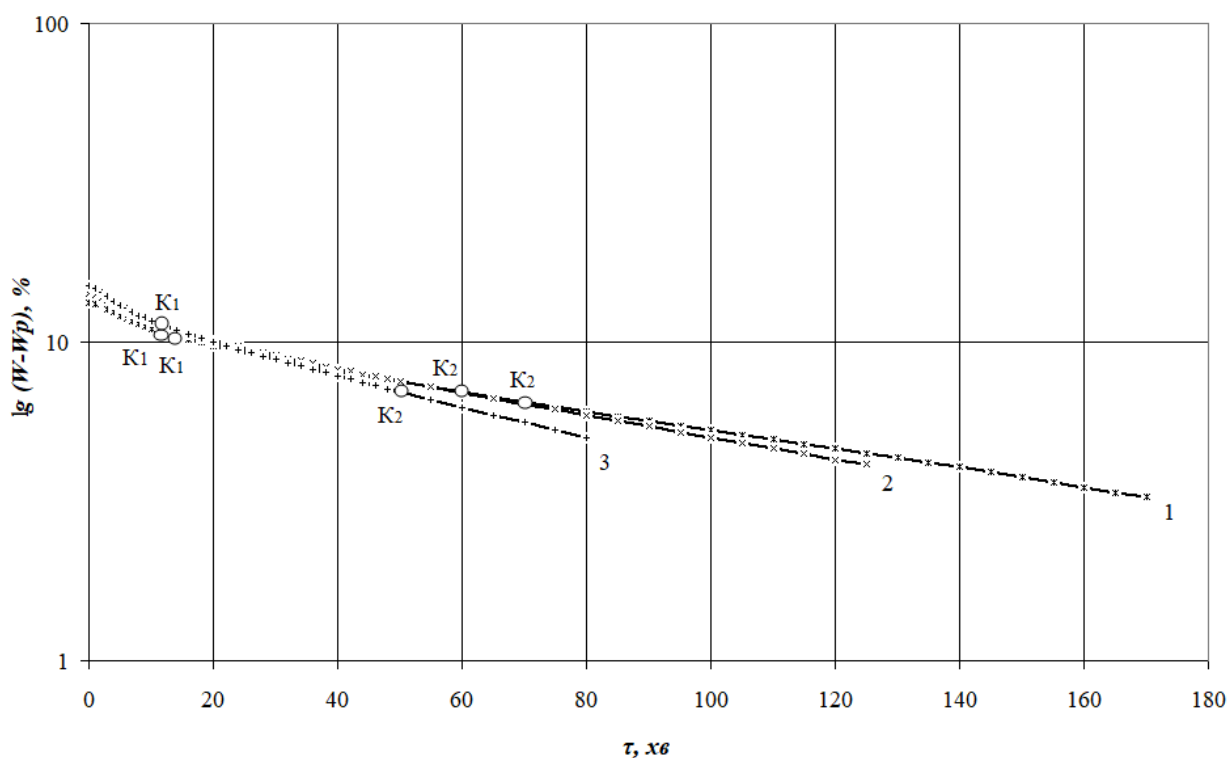


Рис. 5.2. Вплив температури теплоносія на тривалість сушіння насіння сої в напівлогарифмічній системі координат:

$$V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}$$

$$1 - 40^\circ\text{C}; 2 - 50^\circ\text{C}; 3 - 60^\circ\text{C}.$$

Для характеристики процесу в цілому необхідно побудувати узагальнені криві сушіння, які будуть характеризувати загальний процес сушіння незалежно від режиму сушіння.

Узагальнені криві сушіння побудовані на основі кривих сушіння отриманих з різних режимів сушіння, що представлені на рис. 5.1 – 5.4.

Проводячи аналіз узагальнених кривих сушіння, можна сказати, що всі режими сушіння лягають на одну криву із похибкою не більше 10% (рис. 5.5). За комплексом $N_{max} \tau$ найшвидше процес відбувається при сушінні насіння пшениці, найдовше у насіння гарбуза.

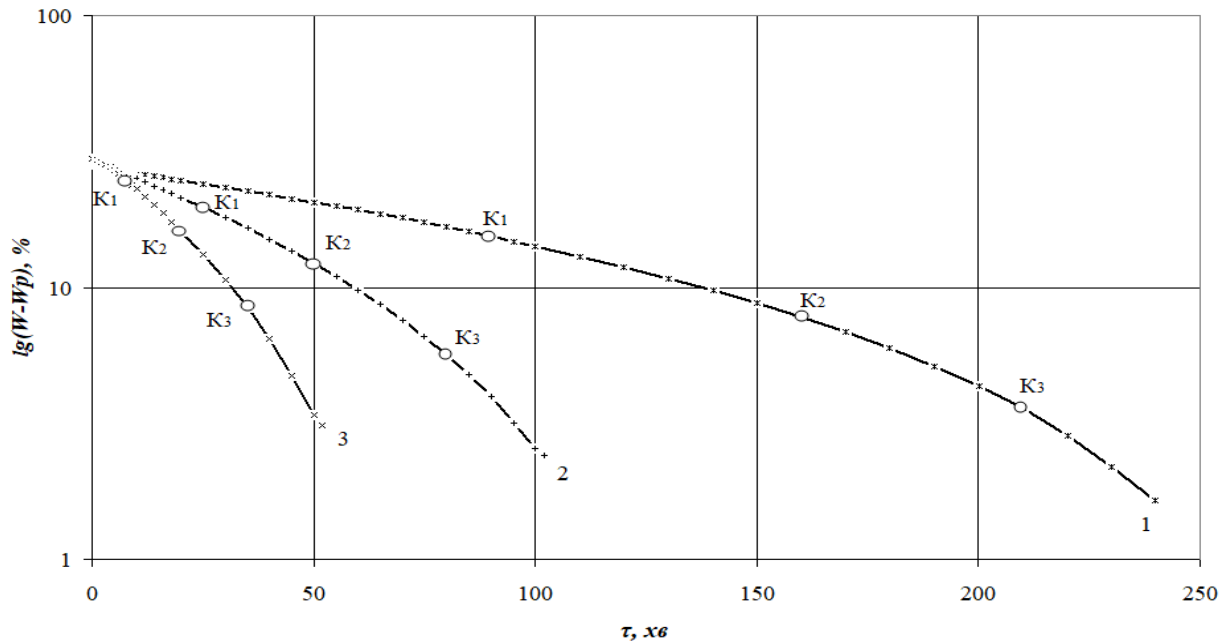


Рис. 5.3. Вплив температури теплоносія на тривалість сушіння насіння гарбуза в напівлогарифмічній системі координат:

$$V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}$$

1 – 40°C; 2 – 50°C; 3 – 60°C.

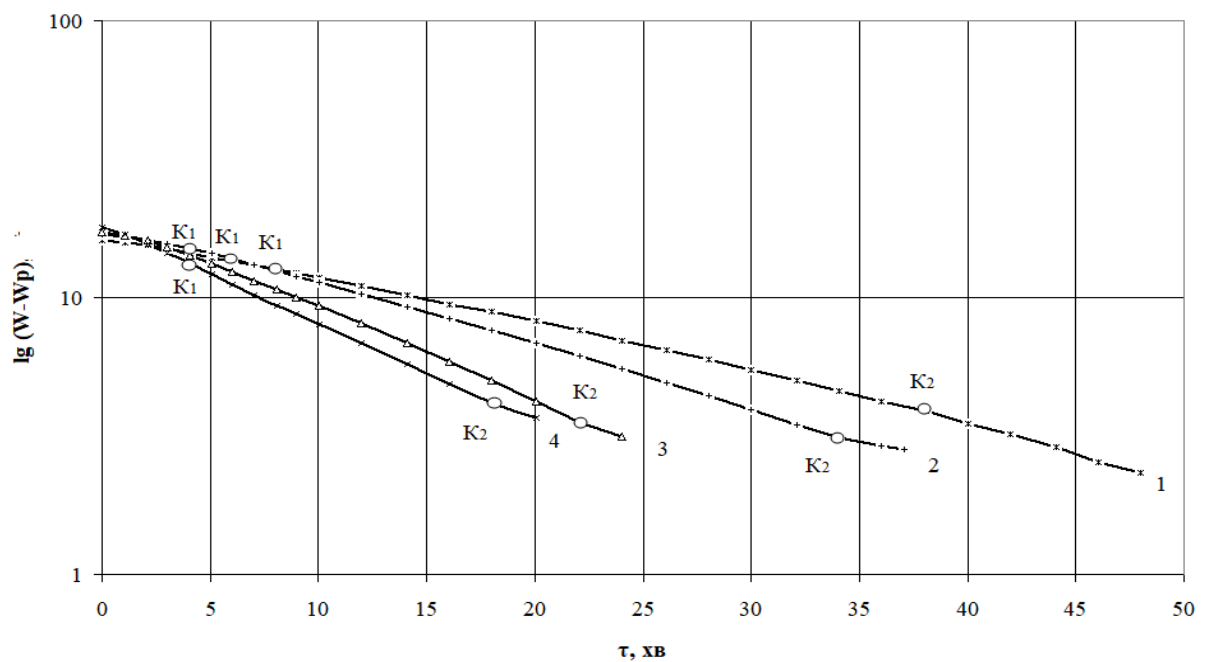


Рис. 5.4. Вплив температури теплоносія на тривалість сушіння насіння ріпаку в напівлогарифмічній системі координат:

$$V = 1,5 \text{ м/с}, d = 10 \text{ г/кг с. п.}$$

1 – 50°C; 2 – 60°C; 3 – 70°C; 4 – 80°C.

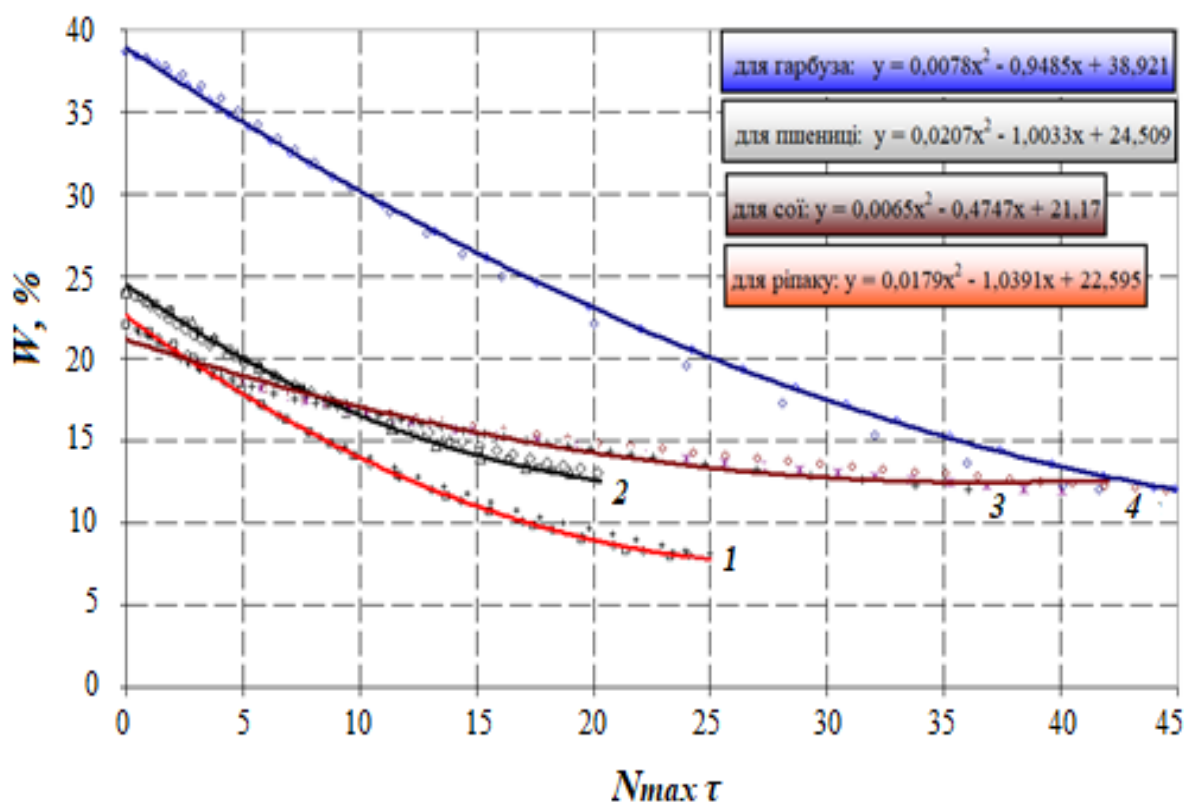


Рис. 5.5. Узагальнені криві сушіння насіння пшениці, сої, гарбуза та ріпаку в системі координат $W - N_{max} \tau$ (за методом Краснікова В.В.):

1 – ріпак; 2 – пшениця; 3 – соя; 4 - гарбуз.

В. А. Данилов [217] розробив інший метод узагальнення кривих сушіння. Він показує, що існує пропорційність між швидкістю сушіння в перший період N при будь-якому режимі і оберненою величиною тривалості процесу τ_T від початкового вологовмісту W_n до кінцевого W_k , причому ця пропорційність зберігається при всіх режимах

$$N \approx \frac{1}{\tau_T} \quad (5.29)$$

Підставляємо рівняння (4.22) в рівняння (4.1) отримаємо:

$$\frac{\tau}{\tau_{T1}} = \frac{\tau}{\tau_{T2}} = \dots = \left(\frac{\tau}{\tau_T} \right) = const \quad (5.30)$$

Це означає, що для даного проміжного вологовмісту W при незмінних W_n та W_k величина $\frac{\tau}{\tau_T}$ зберігається постійною незалежно від режиму сушіння.

Оцінюючи результати досліджень узагальнених кривих сушіння насіння пшениці, сої, гарбуза та ріпаку метод Данілова В.А. більш точно описує процес (рис. 5.6).

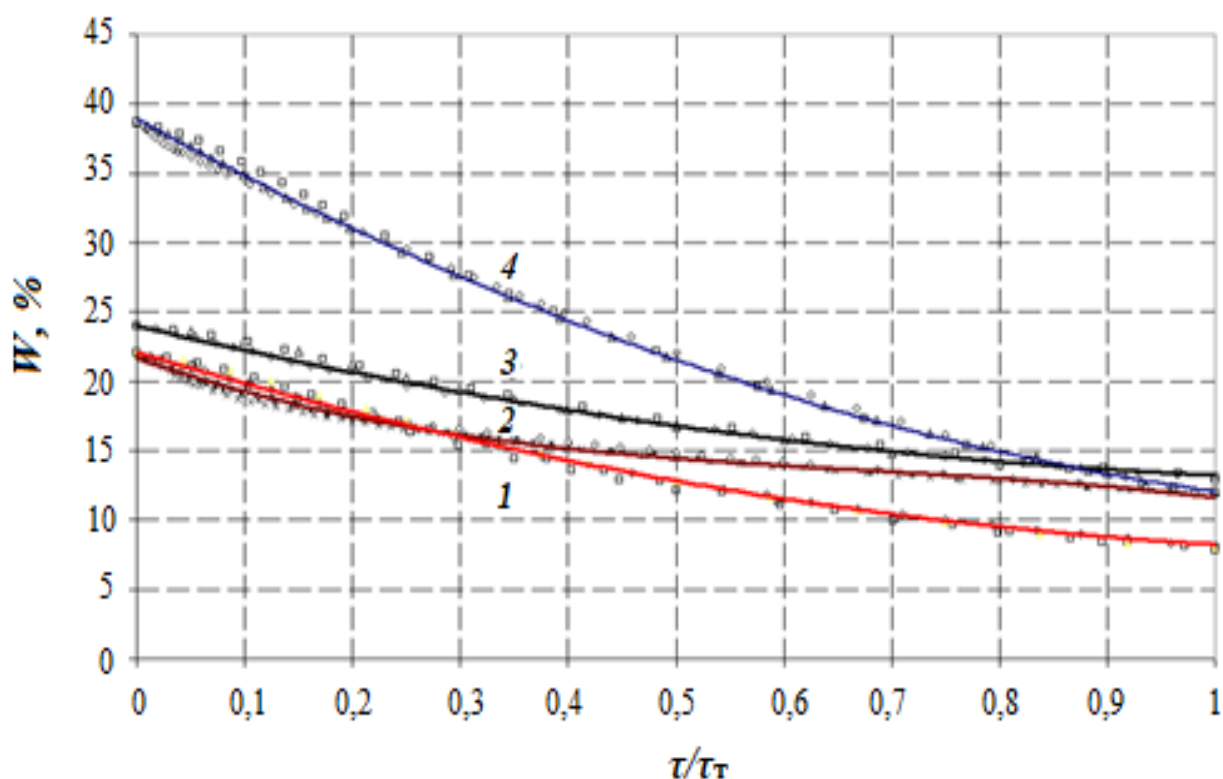


Рис. 5.6. Узагальнена крива кінетики сушіння насіння пшениці, сої, гарбуза та ріпаку в координатах $W - \tau/\tau_T$ (за методом Данілова В.А.):

1 – ріпак; 2 – соя; 3 – пшениця; 4 - гарбуз.

Також побудовані узагальнені криві сушіння для різних насінневих матеріалів, що переносяться на рис. 5.7 в напівлогарифмічну систему координат, що вказує на одному графіку на кінетику процесу сушіння із зазначенням критичних точок та дає можливість визначити відносні коефіцієнти сушіння $\chi_1 - \chi_3$ та коефіцієнти сушіння $K_1 - K_3$.

Проводячи графічне диференціювання узагальнених кривих кінетики сушіння, представлених на рис. 5.7 отримані узагальнені швидкості сушіння, які визначаються за формулою 5.12.

Всі отримані результати заносяться в таблицю 5.1.

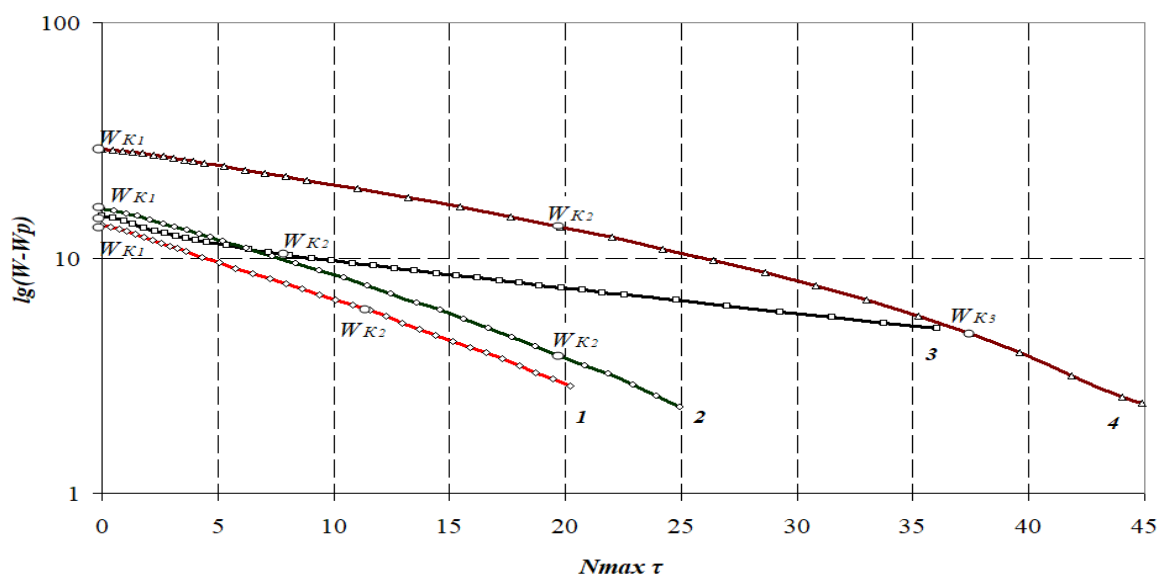


Рис. 5.7. Узагальнені криві сушіння насіння пшениці, сої, гарбуза та ріпаку в напівлогарифмічній системі координат:
1 – пшениця; 2 – ріпак; 3 – соя; 4 – гарбуз.

Таблиця 5.1.

Відносні та кінетичні коефіцієнти сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур

№ п/п	Назва насіння	Діапазон критичних вологості, %	Відносні коефіцієнти сушки			Кінетичні коефіцієнти сушки		
			χ_1	χ_2	χ_3	K_1	K_2	K_3
1.	Пшениця	21,61 – 15,35	0,0157	-	-	0,010	-	-
		15,35 – 13,12		0,012	-	-	0,0076	-
2	Соя	20,94 – 17,38	0,012	-	-	0,006	-	-
		17,38 – 12,02	-	0,0052	-	-	0,0017	-
3.	Гарбуз	36,15 – 23,17	0,0262	-	-	0,0117	-	-
		23,17 – 14,38	-	0,028	-	-	0,0125	-
		14,38 – 12,02	-	-	0,0222	-	-	0,0099
4.	Ріпак	18,32 – 9,14	0,02	-	-	0,013	-	-
		9,14 – 8,13	-	0,0125	-	-	0,0081	-

В залежності від діапазону між критичними точками змінюються відносні та кінетичні коефіцієнти сушіння. Найвищі коефіцієнти сушіння в діапазоні вологості 23,17 – 14,38%.

З рис. 5.8 видно, що узагальнені криві швидкості сушіння представлені плавними нахильними кривими з періодами прогрівання та падаючою швидкістю сушіння. З метою описання залежностей N^* від W узагальнені криві швидкості сушіння побудовані в напівлогарифмічних координатах.

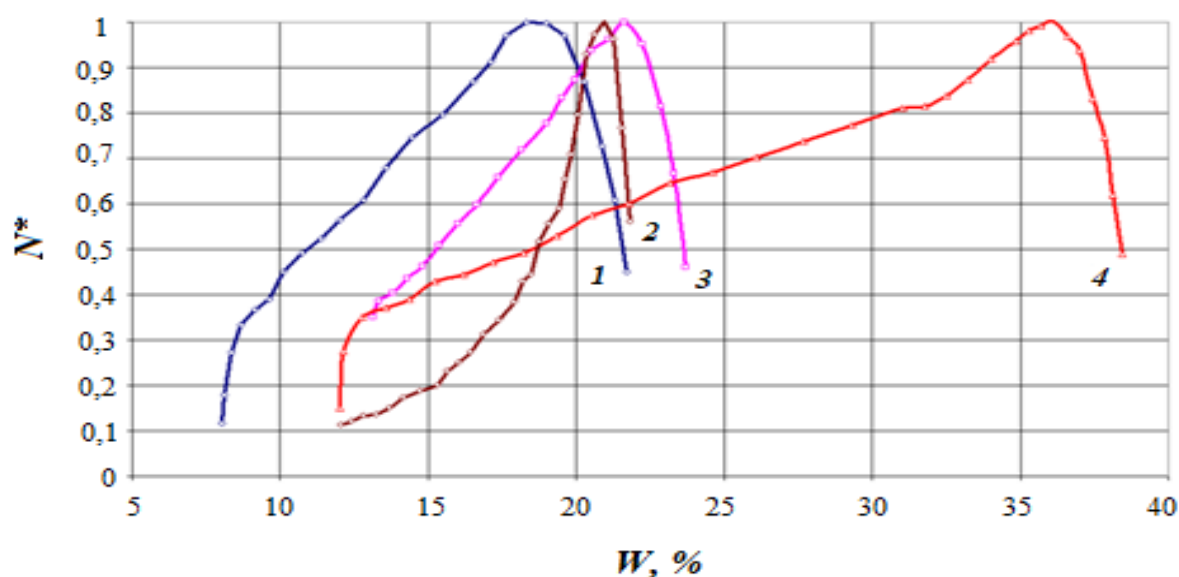


Рис. 5.8. Узагальнені криві швидкості сушіння насіння пшениці, сої, гарбуза та ріпаку:

1 – ріпак; 2 – соя; 3 – пшениця; 4 - гарбуз.

Величина N^* не залежить від режимів сушіння і для конкретних матеріалів при даних методах сушіння є функцією вологості (рис. 5.8).

З рис. 5.9 видно, що в напівлогарифмічних координатах узагальнені криві швидкості сушіння представляють собою ломані лінії, які складаються з двох або трьох прямих. Закон зміни швидкості сушіння при переході від однієї частини до другої змінюється, що вказує на відмінність в кінетиці та динаміці сушіння в різних частинах процесу сушіння.

Величини N^* в різних частинах процесу сушіння в другому періоді не враховує період прогрівання матеріалу і визначається за наступними емпіричними залежностями представленими в табл. 5.2.

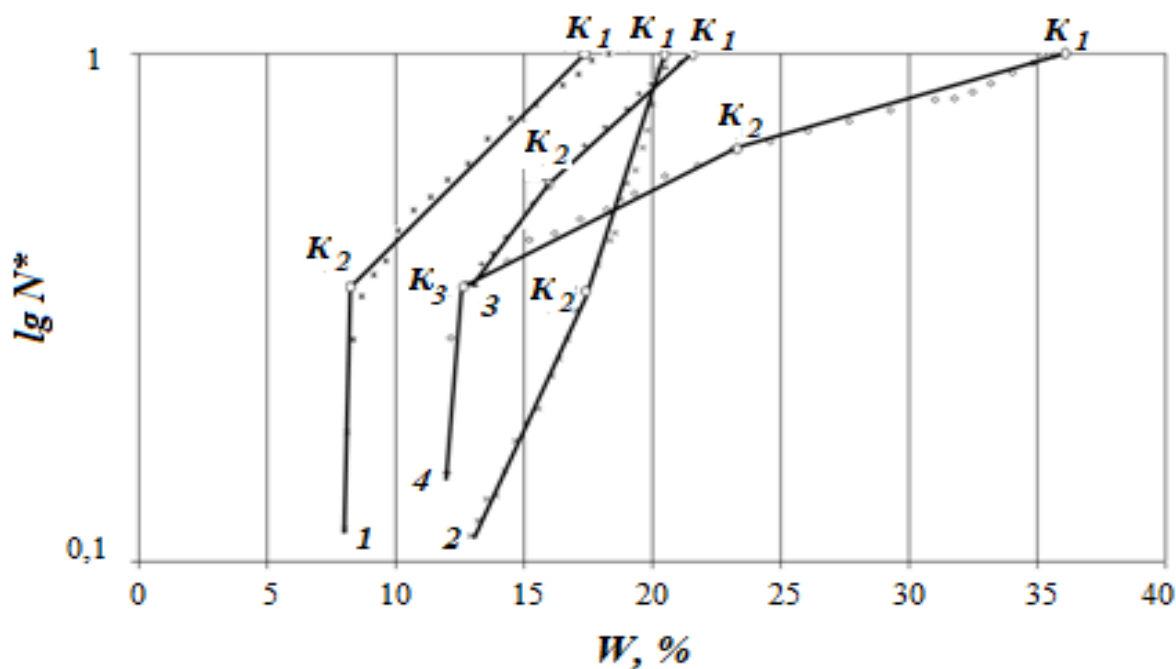


Рис. 5.9. Узагальнені криві швидкості сушіння насіння пшениці, сої, гарбуза та ріпаку:

1 – ріпак; 2 – соя; 3 – пшениця; 4 - гарбуз.

Таблиця 5.2.

Значення узагальненої швидкості сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур

№ п/п	Назва	Діапазон між критичними значеннями вологості, %	Значення узагальненої швидкості сушіння
1.	Пшениця	21,61 – 15,35	$N^* = 0,1017e^{0,1072W}$
		15,35 – 13,12	$N^* = 0,05e^{0,1508W}$
2.	Соя	20,94 – 17,38	$N^* = 0,0011e^{0,0352W}$
		17,38 – 12,02	$N^* = 0,0087e^{0,2099W}$
3.	Гарбуз	36,15 – 23,17	$N^* = 0,2858e^{0,0342W}$
		23,17 – 14,38	$N^* = 0,179e^{0,0558W}$
		14,38 – 12,02	$N^* = 0,0059e^{0,3011W}$
4.	Ріпак	18,32 – 9,14	$N^* = 0,1424e^{0,1103W}$
		9,14 – 8,13	$N^* = 0,0001e^{1,4505W}$

Загальна тривалість сушіння насіння розрахована за формулою (5.28) та зведена в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3.

Тривалість процесу сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур

№ п/п	Назва насіння	Розрахункова тривалість процесу сушіння, хв.
1.	Пшениця	$\tau = \frac{19,65}{N}$
2.	Соя	$\tau = \frac{39,22}{N}$
3.	Гарбуз	$\tau = \frac{43,07}{N}$
4.	Ріпак	$\tau = \frac{23,58}{N}$

На рис. 5.10 приведено співставлення дослідної $\tau_{\text{дос}}$ і розрахункової $\tau_{\text{роз}}$ тривалості сушіння насіння при різних режимах сушіння.

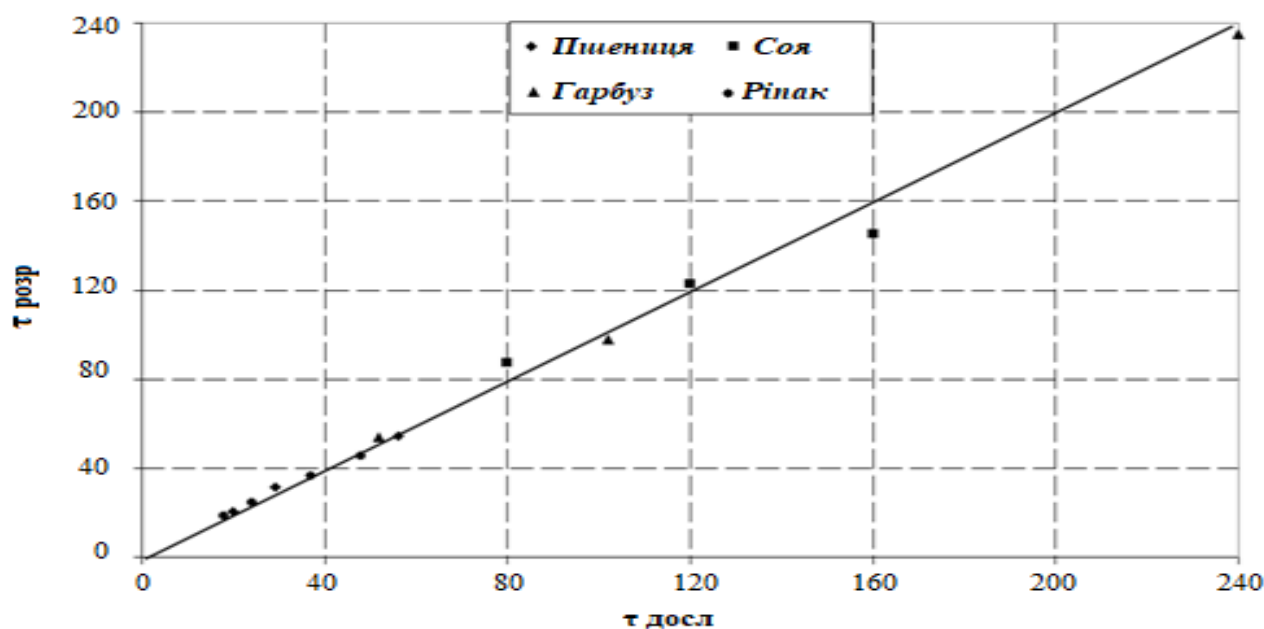


Рис. 5.10. Співставлення дослідної та розрахункової тривалості сушіння насіння пшениці, сої, гарбуза та ріпаку

Похибка дослідної від розрахункової тривалості сушіння не перевищує 3% для насіння пшениці, ріпаку і гарбуза та 10% для насіння сої.

5.4. Визначення теплоємності та питомої теплоти насіння олійних та овочевих культур на диференційному мікрокалориметру

Для визначення теплоємності насіння гарбуза застосовували диференційований мікрокалориметр ДМК1-01 розроблений у відділі теплотрії Інституту технічної теплофізики НАН України (рис. 5.11) [218 - 221].

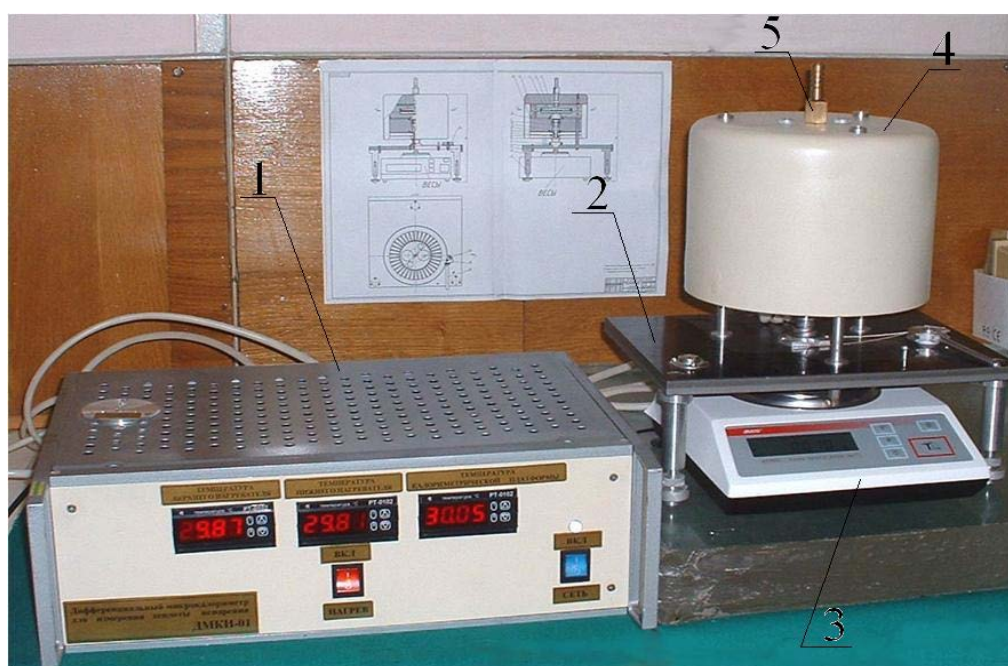


Рис. 5.11. Зовнішній вигляд диференційованого мікрокалориметра ДМК1-01:

1 - електронний блок; 2 – платформа; 3 – аналітичні ваги;

4 – кожух теплового блоку; 5 – тепловий блок.

Прилад ДМК1-01 є експериментальним зразком і призначений для застосування як робочий пристрій вимірювання теплоємності та питомої теплоти випаровування рідини з твердих та рідких речовин при їх сушінні.

Прилад, загальний вигляд якого показаний на рис. 5.11, являє собою сукупність функціонально поєднаних теплового блоку, аналітичних терезів, компресора, електронного блоку і персонального комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням.

Тепловий блок призначений для розміщення проби дослідного насіння і еталону ізотермічного режиму випаровування вологи дослідного зразка.

Визначення питомої теплоємності насіння було здійснено за допомогою калориметричного комплексу на базі приладу ДМКІ-01 (рис. 5.11), використання якого ґрунтується на можливості безпосереднього виміру кількості теплоти необхідної для нагрівання зразка до певної температури.

Принципова схема приладу наведена на рис. 5.12.

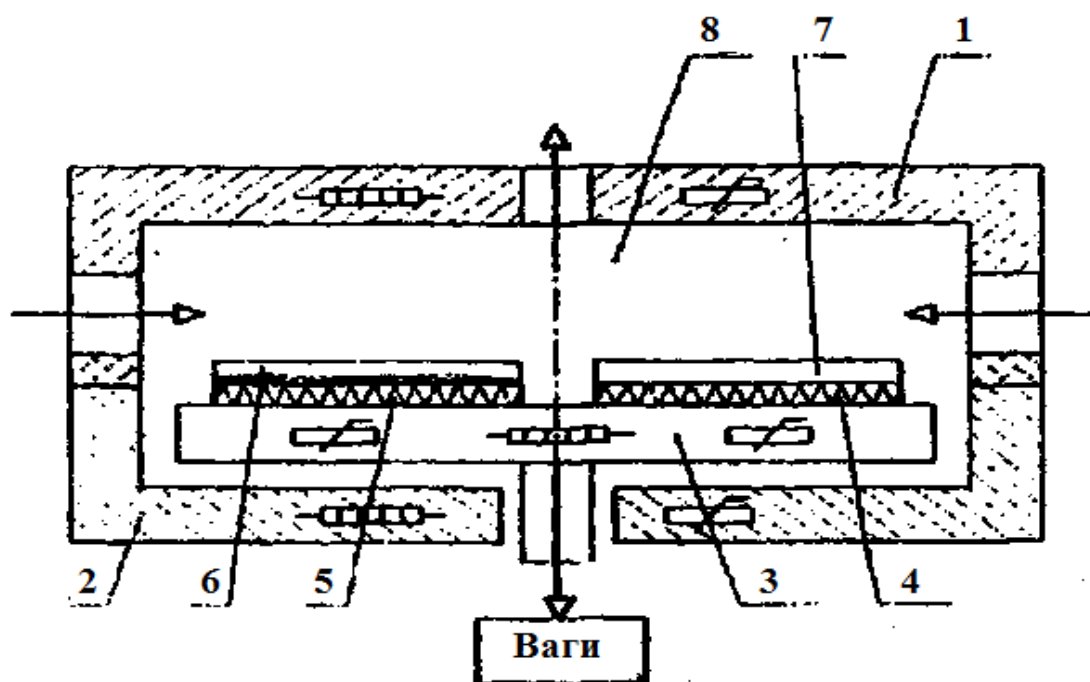


Рис. 5.12. Принципова схема диференційованого мікрокалориметру :

1,2 – верхній та нижній термостатовані блоки; 3 – калориметрична платформа з основним електропідігрівачем; 4,5 – перетворювачі теплового потоку; 6 – осередок з пробою дослідного зразка; 7 – осередок з еталоном; 8 – робоча камера.

Для визначення за допомогою ДМКІ-01 питомої теплоємності насіння різних рослинних культур з великим термічним опором або здатних сильно деформуватися при дегідратації була додатково створена калориметрична платформа з циліндричними комірками глибиною 36 мм та з перетворювачем теплового потоку, що розмістили вздовж периметру стінок комірок (рис. 5.13). Вона є знімним замінним вузлом ДМКІ-01.

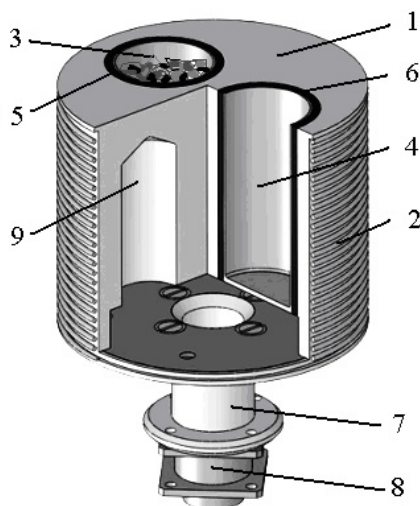


Рис. 5.13. Калориметрична платформа з циліндричними комірками:

- 1 – корпус; 2 – основний нагрівач; 3 – робоча комірка; 4 – комірка порівняння;
 5 – перетворювач теплового потоку робочої комірки; 6 – перетворювач
 теплового потоку комірки порівняння; 7 – фланець;
 8 – роз'єднувач; 9 – порожнина для полегшення платформи.

Для збору даних під час досліду з визначення питомої теплоємності було використано спеціально розроблену прикладну комп'ютерну програму «Ресурс», написану на мові програмування Delphi, вікно керування якої представлено на рис. 5.14.

Визначення питомої теплоємності насіння здійснювали за стандартизованою методикою методом покрокового сканування. Після розміщення зразка в робочій комірці виконували покрокове підвищення температури в робочій камері теплового блоку (рис. 5.15,а) та реєстрували диференціальний тепловий потік, що виникав в комірках за час нагрівання зразка на кожні 5°C (рис. 5.15,б).

Ділянки підвищення температура та витримки її на постійної позначці – чергували. Час підтримки ізотермічного режиму було обумовлено часом зменшення диференціального теплового потоку, що виник в комірках при нагріванні на 5 °С, до значення, яке відповідає тепловій рівновазі. Температура калориметричної платформи теплового блоку підтримувалась постійною на

кожному кроці сканування з відносною похибкою не більше 0,5%. Сигнали від перетворювачів теплового потоку були проградуїровані за еталонним перетворювачем теплового потоку.



Рис. 5.14. Видяк вікна керування системою збору даних програми «Ресурс».

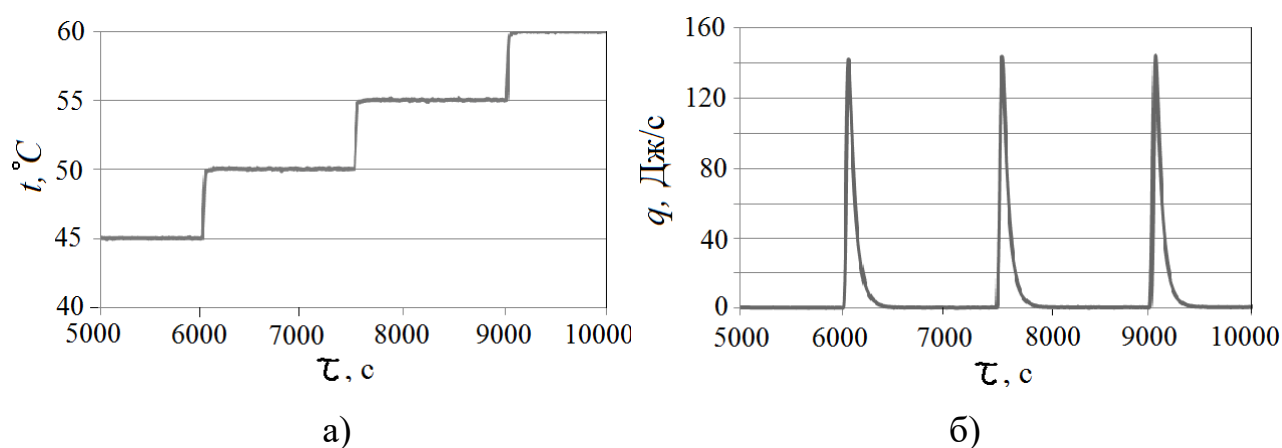


Рис. 5.15. Зміна температури калориметричної платформи (а) та диференціального теплового потоку в робочій камері (б) під час виміру теплоємності методом покрокового сканування.

Кінцеве обчислення значень питомої теплоємності дослідних зразків проводилось за допомогою комп'ютерної програми «Microsoft Excel» після

закінчення циклу з нагрівання зразку певної вологості від початкової до кінцевої температури заданого температурного діапазону визначення теплоємності.

Для чого отримані значення сигналів диференціального теплового потоку (рис. 5.14), перетворювались у форму, зручну для використання в «Microsoft Excel» (рис. 5.15,б). На підставі цих даних питому теплоємності зразків визначали при температурі середини температурної ступені за формулою:

$$c = \frac{\int_{\tau_{\text{ноч}}}^{\tau_{\text{кін}}} q(\tau) d\tau}{m(t_{\text{кін}} - t_{\text{ноч}})}, \quad (5.31)$$

де c – питома теплоємність при температурі середини температурної ступені, кДж/(кг·К);

m – маса зразка, кг;

q – диференціальний тепловий потік в робочій камері, кДж/с;

t – температура, К;

τ – час зменшення диференціального теплового потоку, що виник в комірках при нагріві на 5 °С, до значення, яке відповідає тепловій рівновазі, с.

Визначення теплоємності насіння сої та гарбуза проводилось в діапазоні температур від 32,5 до 92,5°С (рис. 5.16, 5.17).

Теплоємність насіння сої з початковою вологістю 8% від збільшення температури від 32,5 до 92,5°С складає 1893 та 2137 кДж/кг відповідно (рис. 5.16).

Для визначення теплоємності насіння сої можна запропонувати формулу 5.32, що краще описує процес за допомогою наступного рівняння:

$$c = -0,0376t^2 + 9,49t + 1613,8 \quad (5.32)$$

Теплоємність насіння гарбуза з початковою вологістю 60% визначається при температурі теплоносія 2995 - 3544 Дж/кг К. При збільшенні температури

теплоносія та початкової вологості збільшується теплоємність насіння (рис. 5.17).

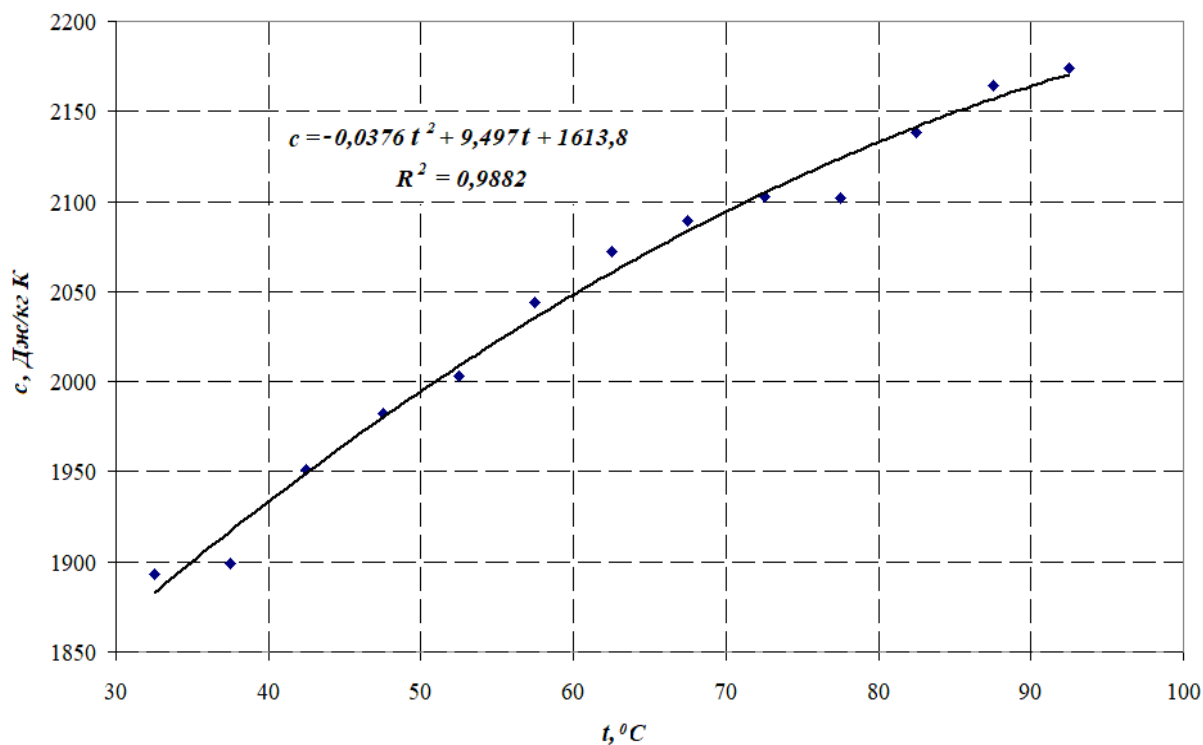


Рис. 5.16. Теплоємність насіння сої з початковою вологістю 8%

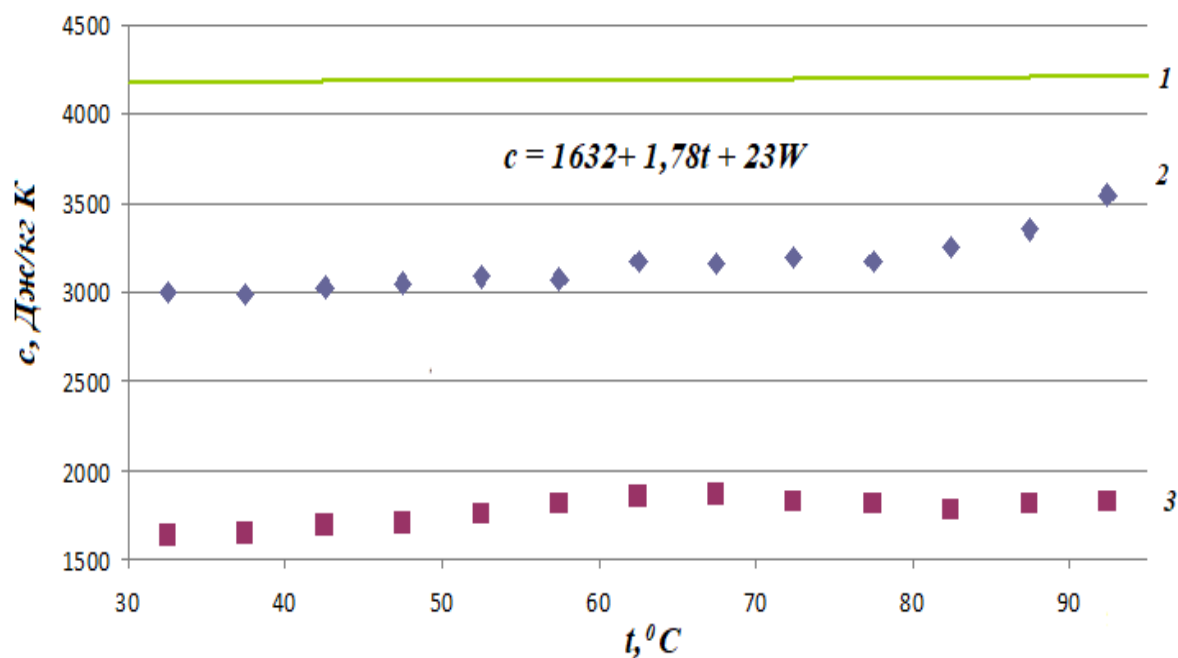


Рис. 5.17. Теплоємність насіння гарбуза:

1 – довідкове значення дистильованої води; 2 – зразок насіння гарбуза з вологістю 60%; 3 – зразок насіння з абсолютно сухою масою.

Для визначення теплоємності насіння гарбуза можна запропонувати формулу 5.33, що краще працює при температурах теплоносія 32,5 – 82,5°C і початкової вологості насіння 0 – 60%:

$$c = 1632 + 1,78t + 23W \quad (5.33)$$

Похибка даної формули складає не більше 3%, що може бути запропонована для знаходження теплоємності у вказаному діапазоні температур та вологості.

Методика досліджень кінетики сушіння та теплоти випаровування води з рослинних матеріалів за допомогою диференціальної калориметрії випаровування.

Згідно відпрацьованої методики, для дослідження питомої теплоти випаровування води з рослинної сировини в якості зразків використовували насіння гврбуза.

Після прогріву теплового блоку до температури сушіння та встановлення теплової рівноваги всередині робочої камери, про що свідчить вихід на «нуль» диференціального сигналу від перетворювач теплового потоку, в вимірвальну комірку розміщували зразок. Після закінчення періоду прогріву зразка, його сушіння здійснювали в ізотермічному режимі до моменту зменшення диференціального сигналу від перетворювач теплового потоку до межі розрізнення та відсутності подальшого зменшення маси зразка.

В ході експерименту виміру підлягали:

- а) маса зразка на протязі процесу сушіння (рис. 5.18);
- б) величина прямого та диференціального сигналу від перетворювачів теплового потоку (рис. 5.19);
- в) величина сигналу від терморезистора, що знаходиться безпосередньо під вимірвальною коміркою, який після закінчення дослідження, на підставі даних з теплових опорів матеріалу комірки та матеріалу зразка, перераховували в поточні значення температури зразка під час дослідження;

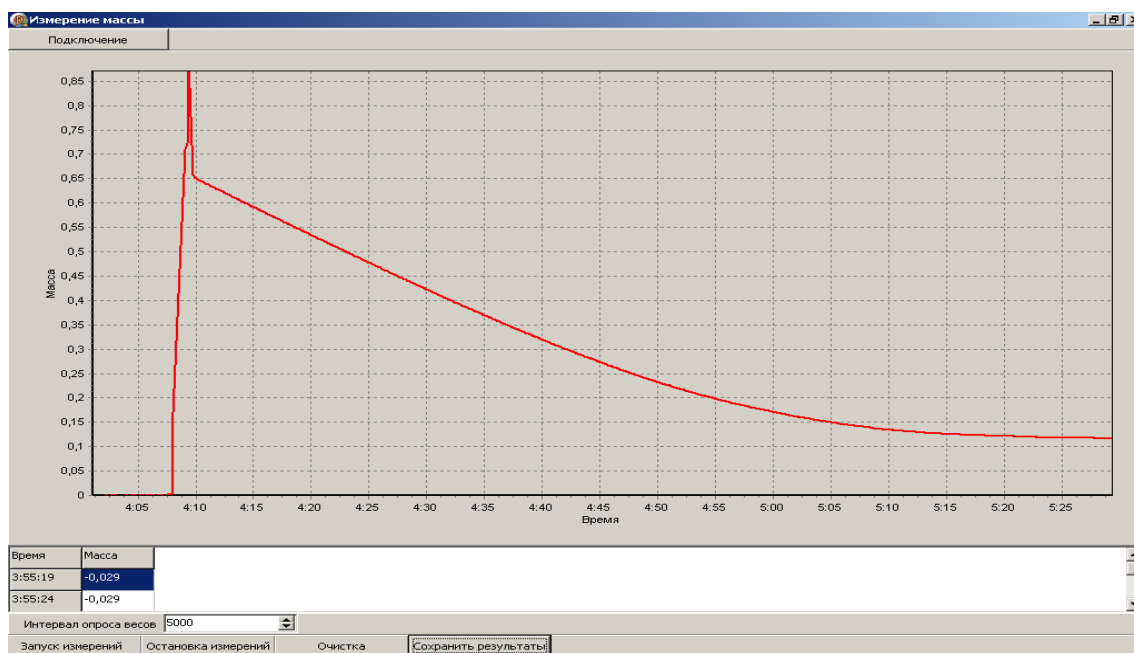


Рис. 5.18. Системы збору інформації за програмою «Massa».

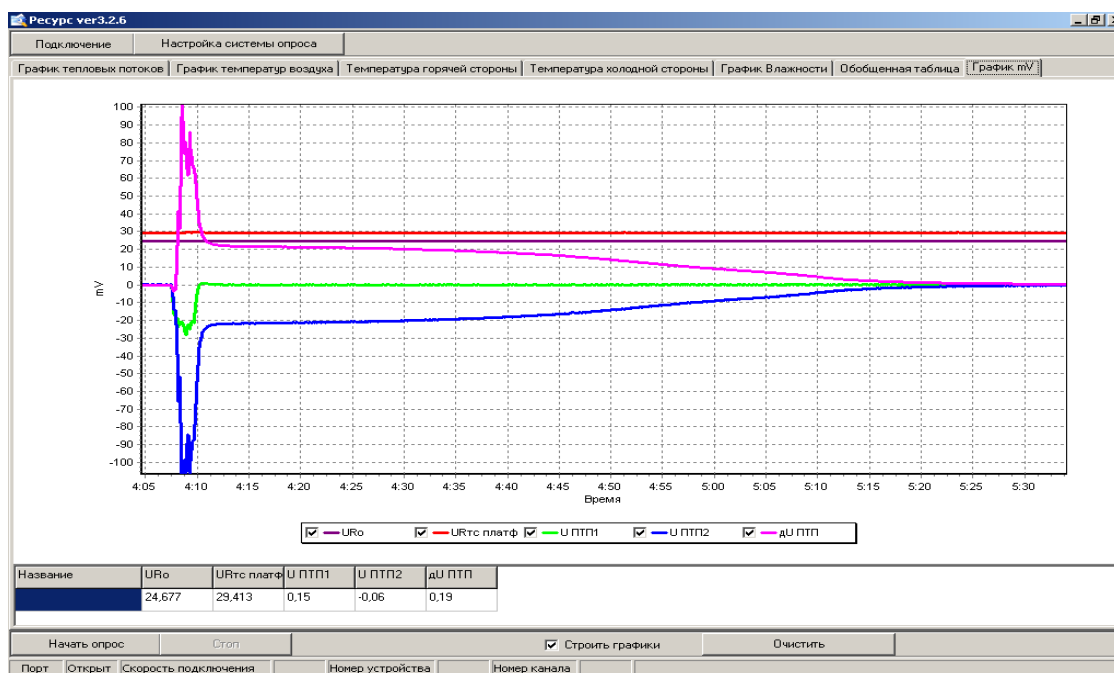


Рис. 5.19. Системы збору інформації за програмою «System0».

г) загальна кількість води в зразку, яку визначали методом досушування зразка всередині робочої камери теплового блоку при 105°C до досягнення ним постійної маси.

Кінцеве обчислення значень питомої теплоти випаровування вологи з дослідних зразків проводили за допомогою комп'ютерної програми «Microsoft Excel» за спеціально розробленою методикою розрахунків.

Згідно цієї методики отримані в ході досліду значення сигналів маси та диференціального теплового потоку трансформували у форму, зручну для використання в «Microsoft Excel».

Диференціальний сигнал від перетворювачів теплового потоку додатково, на підставі даних градування, перераховували в поточні значення диференціального теплового потоку всередині робочої камери.

На підставі даних про зміну маси зразка m та диференціального теплового потоку q визначали поточні значення питомої теплоти випаровування води r в процесі сушіння рослинних тканин, починаючи з часу встановлення термодинамічної рівноваги всередині робочої камери теплового блоку.

Розрахунок проводили за алгоритмом:

$$r_i = \frac{\int_{\tau_{i-1}}^{\tau_{i+1}} q(\tau) d\tau}{m(\tau_{i-1}) - m(\tau_{i+1})} \quad (5.34)$$

де τ_{i-1} та τ_{i+1} – значення поточного часу, с;

r_i – питомі витрати теплоти на випаровування за час сушіння від τ_{i-1} до τ_{i+1} , кДж/кг;

$q(\tau)$ – тепловий потік всередині робочої камери, як функція часу, Дж/с;

$m(\tau_{i-1})$ та $m(\tau_{i+1})$ – маса зразка в моменти часу τ_{i-1} та τ_{i+1} , кг.

Особливістю застосування даного алгоритму в якості шагу інтегрування теплового потоку та диференціювання втрати маси більш доцільним виявилось використовувати постійну різницю в масі $\Delta m = m(\tau_{i+1}) - m(\tau_{i-1}) = \text{const}$. Цей спосіб розрахунку традиційно використовують при диференціюванні за часом кривих сушіння для отримання кривих швидкості сушіння.

Результати експериментальних досліджень зміни питомої теплоти випаровування насіння гарбуза в залежності від зміни вологості при температурі теплоносія 60°C.

При дослідженні питомої теплоти випаровування насіння гарбуза при температурі теплоносія 60°C спостерігається така тенденція (рис. 5.20):

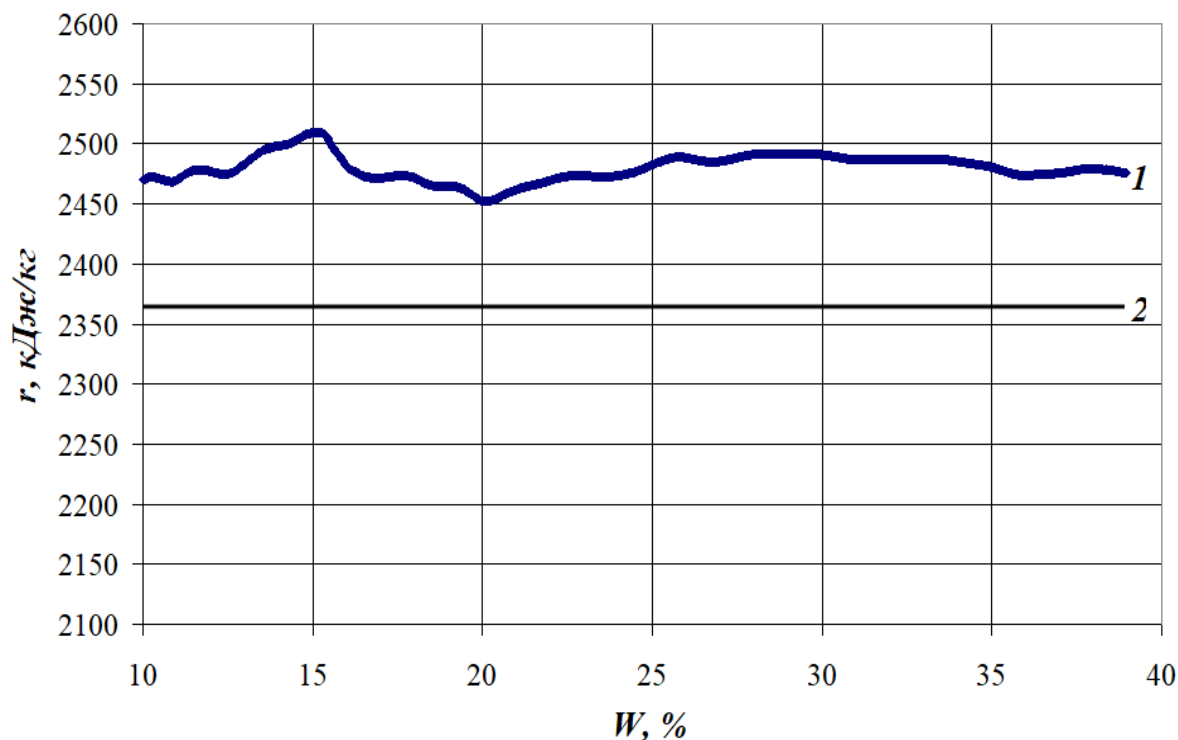


Рис. 5.20. Зміна питомої теплоти випаровування під час сушіння в диференційованого мікροкалориметра ДМКІ-01 насіння гарбуза при температурі теплоносія 60°C .

Цей результат відрізняється від традиційних уявлень щодо залежності теплоти випаровування вологи з рослинних тканин від їх вологовмісту. Він свідчить про видалення зв'язаної вологи при сушінні рослинних тканин одночасно з вільною. Хоча традиційно вважається, що на протязі всього часу видалення вільної води кількість зв'язаної не змінюється, а істотне зростання енерговитрат на випаровування відбувається на заключному етапі сушки і обумовлено початком видалення гігроскопічної вологи.

Приведені дослідження на насінні зернових культур вказує, що при сушінні одночасно відбувається одночасно видалення вільної та зв'язаної вологи. Різне зниження питомої теплоти випаровування в насінні гарбуза пов'язано із руйнуванням поверхневої плівки.

5.5. Дослідження тепломасообмінних процесів при сушінні насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур

Кінетика теплообміну при сушінні може бути повністю виявлена за даними кінетики вологообміну.

Значення величини $\frac{d\bar{t}}{d\bar{W}}$ визначає зміну середньої температури висушуваного матеріалу на одиницю зміни її середньої вологості за нескінченно малий проміжок часу і носить назву температурний коефіцієнт сушіння:

$$b = \frac{d\bar{t}}{d\bar{W}}, \quad (5.35)$$

Величина b є функцією інтегрального вологості $b = f(\bar{W})$.

Загальна змінна $b\frac{\bar{c}}{r}$, як видно з рівняння (4.30) є інтегральною характеристикою кінетики процесу сушіння. Вона визначає відношення кількості теплоти на нагрівання матеріалу при сушінні та на випаровування води за нескінченно малий проміжок часу. Цей основний критерій сушіння названий числом Ребіндера:

$$Rb = b\frac{\bar{c}}{r} = \frac{\bar{c}}{r} \left(\frac{d\bar{t}}{d\bar{W}} \right) \quad (5.36)$$

Підведена теплота до матеріалу витрачається на нагрівання матеріалу та на випаровування води. Густина теплового потоку витрачена на випаровування, розраховується за інтенсивністю вологообміну $m(\tau)$ з виразу:

$$q_{\text{вип}} = rm(\tau) = rg \frac{d\bar{W}}{d\tau} \quad (5.37)$$

Густина теплового потоку на нагрівання матеріалу визначаємо співвідношенням:

$$q_{\text{нагр}} = cg \frac{d\bar{t}}{d\tau} \quad (5.38)$$

де c – теплоємність насіння.

У відповідності з законом збереження енергії, питомий потік теплоти на одиницю поверхні тіла дорівнює:

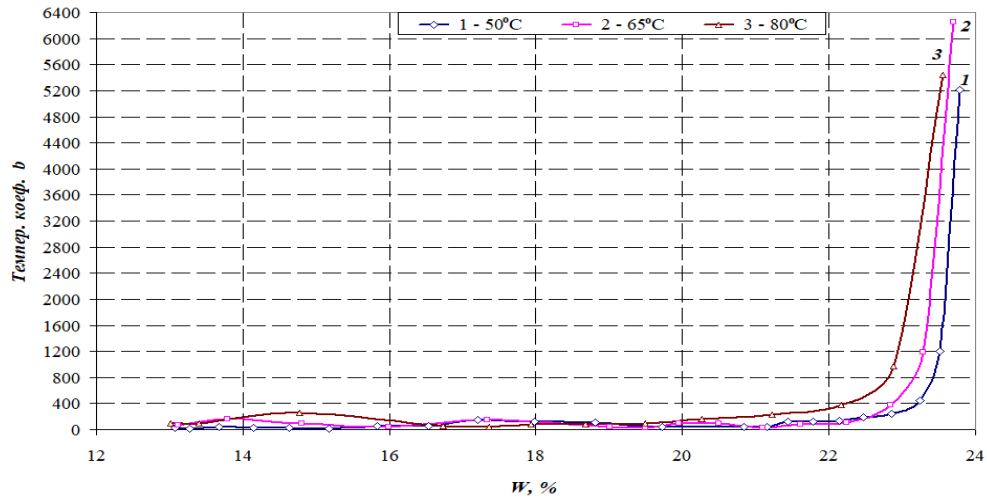
$$q(\tau) = rg \frac{d\bar{W}}{d\tau} + \bar{c}g \frac{d\bar{t}}{d\tau} = gr \frac{d\bar{W}}{d\tau} \left[1 + \frac{\bar{c}}{r} \frac{d\bar{t}}{d\bar{W}} \right] \quad (5.39)$$

Густина теплового потоку збільшується при прогріванні матеріалу до максимального значення. Під час видалення вологи з матеріалу густина теплового потоку зменшується..

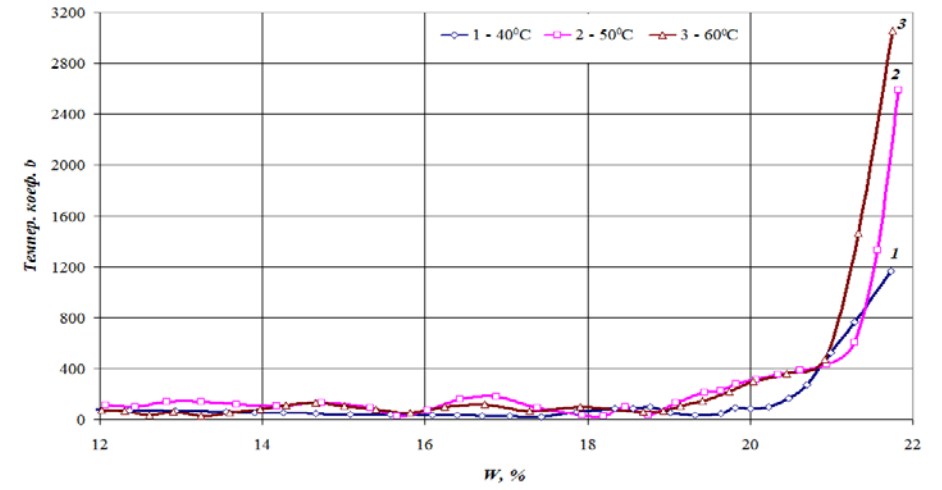
На рис. 5.21 – 5.23 представлені результати досліджень температурного коефіцієнта b , критерію Rb і теплового потоку q для насіння пшениці, сої, гарбуза та ріпаку.

Дослідження процесу тепломасообміну сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур показали, що на початку відбувається активне прогрівання матеріалу, потім разом з нагріванням йде інтенсивне випаровування вологи з матеріалу. Найкраще випаровування вологи відбувається в насінні гарбуза, в ріпаку все ж таки прогрівання матеріалу йде інтенсивніше за випаровування вологи особливо при температурі 60 та 80°C. В сої та пшениці йде чергування прогрівання та випаровування вологи під час процесу сушіння.

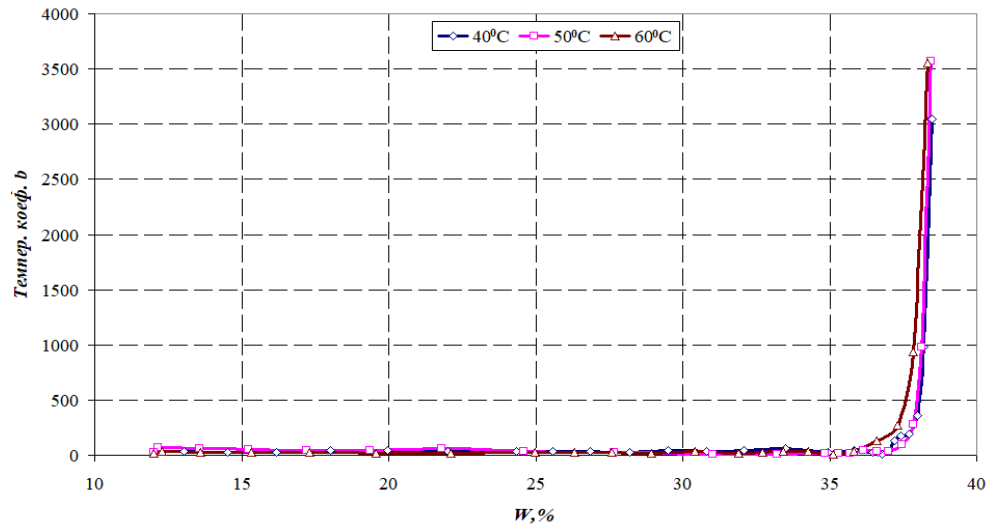
Проводячи порівняння величину теплового потоку при 50°C найбільша у насіння гарбуза – 0,46Вт/м², найменша у сої – 0,21 Вт/м² (рис. 5.23).



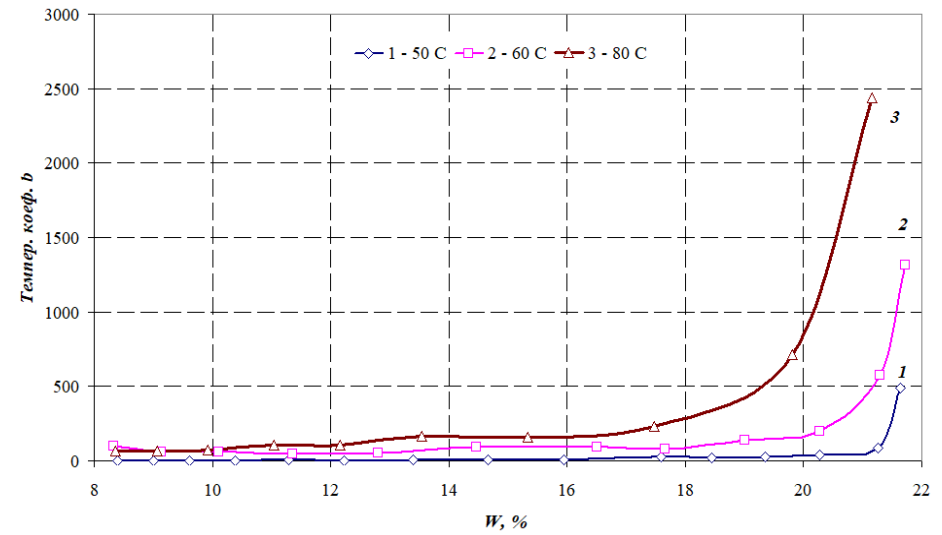
а)



б)



в)



г)

Рис. 5.21. Залежність температурного коефіцієнта від вологості насіння:

а) пшениця; б) соя; в) гарбуз; г) ріпак

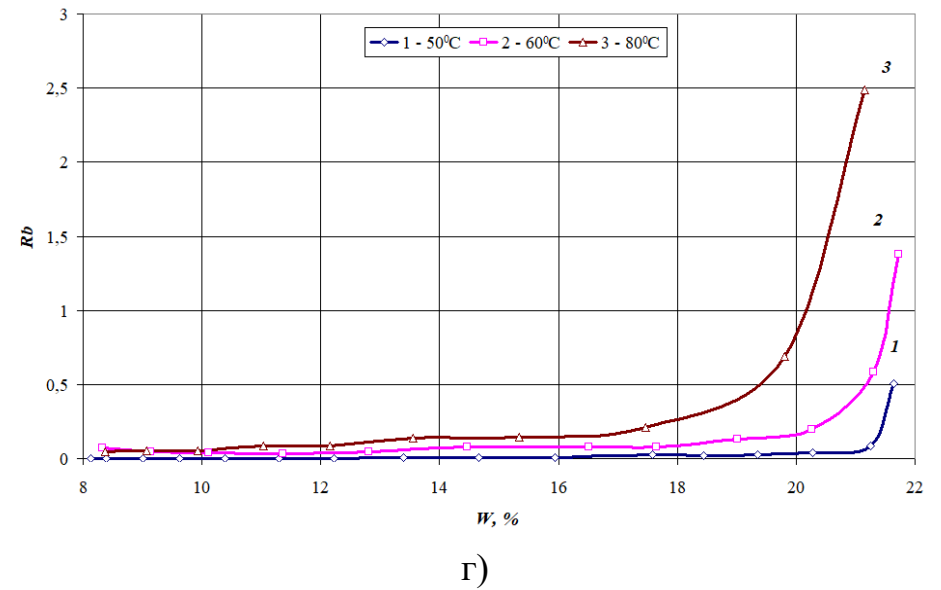
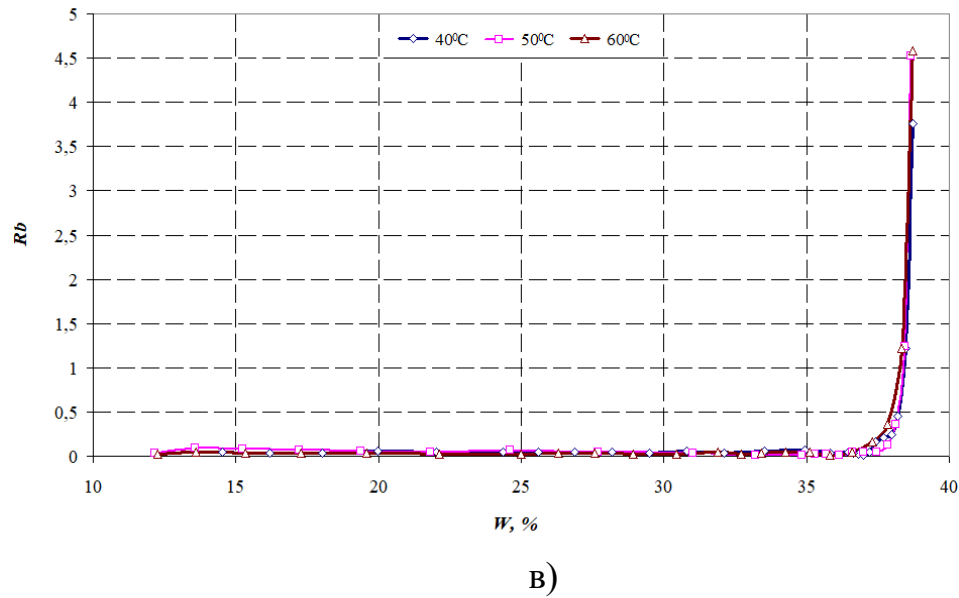
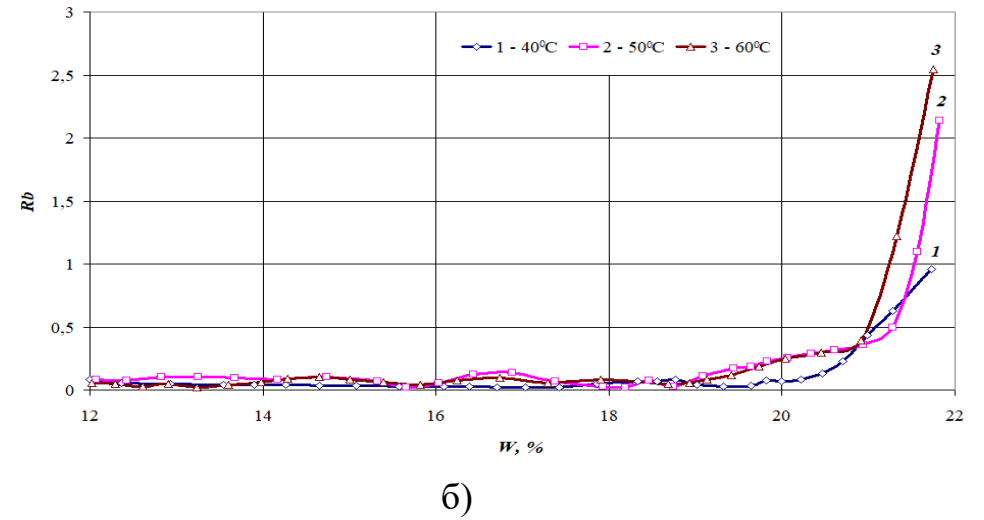
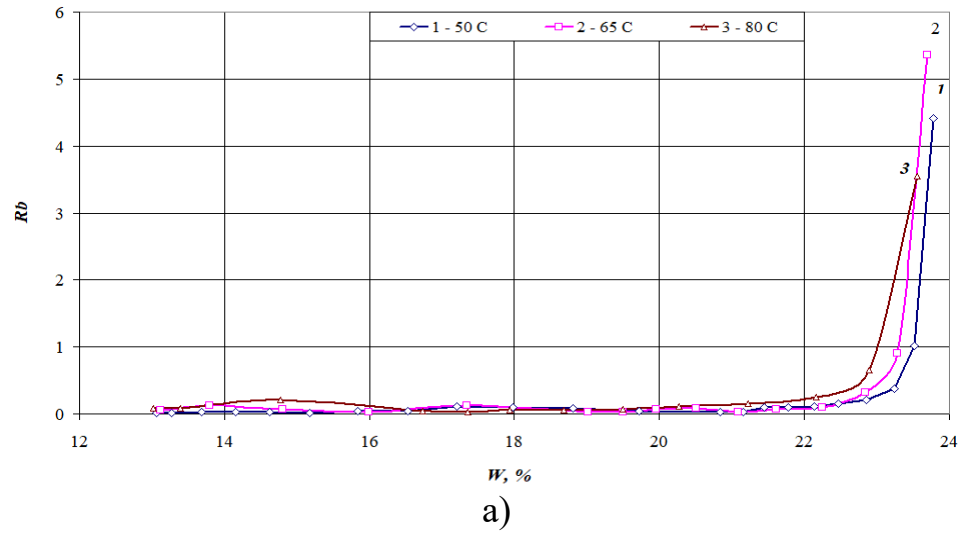
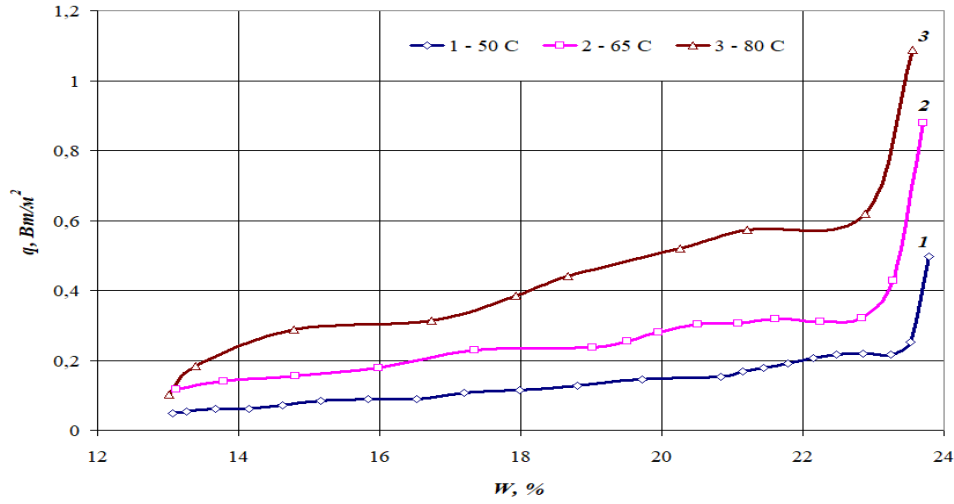
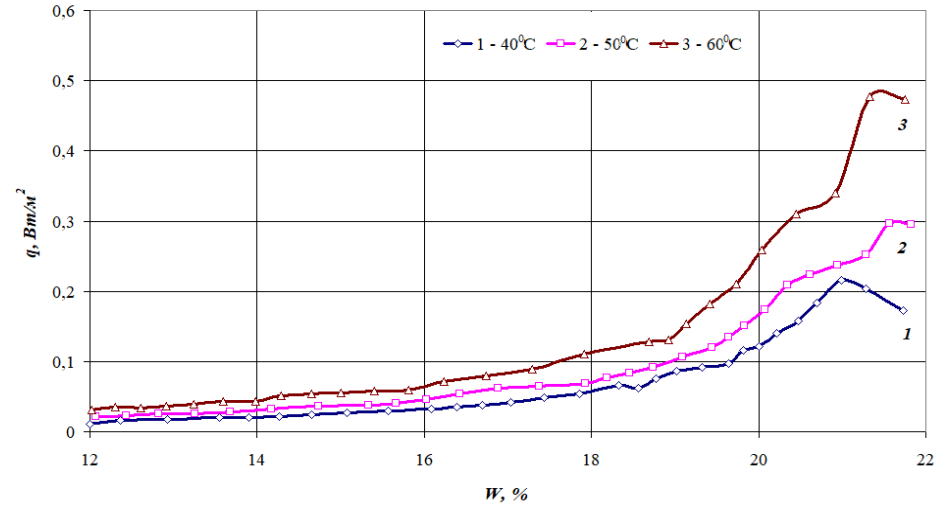


Рис. 5.22. Залежність критерію Ребіндера від вологості насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур:

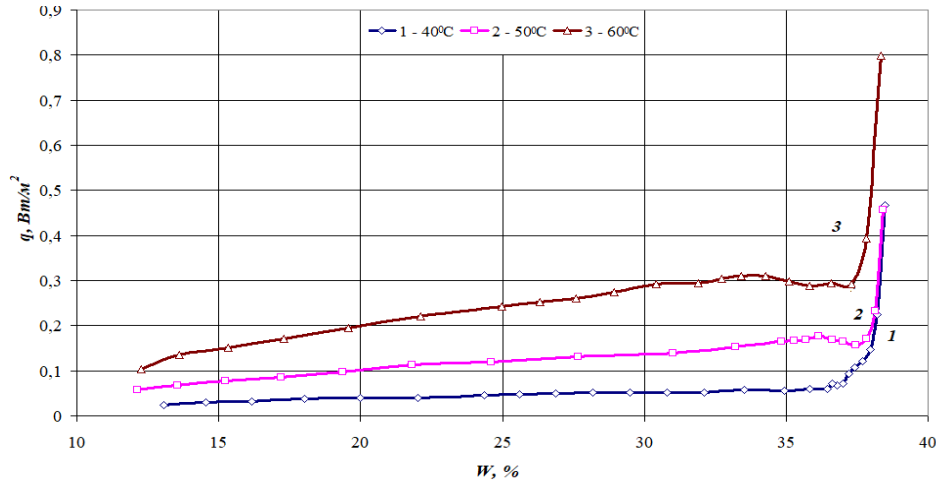
а) пшениця; б) соя; в) гарбуз; г) ріпак



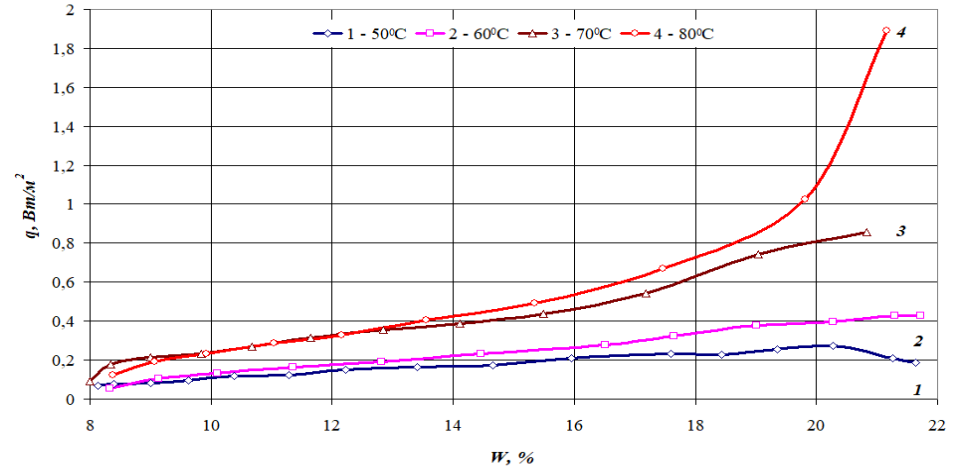
а)



б)



в)



г)

Рис. 5.23. Зміна теплового потоку від вологості насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур:

а) пшениця; б) соя; в) гарбуз; г) ріпак

Підвищення температури приводить до збільшення теплового потоку підвищує значення теплового потоку в рази.

Коефіцієнт теплопередачі знаходиться за формулою 5.40.

$$\alpha = \frac{q(\tau)}{(t - \theta)}, \quad (5.40)$$

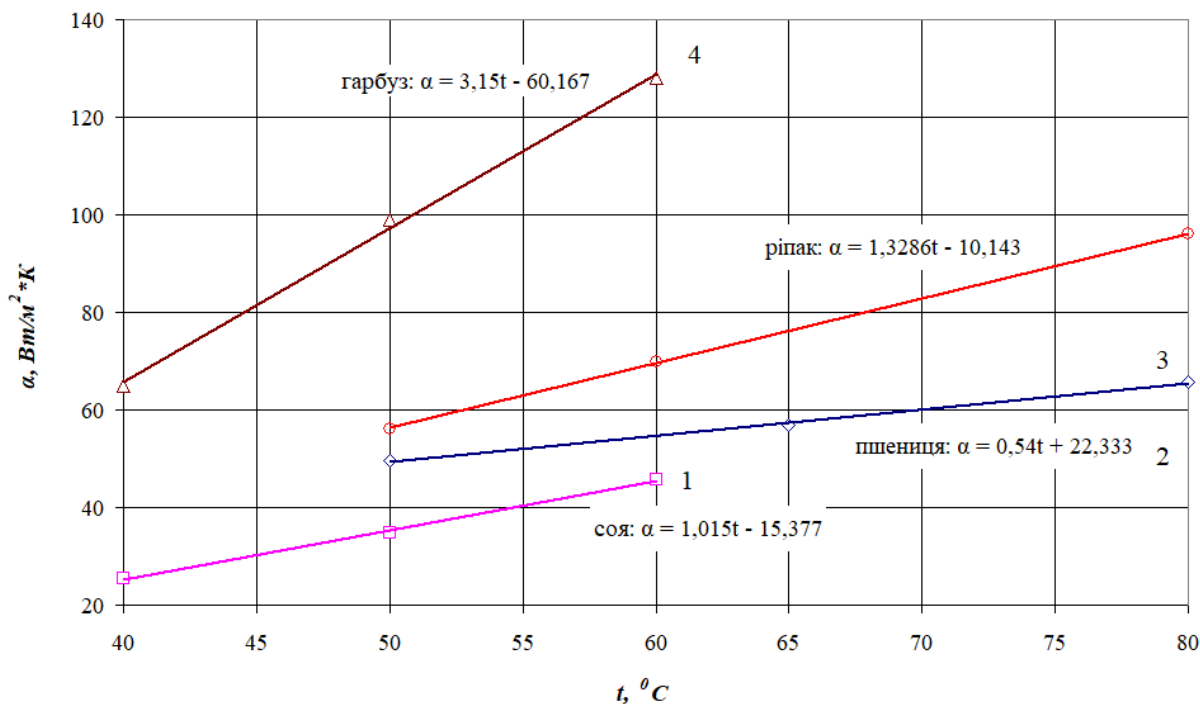


Рис. 5.24. Зміна коефіцієнта теплопередачі від режиму сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур:

1 – соя; 2 – пшениця; 3 – ріпак; 4 – гарбуз.

Коефіцієнт теплопередачі змінюється за лінійним законом, найбільш інтенсивна зміна спостерігається для насіння гарбуза, так зміна від 40 до 60°C збільшується в 3,23 рази. Найменше змінюється коефіцієнт тепловіддачі у сої в 1,8 раз. Запропоновані отримані лінійні рівняння $\alpha = f(t)$ можуть бути використані для знаходження коефіцієнта тепловіддачі при різних режимах в діапазоні від 40 до 80°C (рис. 5.24):

- для сої: $\alpha = 1,015t - 15,377$;
- для пшениці: $\alpha = 0,54t + 22,333$;
- для ріпаку: $\alpha = 1,3286t - 10,143$;
- для гарбуза: $\alpha = 3,15t - 60,167$

Критерій Нусельта характеризує збільшення інтенсивності теплообміну за рахунок конвективних струмів в порівнянні з чистою теплопровідністю.

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda_{\text{п}}}, \quad (5.41)$$

де α – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м² К;

l – визначальний розмір насіння, прийнято довжина зразка вздовж повітряного потоку (для насіння ріпаку – 0,00212 м; сої – 0,007 м; пшениці – 0,0086 м; гарбуза – 0,014 м), м;

$\lambda_{\text{п}}$ – теплопровідність повітря, Вт/(м К).

Визначимо зміну критерію Нусельта від критерію Рейнольдса $Nu = f(Re)$ (рис. 5.25).

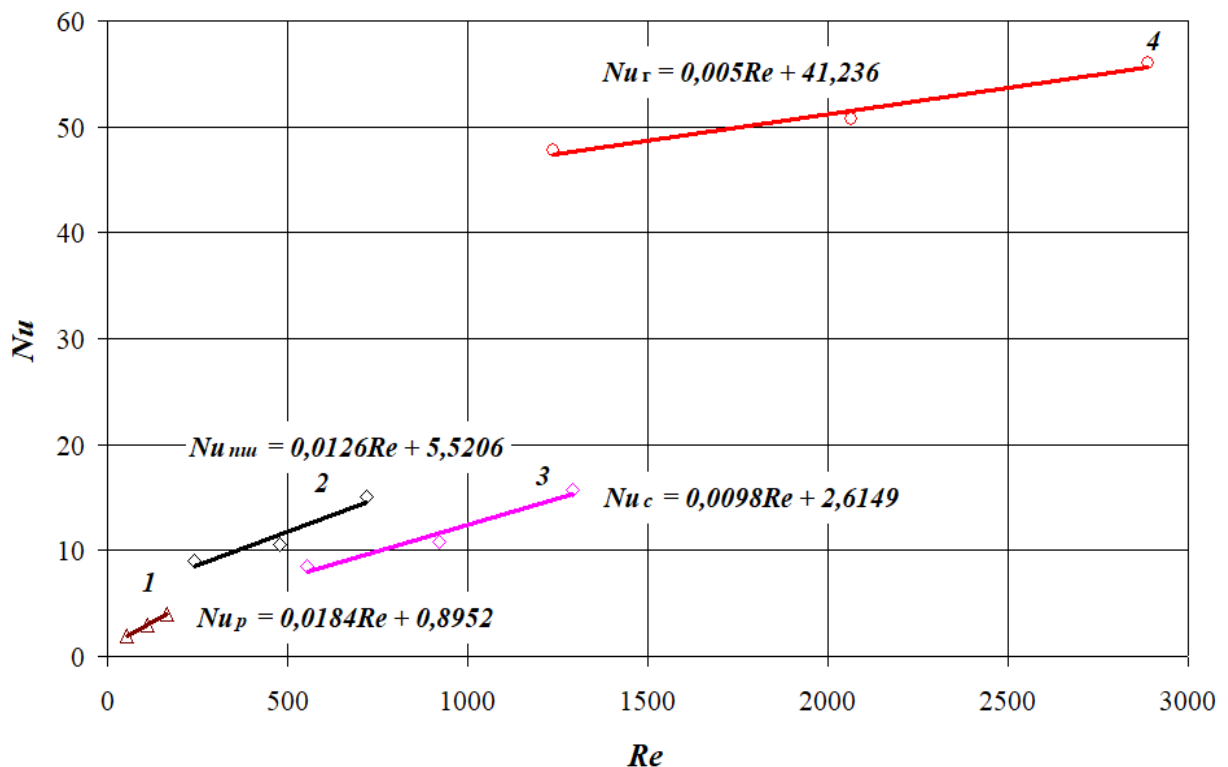


Рис. 5.25. Зміна критерію Нусельта (Nu) від критерію Рейнольдса (Re):

1 – ріпак; 2 – пшениця; 3 – соя; 4 – гарбуз.

Nu_p – ріпаку; $Nu_{\text{пш}}$ – пшениці; Nu_c – сої; $Nu_{\text{г}}$ – гарбуза

Критерій Re визначається за формулою 5.42 і при постійній швидкості теплоносія V і визначального розміру l залежить від кінематичної в'язкості повітря :

$$Re = \frac{V \cdot l}{\nu}, \quad (5.42)$$

де: V – швидкість руху теплоносія, м/с;

ν – кінематична в'язкість повітря, м²/с.

Отримані лінійні рівняння для знаходження критерію Nu (рис. 4.25):

- для ріпаку: $Nu = 0,0184 Re + 0,8952$;

- для пшениці: $Nu = 0,0126 Re + 5,52$;

- для сої: $Nu = 0,0098 Re + 2,6149$;

- для гарбуза: $Nu = 0,05 Re + 41,236$

ВИСНОВКИ ДО ПЯТОГО РОЗДІЛУ

1. Проведені теоретичні дослідження кінетики процесу сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур з побудовою узагальнених кривих сушіння та швидкості сушіння. З узагальнених кривих сушіння визначені критичні точки, розраховані відносні коефіцієнти та кінетичні коефіцієнти сушіння, отримані рівняння узагальнених кривих сушіння та отримані формули швидкості сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур.

2. Розраховані формули тривалості сушіння для насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур. Похибка дослідної від розрахункової тривалості сушіння насіння не перевищує 3 – 10%.

3. Вперше визначена теплоємність та питомі теплоти випаровування насіння рослинних культур на диференційному мікрокалориметру ДМКІ-01. Зокрема досліджена теплоємність насіння сої та гарбуза, а також питома теплота випаровування насіння гарбуза. Отримані формули теплоємності насіння сої та гарбуза в діапазоні температур 30 – 92°C.

4. Досліджено тепломасообмінні процеси при сушінні насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур побудові криві з визначенням

температурного коефіцієнта, теплового потоку, числа Ребіндера, коефіцієнта тепловіддачі та критеріїв Нусельта.

Основні наукові результати розділу опубліковані в роботах [84,204, 205, 221].

РОЗДІЛ 6.

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ НАСІННЯ ЗЕРНОВИХ, ОЛІЙНИХ, ОВОЧЕВИХ ТА ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР

6.1. Розробка енергоефективної теплотехнології та обладнання для отримання насіння зернових, олійних та технічних культур

Розробка нових теплотехнологій отримання високоякісного насінневого матеріалу вирішує проблему раціонального використання енергетичних та сировинних ресурсів, що дає можливість знизити собівартість та підвищити якість насіння.

Розроблена технологічна схема виробництва насіння зернових, олійних та технічних культур представлена на рис. 6.1.



Рис. 6.1. Розробка енергоефективної теплотехнології виробництва насіння зернових, олійних та технічних культур

Технологічна схема виробництва насіння зернових, олійних та технічних культур передбачає наступні операції: приймання насіння, зважування, попереднє очищення в повітряно-ситовому сепараторі, сушіння на розроблених ступінчатих режимах, роздільне зберігання насіння різних культур в силосах, повторне очищення на повітряно-ситовому сепараторі, розділення на фракції на пневмосортувальному столі, протравлення і направлення на пакування в мішки.

Для реалізації енергоефективної теплотехнології виробництва насіння зернових, олійних та технічних культур представлено на рис. 6.1, розроблена технологічна-апаратурна схема, яка представлена на рис. 6.2.

Особливості даної технологічно-апаратурної схеми полягає у розробці технологічного процесу отримання насіння із встановлення в лінію шахтної зерносушарки із тепловим насосом, для реалізації розроблених ступеневих режимів сушіння з низьким вологовмістом теплоносія.

Насіння надходить автомобільним транспортом на пункт прийому, зважують на вагах (1), після цього насіння з машини вивантажують в приймальний бункер (2). Бункер аспірується через фільтр (3). Насіння з під нього ланцюговим конвеєром (4) і норією (5) подається на повітряно-ситовий сепаратор (6) для попереднього очищення. Відходи, видалені в процесі очищення насіння норією (7) та гвинтовим конвеєром (8) направляють в бункер відходів.

Очищене насіння норією (9) подають на ланцюговий конвеєр (10) і далі на сушіння та охолодження в шахтну зерносушарку із тепловим насосом (11). Після сушіння насіння направляється ланцюговим конвеєром (12), норією (13) на тимчасове роздільне зберігання різних культур в силоси для вентиляції (15). Рециркуляція насіння в шахтній зерносушарці із тепловим насосом (11) відбувається за допомогою ланцюгового конвеєра (15) та норії (16) при необхідності додаткового видалення вологи з матеріалу. Потім насіння направляється ланцюговим конвеєром (17) в бункери для зберігання (18).

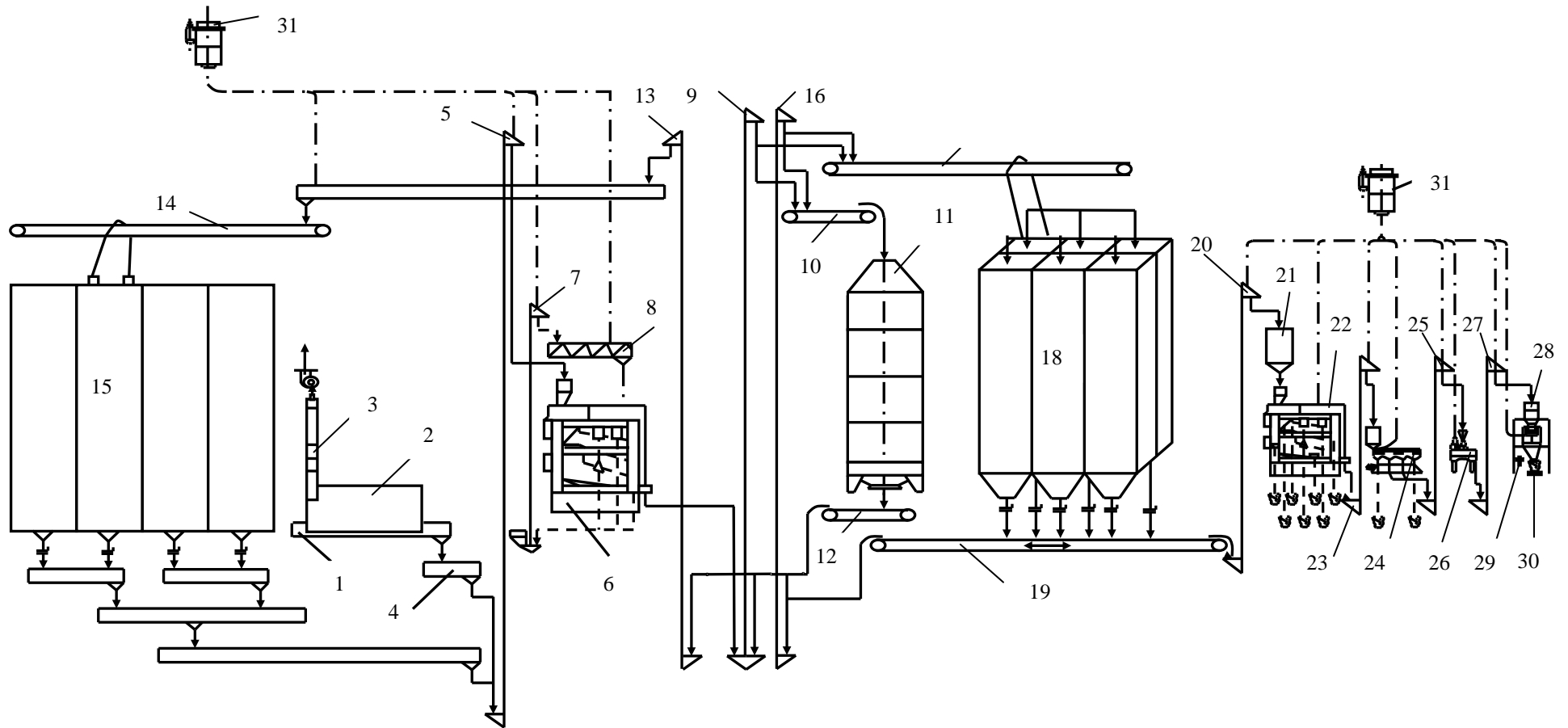


Рис. 6.2. Технологічно-апаратурна лінія із виробництва насіння зернових, олійних та технічних культур

1– автомобільні ваги; 2 – приймальний бункер; 3 – фільтр; 4 – ланцюговий конвеєр; 5,7,9,13,16,20,23,25,27 – норія; 6,22 – повітряно-ситовий сепаратор; 8 – гвинтовий конвеєр; 10,12,14,17 – ланцюговий конвеєр; 11 – шахтна зерносушарка із тепловим насосом; 15 - силоси для зберігання насіння; 18 – бункери для зберігання насіння; 19 – стрічковий конвеєр; 21 – накопичувальний бункер; 24 – пневмосортувальний стіл; 26 – протравлювач; 28 – фасувально-пакувальний автомат; 29 – мішкозашивачна машина; 30 – стрічковий конвеєр для мішків з насінням; 31 – вентилятор.

З бункерів для зберігання (18) насіння направляють стрічковим транспортером (19) та норією (20) в накопичувальний бункер (21), а потім на повторне очищення в повітряно-ситовий сепаратор (22) або на відвантаження. Відходи після сепаратора збирають в мішки та вручну вивантажують в бункери для відходів.

Насіння норією (23) подається на пневмосортувальний стіл (24), де відбувається розділення за фракціями насіння. Видалене насіння норією (25) подають в протравлювач (26), направляють на норію (27) та фасують і упаковують в мішки в фасувально-пакувальному автоматі (28). Мішки зашивають в мішкозашивочній машині (29) і стрічковим транспортером (30) направляється на склад. Відбраковане насіння відбирають в мішки, а потім вручну вивантажують в бункер для відходів.

Запуск та зупинка обладнання заводу, контроль за технологічними процесами і за температурою зберігання насіння відбувається з центрального пульта керування.

Для підвищення енергоефективності технологічних процесів та якості сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур, а також зменшення питомих витрат палива при виробництві теплової та електричної енергії застосовують теплові насоси на базі двигуна генератора ДвГА – 315.

На рис. 6.3 представлена шахтна п'ятизонна зерносушарка для сушіння насіння зернових, олійних та деяких технічних культур на базі газового двигуна-генератора ДвГА виробництва «Первомайскдизельмаш» та теплового насоса із компресором потужністю 315 кВт з коефіцієнтом перетворення 3,2.

Зерносушарка безперервної дії складається з шахти 1, яка має п'ять відокремлених по ходу теплоносія зони (перша – нагрівання, друга – тепломасобмінна, третя та четверта – зневоднення і п'ята – охолодження), три контури циркуляції робочої речовини 2,3,4, теплообмінники 5,6,7,8, двигун генератор 9, теплоутилізатори 10,11, циркуляційні насоси 12, 13, напірні вентилятори 14, 15, 16, 17 та теплового насоса, що складається з випарника 18, конденсатора 19, компресора 20 та терморегулюючого вентиля.

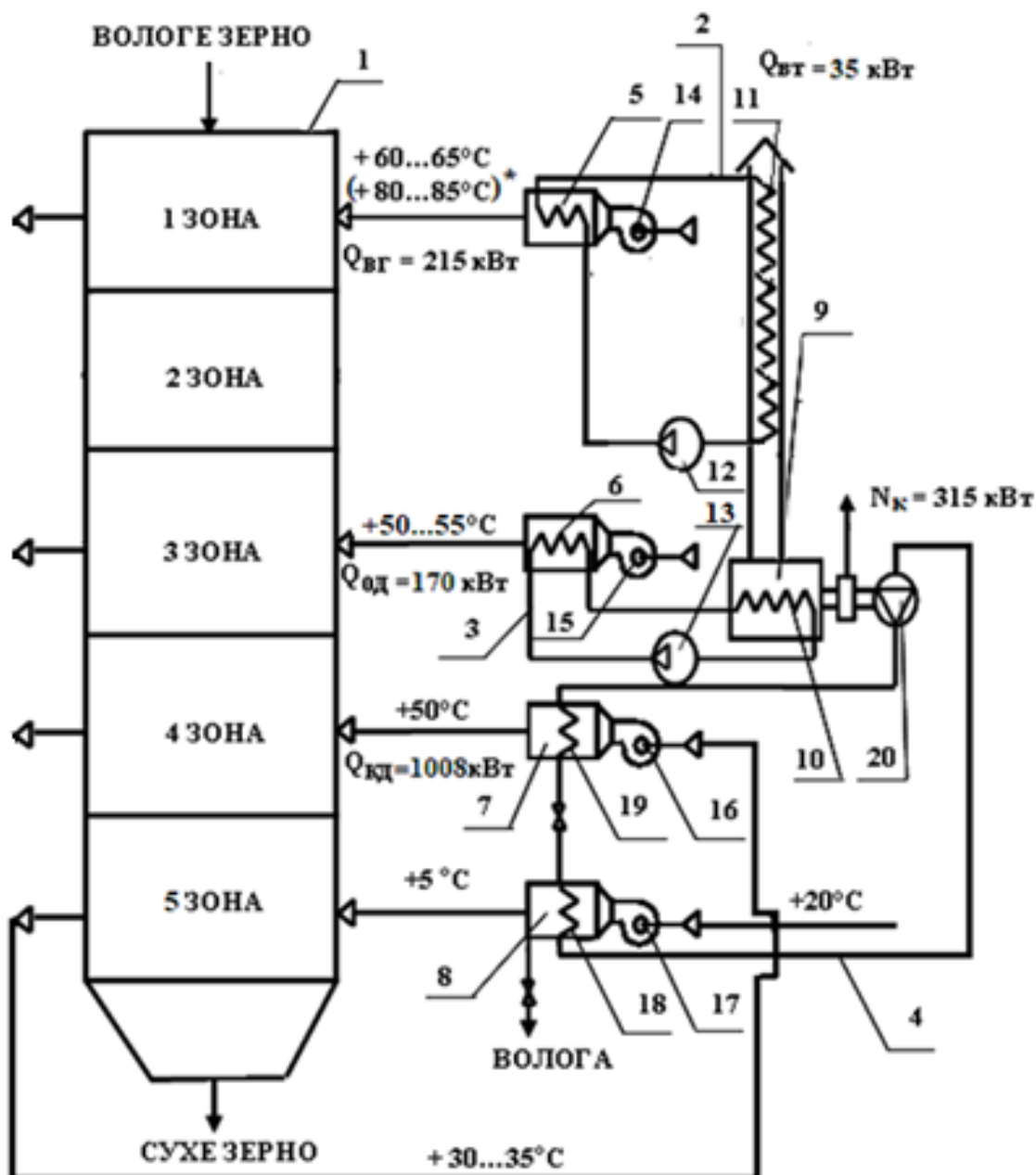


Рис. 6.3. Теплотехнічна схема роботи п'ятизонної шахтної зерносушарки безперервної дії продуктивністю 15,5 т/год. із тепловим насосом та газовим двигуном генератором:

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

Зерносушарка працює наступним чином: вологе зерно надходить в I зону, де відбувається нагрівання та зневоднення насіння при температурі теплоносія

60 – 65°C від системи утилізації теплоти димових газів, яка складається з теплообмінника 5, теплоутилізатора 11 та циркуляційного насоса 12.

Підігріте і частково зневоднене зерно надходить в II зону, де відбувається перерозподіл теплоти та вологи в матеріалі без нагрівання матеріалу.

В III зоні продовжується його тепловологістна обробка при температурі теплоносія 50 – 55°C, нагрітим від відібраної теплоти з системи охолодження мастила газового двигуна генератора, яка складається з теплообмінника 6, теплоутилізатора 10 та циркуляційного насоса 13.

В IV зоні відбувається сушіння насіння при температурі теплоносія 50°C від конденсатора теплового насосу 19 зі зниженими параметрами вологовмісту теплоносія. Нагрівання теплоносія у конденсаторі теплового насосу 19 відбувається від температури теплоносія 30...35°C отриманої від рециркуляції теплоносія з V зоні сушіння до 50°C, що стабілізує роботу теплового насосу і знижує залежність від температури навколишнього середовища в холодну пору року.

В V зоні насіння відбувається інтенсивне охолодження на випарнику теплового насоса 18 при температурі 5°C. Зневоднене та підігріте від зерна теплоносії до температури, додатково підігрівається до температури 50°C на конденсаторі 19 теплового насосу і направляється в IV зону для досушування зерна.

Зневоднене та охолоджене зерно після V зони зерносушарки направляється на зберігання.

Таким чином, проводячи сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур із тепловим насосом можна досягти поставленої задачі – інтенсифікації процесу сушіння зі збереженням якості насіння та використання 92% первинної енергії газового двигуна генератора 9 в схемі теплового насоса.

Газовий двигун генератор ДвГА – 315 забезпечує виробництво електричної енергії в кількості $N_E = 315$ кВт та теплової $Q_{II} = 420$ кВт. Вироблена електрична енергія витрачається на роботу компресора теплового насосу.

Теплова енергія отримана від роботи газового дизель-генератора розподіляється на підігрівання зерна в першій зоні в кількості $Q_{BG} = 215$ кВт та на сушіння насіння в другій зоні в кількості $Q_{OD} = 170$ кВт.

В третій зоні для продовження сушіння використовується теплота утворена в тепловому насосі, величина якої на конденсаторі складає $Q_{KD} = 1008$ кВт. Втрати теплової енергії в навколишнє середовище від роботи газового двигуна генератора ДвГА – 315 складають $Q_{BT} = 35$ кВт.

Розрахунок шахтної зерносушарки із тепловим насосом:

1. Теплопродуктивність агрегату:

$$Q_T = Q_{BG} + Q_{OD} + Q_{KD} = 215 + 170 + 1008 = 1393 \text{ кВт} \quad (6.1)$$

2. Продуктивність по повітрю:

$$\text{Для I зони: } L_1 = \frac{Q_{BG} \cdot 80}{c_{II} \cdot \Delta t} = \frac{215 \cdot 80}{0,24 \cdot (65 - 20)} = 1646 \text{ кг / год} \quad (6.2)$$

$$\text{Для II зони: } L_2 = \frac{Q_{OD} \cdot 80}{c_{II} \cdot \Delta t} = \frac{170 \cdot 80}{0,24 \cdot (55 - 20)} = 1704 \text{ кг / год} \quad (6.3)$$

$$\text{Для III зони: } L_3 = \frac{Q_{KD} \cdot 80}{c_{II} \cdot \Delta t} = \frac{1008 \cdot 80}{0,24 \cdot (50 - 20)} = 12000 \text{ кг / год} \quad (6.4)$$

3. Кількість видаленої з зерна вологи:

$$W = \Sigma L \cdot \Delta d = 154240 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 1080 \text{ кг / год} \quad (6.5)$$

4. Продуктивність по сухому зерну (при зниженні вологості з 15% до 8%):

$$G = \frac{W}{70} = \frac{1080}{70} = 15,5 \text{ т / год} \quad (6.6)$$

5. Питомі витрати газу на сушіння:

$$L_{\text{газу}} = \frac{B}{G} = \frac{98}{15,5} = 6,33 \text{ м}^3 / \text{т} \quad (6.7)$$

де V - витрати газу в газовому дизель – генераторі ДвГа – 315, м³/год.

6. Енерговитрати на видалення 1 кг видаленої вологи:

$$Q_{BT} = \frac{L_{газу} \cdot \Theta \cdot 4,18}{70} = \frac{6,33 \cdot 8000 \cdot 4,18}{70} = 3024 \text{ кДж/кг} \quad (6.8)$$

де Θ – теплоспроможність газу, $\Theta = 8000$ ккал/м³.

Розроблена шахтна зерносушарка з тепловим насосом та газовим двигуном генератором ДвГА – 315 дає можливість проводити процес сушіння зернових, олійних та технічних культур при цьому забезпечує себе повністю електричною та тепловою енергією.

Очікувані питомі витрати теплоти на 1 кг видаленої вологи складає 3024 кДж/кг, що в порівнянні з іншими зерносушарками дозволяє отримати економію в 1,8 – 2,2 рази (рис. 6.4).

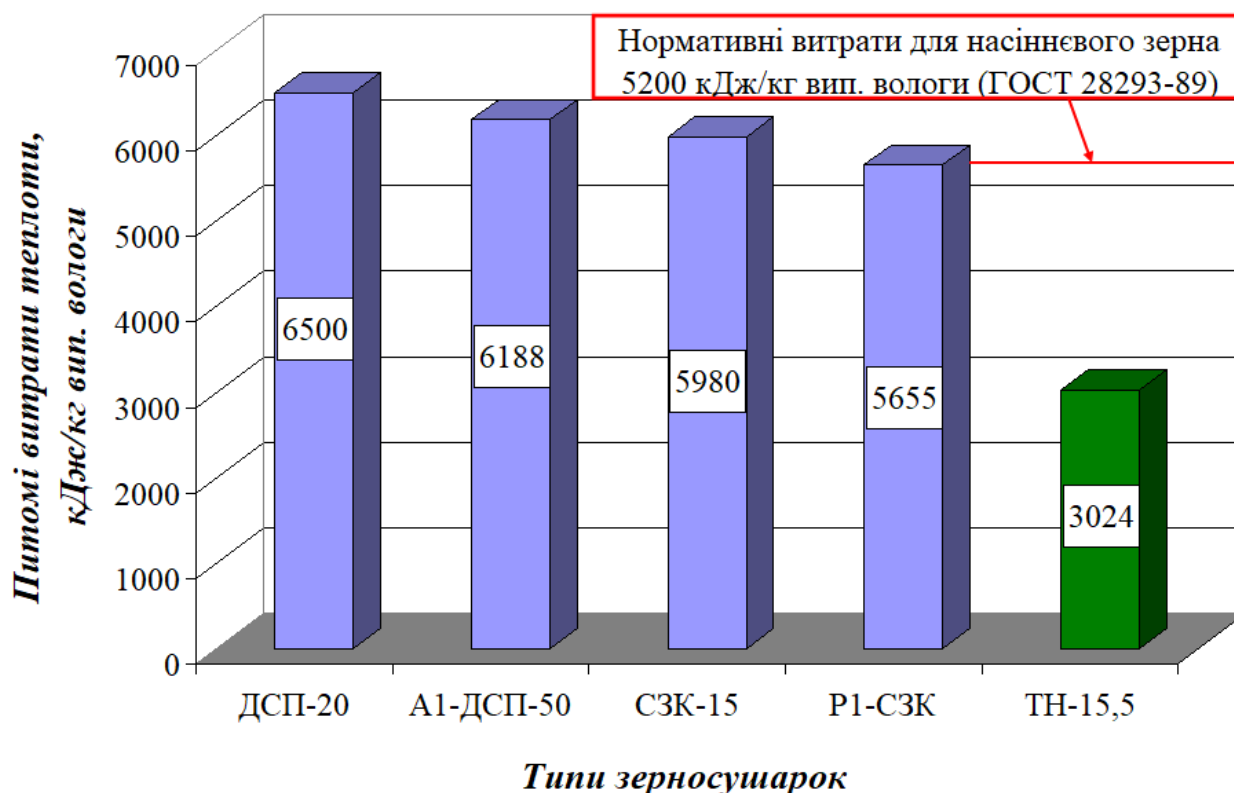


Рис. 6.4. Порівняння питомих витрат теплоти в існуючих зерносушарках та розробленій шахтній зерносушарці ТН-15,5 із тепловим насосом та дизель генератором ДвГА - 315

6.2. Техніко-економічний розрахунок шахтної зерносушарки ТН-15,5 із тепловим насосом та газовим двигуном генератором ДвГА – 315 для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур

Розрахунок техніко-економічних показників шахтної зерносушарки ТН-15,5 проводиться в порівнянні між теплогенераторам на базі теплового насоса і газового двигуна генератора ДвГА – 315 та теплогенератором з пальником RIELLO на природному газі.

Орієнтовна вартість теплогенераторів представлена в табл.6.1 та табл. 6.2, їх технічні характеристики теплогенератором з пальником RIELLO – табл. 6.3.

Таблиця 6.1.

Вихідні дані для розрахунку техніко-економічних показників теплового насосу з газовим двигуном генератором ДвГА – 315 [228, ,229]

№	Найменування	Вартість з НДС (20%), грн.	Постачальник
1.	Двигун генератор ДвГА - 315	1300000	АООТ „Первомайскдизельмаш”
2.	Тепловий насос 315 кВт	3024000	ТОВ НВО „Екотепло”
Всього:4324000 грн			

Таблиця 6.2.

Вихідні дані для розрахунку техніко – економічних показників теплогенератора з пальником RIELLO на природному газі [230]

Найменування	Вартість, грн	Мито (15%), грн	НДС (20%), грн	Постачальник
Теплогенератор PGA – 1300	1054620	158193	242562	фірма „АРАJ” (Польща)
Всього: 1455375 грн				

Таблиця 6.3.

Технічна характеристика теплогенератора PGA – 1300 з пальником RIELLO на природному газі [230]

Параметри	Значення
Теплова потужність, кВт	1508
Витрата газу, м ³ /год	175,6
Витрати електроенергії, кВт	45,5
Габаритні розміри:	
ширина	1300
довжина	4450
висота	3100

Техніко – економічний розрахунок.

1. Розрахунок капітальних витрат.

До капітальних витрат відноситься вартість устаткування і монтажу (10% від вартості обладнання).

$$K = 1,1 C_o, \quad (6.9)$$

де C_o – вартість обладнання.

Для теплогенератора RIELLO:

$$K_{тг} = 1,1 \cdot 1455375 = 1600912 \text{ грн.}$$

Для теплового насосу з двигуном генератором :

$$K_{тн} = 1,1 \cdot 4324000 = 4756400 \text{ грн.}$$

2. Розрахунок експлуатаційних витрат.

Експлуатаційні витрати B і складаються з суми поточних витрат на енергоносії, амортизацію, техобслуговування, ремонт і заробітну плату:

$$B = B_n + B_{e.n} + B_a + B_{mo} + B_p + B_{zn} \quad (6.10)$$

де B_n – витрати палива, грн.

$B_{e.n}$ – витрати електроенергії, грн.

B_a – амортизаційні відрахування, грн.

$B_{mo} + B_p$ – експлуатаційні витрати на ремонт і техобслуговування, грн.

B_{zn} – витрати на заробітну плату робітникам, грн.

2.1. Витрати палива визначаються кількістю спожитого газу за годину, вартістю та кількістю годин роботи в рік:

$$B_n = P_z \cdot T_z \cdot \tau_p \quad (6.11)$$

де P_z – споживання газу, м³/год.;

$T_z = 8,55$ – тариф на газ, грн./м³ [231];

τ_p – кількість годин роботи в рік, год.

Для теплогенератора

$$B_{тг} = 175,6 \cdot 8,55 \cdot 1440 = 2161987 \text{ грн./рік}$$

Для теплового насосу з двигуном генератором:

$$B_{тн} = 95 \cdot 8,55 \cdot 1440 = 1169640 \text{ грн./рік}$$

2.2. Витрати електроенергії в теплогенераторі PGA 1300 фірми RIELA визначаються кількістю спожитої електроенергії за годину, діючими тарифами та кількістю годин роботи в рік віднесеної до продуктивності зерносушарки:

$$B_{e.н.} = P \cdot T_{ел.} \cdot \tau_p, \quad (6.12)$$

де P – сумарна споживана потужність електроустаткування, кВт/год.;

$T_{ел.} = 1,76$ – тариф за електроенергію для м. Києва, грн./кВт [232];

τ_p – кількість годин роботи в рік, год.;

$$B_{e.н.} = 45,5 \cdot 1,76 \cdot 1440 = 104832 \text{ грн.}$$

2.3. Амортизаційні відрахування визначаються як відношення капітальних витрат до терміну служби устаткування:

$$B_a = \frac{K}{\tau} \quad (6.13)$$

де τ – термін служби устаткування. $\tau = 15$ років.

$$\text{Для теплогенератора } B_a = \frac{1600912}{15} = 106727 \text{ грн./т.}$$

$$\text{Для теплового насосу з двигуном генератором: } B_a = \frac{4756400}{15} = 317093 \text{ грн.}$$

2.4. Поточні експлуатаційні витрати на ремонт і техобслуговування устаткування приймаємо рівними 1 % від вартості основного устаткування

$$B_{mo} + B_p = 0,01 \cdot C_0, \quad (6.14)$$

Для теплогенератора: $B_{mo} + B_p = 0,01 \cdot 1455375 = 14554$ грн.

Для теплового насосу з двигуном генератором:

$$: B_{mo} + B_p = 0,01 \cdot 4324000 = 43240 \text{ грн.}$$

2.5. Витрати на заробітну плату робітників.

Приймаємо обслуговуючий персонал у кількості – 4 чоловіка в зміну. Середній оклад – 8000 грн/міс., при сезонній роботі 1440 год./рік (3 міс) при 2 змінній роботі, маємо:

$$B_{zn} = 4 \cdot 8000 \cdot 3 \cdot 2 = 192000 \text{ грн.}$$

Нарахування на заробітну плату у розмірі 38%, що складає – 72960 грн.

Всі річні експлуатаційні витрати зводимо в таблицю 6.4.

Таблиця 6.4.

Експлуатаційні витрати на процес сушіння насіння зернових,
олійних та технічних культур

Експлуатаційні витрати, грн./т.	теплогенератор з пальником RIELLO	тепловий насос з двигуном генератором ДвГА – 315
Витрати газу	+ 2161987	+ 1169640
Витрати електроенергії	+ 104832	-
Амортизаційні відрахув.	+ 106727	+ 317093
Ремонт і тех. обслугов.	+ 14554	+ 43240
Заробітна плата	+ 192000	+ 192000
Нарахування на з/п	+ 72960	+ 72960
Всього	2653060	1794933

3. Економічний ефект від впровадження теплонасосного устаткування з газовим двигуном генератором ДвГА – 315 відносно діючих тарифів:

$$E = (B_{ТГ} - B_{ТН}) = 2653060 - 1794933 \approx 858127 \text{ грн.} \quad (6.15)$$

4. Термін окупності капітальних вкладень:

$$T = \frac{K}{E} = \frac{4756400}{858127} = 5,54 \text{ р.} \quad (6.16)$$

6.3. Розробка енергоефективних безвідходних теплотехнологій отримання насіння овочевих культур

На рис. 6.5 представлено аналіз існуючих технологічних схем переробки насіння овочевих культур в технологічних лініях ЛСТ-10, УСБ-8, ЛТК-15, ЛСБ-20 [39, 226, 227].

В представлених технологічних схемах переробки овочевих культур, можна виділити основні такі операції: приймання, миття та інспектування овочів; видалення насіння та обробка насінневого матеріалу. Основним технологічним процесом доведення насіння до необхідної кондиційної вологості є сушіння.

В літературних джерелах не завжди вказується режими сушіння, які можуть суттєво вплинути на якість насінневого матеріалу. В овочах вміст насіння може складати до 5%, все інше потрапляє у відходи.

Під час виділення насіння за відомими технологічними схемами відбувається втрати насіння разом із технологічною масою, яка видаляється у відходи і складається з м'якоті насінників, шкірки, мезги, слизових включень і т. ін. Втрати насіння можуть досягати до 15%, що створює необхідність вдосконалення існуючих та розробки сучасних комплексів технологічних машин та ліній для безвідходної переробки овочів.

В Інституті технічної теплофізики були розроблені технології отримання сухих функціональних харчових порошоків, що комплексно вирішує питання ефективної переробки та утилізації відходів з овочів. За матеріалами досліджень були опубліковані статті, патенти та розроблені технічні умови для виробництва функціональних порошоків [235-254].

Виробництво насіння овочевих культур є однією із найбільш трудомістких операцій. Об'єми виробництва залежить не тільки від умов вирощування, але і від якості насінневого матеріалу. Низька якість вітчизняного насінневого матеріалу приводить до закупівлі насіння за кордоном.

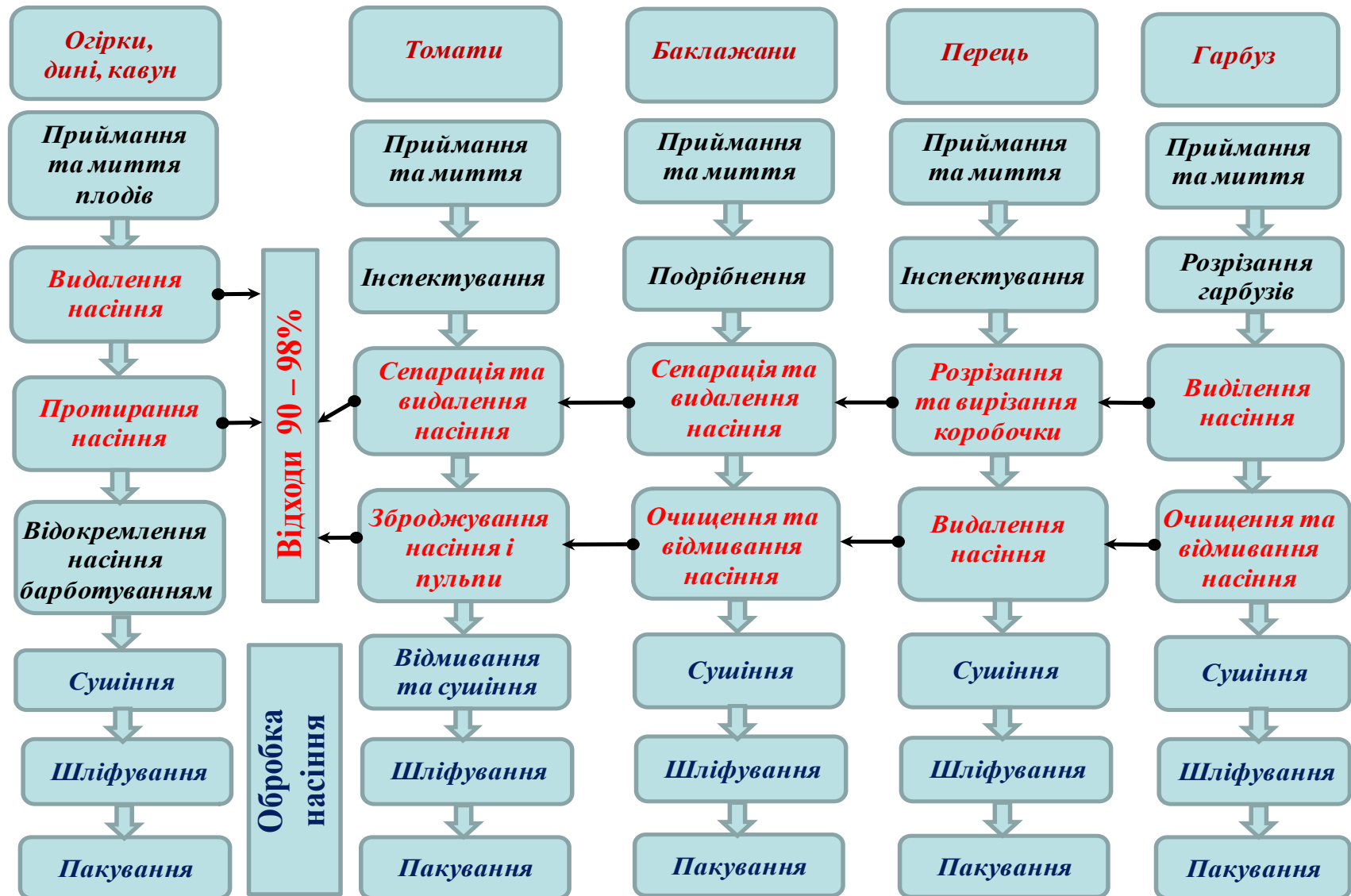


Рис. 6.5. Схема отримання насіння овочів у спеціалізованих насінневих господарствах [39, 233,234]

В Україні функціонували спеціалізовані господарства із вирощування насіння гарбузів, дині, огірків та інших культур, що практично повністю забезпечували насіннєвим матеріалом регіони України. Ця галузь була практично знищена і в даний час починає відроджуватись.

Технологічний процес отримання насіння та функціональних порошків включає вилучення насіння з овочів, попередню обробку насіння та овочевої сировини, впровадження оптимальних режимів сушіння насіння та сировини, подрібнення сухої сировини, класифікація насіння за розмірами, пакування та зберігання насіння та функціональних порошків.

На основі проведених досліджень були розроблені безвідходні технології отримання посівного матеріалу та функціональних порошків з овочів.

6.4. Розробка енергоефективної безвідходної теплотехнології та обладнання переробки томатів

Були розроблена безвідходна технологія повної переробки томатів на насіння та порошок. Яка передбачає вилучення насіння та переробку м'якоті томату. Для отримання якісного насіннєвого матеріалу томатів використовували розроблені режими сушіння. Безвідходна технологічна схема отримання насіння томатів та антиоксидантних порошків представлена на рис. 6.6.

Відповідно до технологічної схеми томати поступають у ящиках і направляють на інспекцію та миття у спеціальні ємності. Відібрані плоди промивали, розрізали і видаляли насіння разом з мезгою від основної м'якоті.

Проводили ферментацію насіння у власному соку при температурі середовища 25°C протягом доби. Після цього рідину зливали, а насіння, яке залишилося на дні ємності, промивали декілька разів водою та подавали на сушіння при температурі теплоносія 50°C. Після сушіння охолоджували та сухе насіння фасували у мішки.

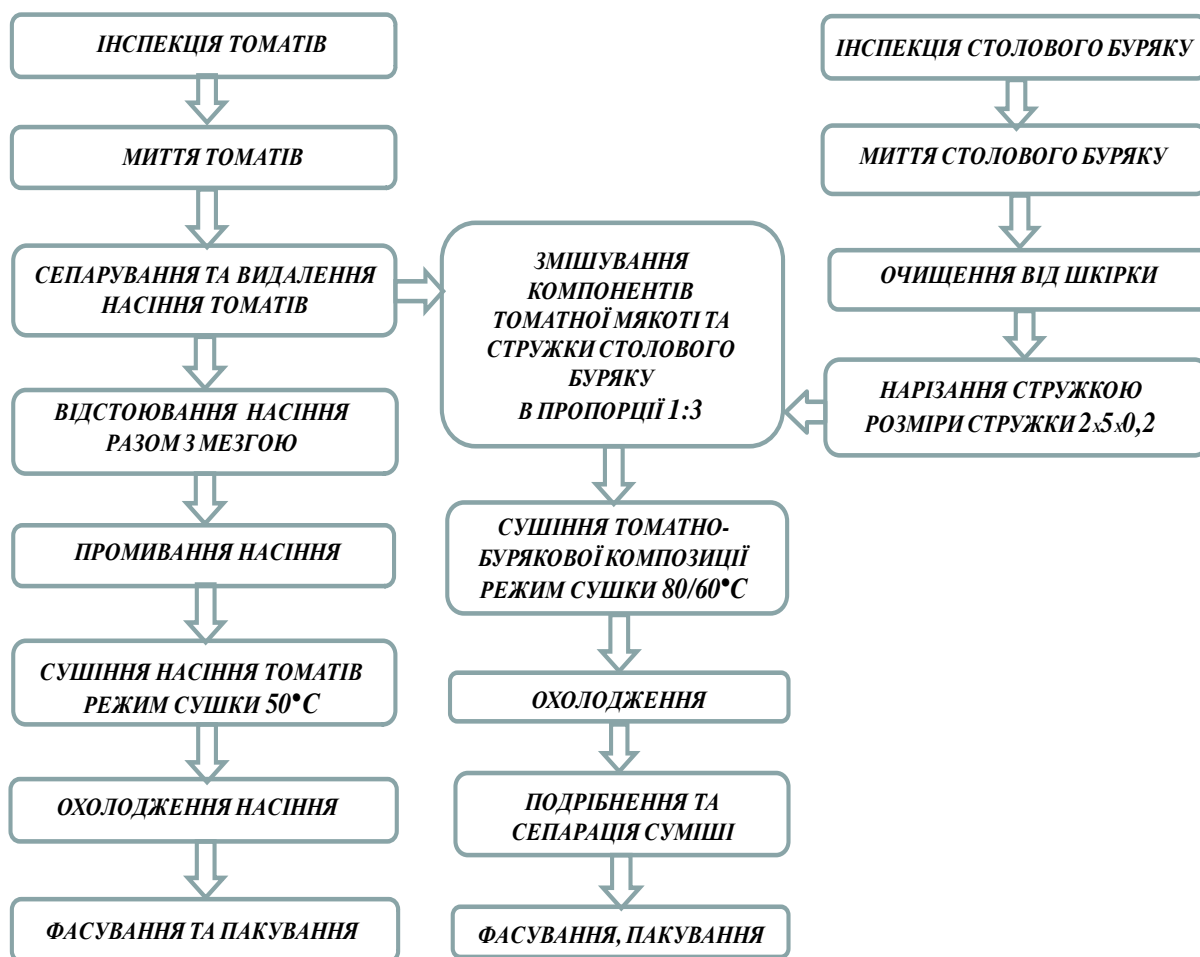


Рис. 6.6. Технологічна схема комплексної безвідходної переробки томатів

Поряд з тим відходи з плодів томатів поєднують з столовим буряком порізаним попередньо на стружку розмірами $2 \times 5 \times 0,2$ мм, що має лікувально-профілактичні, зокрема антиоксидантні властивості.

Відходи томатів після відбирання насіння поєднували з столовим буряком для максимального збереження бетаніну, створюючи композиції зі співвідношеннями компонентів томат – буряк 1:4, 1:3, 1:2, 1:1.

Для визначення необхідного співвідношення компонентів томатно-бурякової композиції з оптимальним рН, який зумовлює високий вміст збереження бетаніну, досліджені 5 зразків з різним вмістом компонентів у суміші. При pH 3...4 під час теплового оброблення максимально зберігається бетанін.

Як видно з рис. 6.7 необхідний рівень pH характерний для співвідношення одна частина томату та три частини столового буряка. Саме ця композиція була використана в подальших дослідженнях [254].

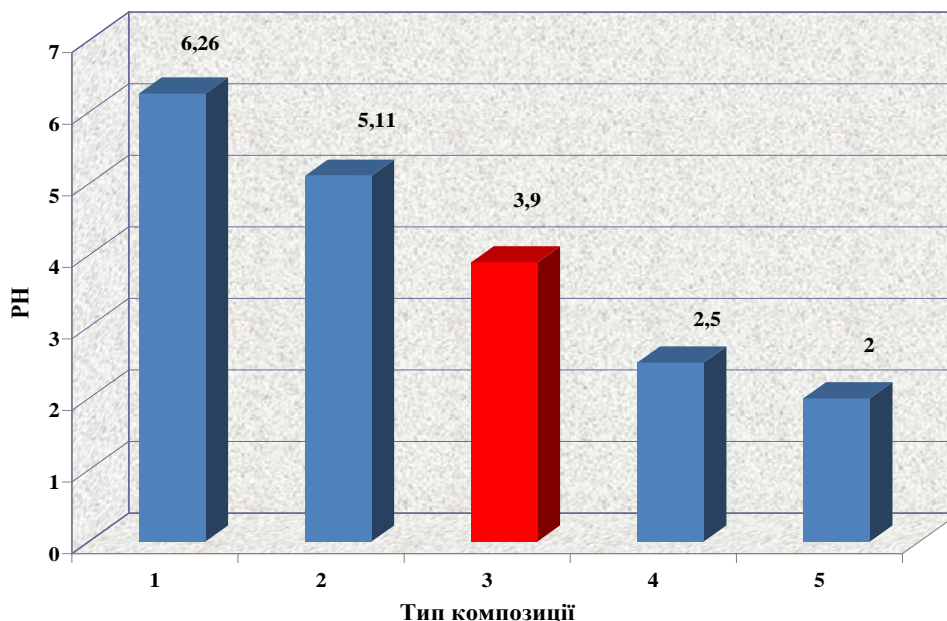


Рис. 6.7. pH композиції в залежності від співвідношення компонентів:

- 1 – столовий буряк; 2 – томат –буряк (1:4); 3 – томат –буряк (1:3);
4 – томат –буряк (1:2); 5 – томат - буряк (1:1)

Для отримання порошку створювали композицію з томатів та буряку у відповідних співвідношеннях, сушили нижче за рівноважну вологість, охолоджували до температури навколишнього середовища, подрібнювали, просіювали та пакували у крафт-мішки.

Режими сушіння насіння томатів вибрано згідно з дослідженнями, сушіння томатно-бурякової композиції в ступеневому режимі 80/60°C визвано необхідністю збільшенням інтенсивності та енергоефективністю процесу сушіння [254].

Для впровадження розробленої енергоефективної безвідходної технології отримання насіння томатів та переробки томатної маси запропонована технологічна лінія представлена на рис. 6.8.

Схема технологічної лінії для виробництва насіння томатів з встановленою трьохзонною тунельною сушаркою з комплексним підігрівом на твердопаливному теплогенераторі (1 зона) та тепловому насосі (2 зона) і охолодження за рахунок теплового насосу (3 зона).

7 x 6000 = 42000

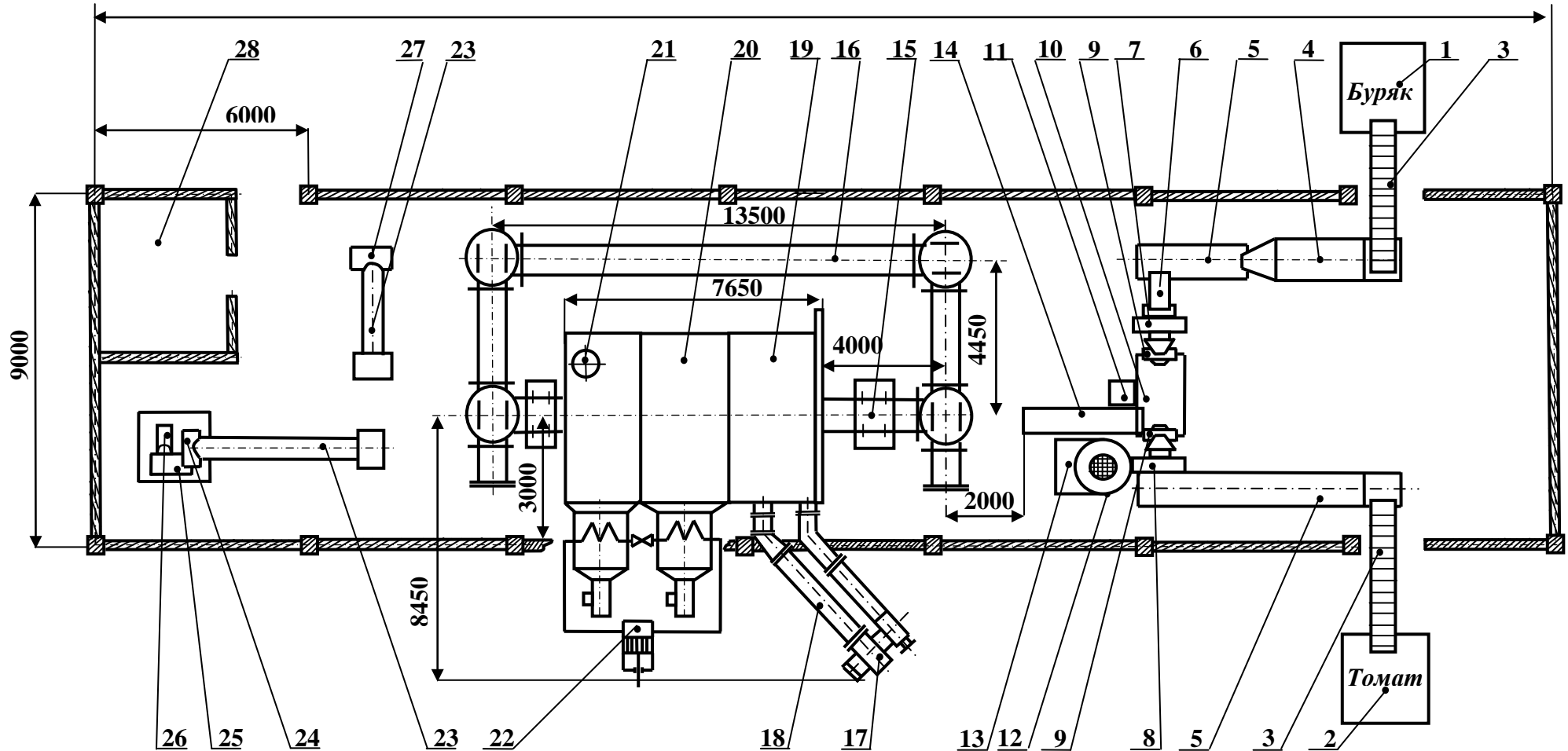


Рис. 6.8. Схема технологічної лінії для виробництва насіння томатів та томатно-бурякового харчового порошку:

1 – ємність для приймання бураку; 2 – ємність для миття томатів; 3 – транспортер елеваторний ТЕ; 4 – машина миюча барабанна Т1-КУ2-М; 5 – транспортер інспекційний ТСІ з магнітним сепаратор П - 100; 6 – машина для зняття шкірки бураку; 7 – машина для нарізання бураку А9КР2В; 8 – дробарка насінневідокремлювач для томату; 9 – дозатор ваговий МІ - 1540 - 91; 10 – лопатевий змішувач томату та бураку П - 500; 11 – розкладач томатно-бурякової суміші; 12 – вана для відстоювання насіння; 13 – ємність для проціджування насіння; 14 - конвеєр стрічковий А9-КТФ для завантаження піддонів; 15 – візок з піддонів; 16 – колія рейкова; 17 – вентилятор; 18 – трубопровід; 19 – сушарка 1 зона сушіння на теплогенераторі ТФ2.03; 20 – сушарка 2 зона сушіння від конденсатора ТН; 21 – сушарка 3 зона охолодження від випарника ТН; 22 – тепловий насос; 23 – елеватор «Гусяча шия» А-6; 24 – мікромлин молотковий 10ММ; 25 – вібрисито РЗ-ВЦА; 26 – машина мішкозашивочна К4 – БУВ; 27 – машина для фасування в пакети; 28 – склад готової продукції.

Лінія із виробництва насіння з томатів та томатно-бурякового порошку складається із наступних ділянок: підготовки сировини до сушіння, сушіння, охолодження, подрібнення, сепарації, пакування та складу готової продукції.

Томат засипають у ємність з водою та миють (2), потім транспортером (3) подають на інспекційний транспортер ТСІ (4). Після чого томат нарізають, видаляють насіння на дробарці насінневідокремлювач для томату (8), а м'якоть подають в дозатор (9) і завантажують у лопатевий змішувач (10).

Насіння разом з м'якоттю потрапляє на відстоювання в ємність (12), після відстоювання та ферментації на протязі 1 доби, проціджується на ситах в ємності (13). Отримане насіння розподіляється на піддонах для проведення сушіння і направляється в другу зону сушарки з температурою 50°C, після чого подається в третю зону для охолодження. Режими сушіння в другій та третій зоні контролюється роботою теплогенератора на тепловому насосі.

Поряд з тим паралельно засипають свіжий столовий буряк у приймальну ємність з водою (1) – попередньо миється, за допомогою елеваторного транспортера ТЕ (2) поступає на барабанну миючу машину Т1-КУМ2-М (3), де відбувається кінцеве миття столового буряку.

Після миття проводиться інспекція на інспекційному транспортері (5) з вловлювання металевих домішок і надходить на очищення в машину для видалення шкірки (6). Очищений буряк нарізають на стружку 2x5x0,2мм машиною для нарізання овочів А9КР2В (7). Отримана стружка столового буряку після зважування на ваговому дозаторі МІ – 1540 – 91 (8) подають у змішувач (9), де він змішується з томатною м'якоттю.

Томат і буряк змішують у відповідних пропорціях. Змішану сировину за допомогою розкладача (11) рівномірно розкладають на піддони і направляють конвеєром стрічковим А9-КТФ (14) для завантаження на візки.

Піддони закладаються на візок (15) і він разом з піддонами направляється в трьохзонну тунельну сушарку по встановленій рейковій колії (16). Трьохзонна тунельна сушарка працює в наступних температурних режимах:

- I зона сушіння (19) – відбувається сушіння томатно-бурякової суміші при температурі теплоносія 80°C - підготовка сушильного агента проводиться від твердопаливного теплогенератора (18) з нагнітанням теплоносія вентилятором (17) в сушильну камеру;

- 2 зона сушіння (20) – працює як для сушіння другої ступені томатно-бурякової суміші при температурі 60°C або як для сушіння насіння томатів при температурі теплоносія 50°C – при можливості регулювання температури нагрівання теплоносія на конденсаторі ТН;

- 3 зона охолодження (21) – охолодження томатно-бурякової композиції та насіння помідор від конденсатора ТН при температурі теплоносія $+5 - 10^{\circ}\text{C}$.

Таким чином, 1,2,3 зони тунельної сушарки працює лише при необхідності сушіння томатно-бурякової композиції, в іншому випадку для сушіння насіння томату застосовується 2,3 зони сушіння від теплового насоса.

Висушена томатно-бурякова сировина подрібнюється на мікрмлині молотковому 10-ММ (24), класифікується на циліндричному віброситі РЗ-ВЦА (25) і отриманий порошок пакують за допомогою мішкозашивочної машини К4-БУВ (26) і направляється в склад готової продукції (28).

Висушене томатне насіння надходить на пакування на пакувальньо-фасувальний автомат (27), де фасується в пакети по 0,5 кг.

6.5. Розробка енергоефективної безвідходної технології та обладнання переробки гарбуза

Технологічні лінії розглянуті різними авторами із переробки плодів гарбузів на сок та м'якоть, пюре, джем, отримання пектину із плодів гарбузів - не вирішує проблему повної безвідходної технології переробки плодів гарбузів з отриманням високоякісного насіння [39, 255-258] .

Для отримання якісного насіння насіннєвого призначення розроблена технологічна схема комплексної безвідходної переробки гарбуза (рис. 6.9) .

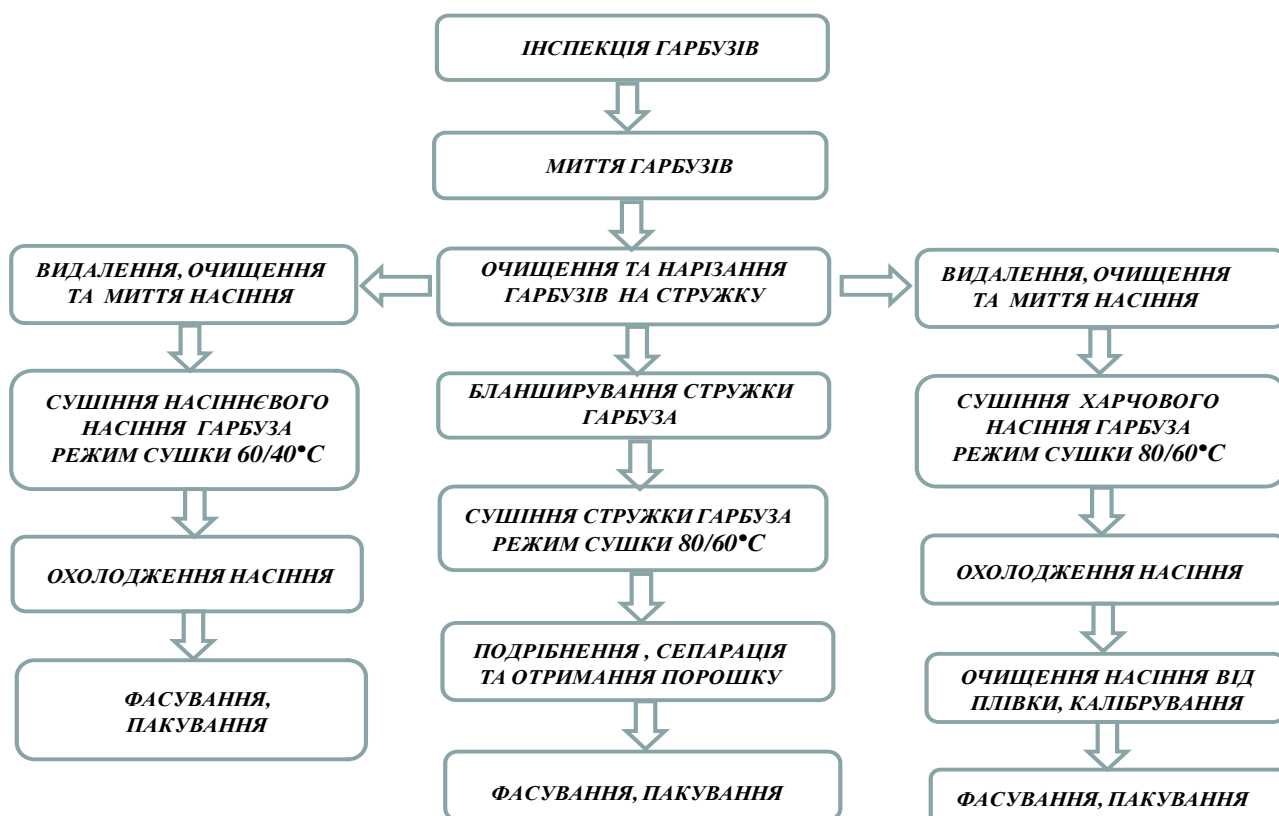


Рис. 6.9. Технологічна схема енергоефективної переробки гарбузів

Технологічна схема безвідходної переробки гарбузів вміщує ділянку підготовки сировини до сушіння, ділянку сушіння і ділянку отримання порошку.

Гарбуз інспектують, замочують у ємності з водою та миють. поступає в бункер для приймання сировини, після чого його проводять інспекцію та миють в миючій машині.

Після миття гарбузи подають на стіл, ріжуть на 4 частини, чистять від шкірки, видаляють насіння та серцевину.

Насіння промивають і відправляють на сушку в залежності від призначення:

– для насіння насінневого призначення сушку проводять в ступеневому режимі сушіння 60/40°C; для насіння продовольчого призначення сушку проводять при ступінчатому режимі сушіння 80/60°C.

Насіння насінневого призначення охолоджують, фасують в великі упаковки, розпаковують в маленькі.

Насіння харчового призначення після сушіння охолоджують, очищають насіння від плівки та калібрування. Потім насіння фасують та пакують.

Для створення безвідходної схеми переробки гарбуза і отримання харчового порошку із гарбузу, необхідно провести наступні технологічні операції:

- нарізати гарбуз на стружку;
- бланшування у водяному середовищі протягом 5 хв. при температурі 100°C;
- сушіння стружки гарбуза при температурі теплоносія 80/60°C та охолодження.
- подрібнення, сепарація та отримання харчового порошку з розмірами частинок не більше 1,5 мм.

Отриманий харчовий гарбузовий порошок поступає на фасування, пакування та маркування.

Згідно технології представленої на рис.6.10 гарбузи замочуються у ємності з водою (1), з якої подається елеватором ЕГШ-1 (2) продуктивністю 2000 – 5000 кг/год, в мийну машину барабанного типу РЗ-КМ2-А2,5 (3).

Після миття за допомогою стрічкового транспортера ТСІ (4) продуктивністю 1500 кг/г, гарбузи подають на стіл (5), де їх ріжуть на чотири частини, чистять від шкірки, видаляють насіння та серцевину.

Насіння промивають і відправляють на сушку в залежності від призначення:

- для насіння насінневого призначення сушку проводять в теплонасосній двозонній сушарці (17,18) при ступеневому режимі 60/40°C; для насіння продовольчого призначення сушку проводять в газовому теплогенераторі (15,16) в режимі сушіння 80/60°C.

Фасування відбувається в упаковку по 0,5 кг.

В насінні гарбуза харчового призначення крім зазначених операцій для насіння насінневого призначення вводиться операція очищення в шліфувальній машині.

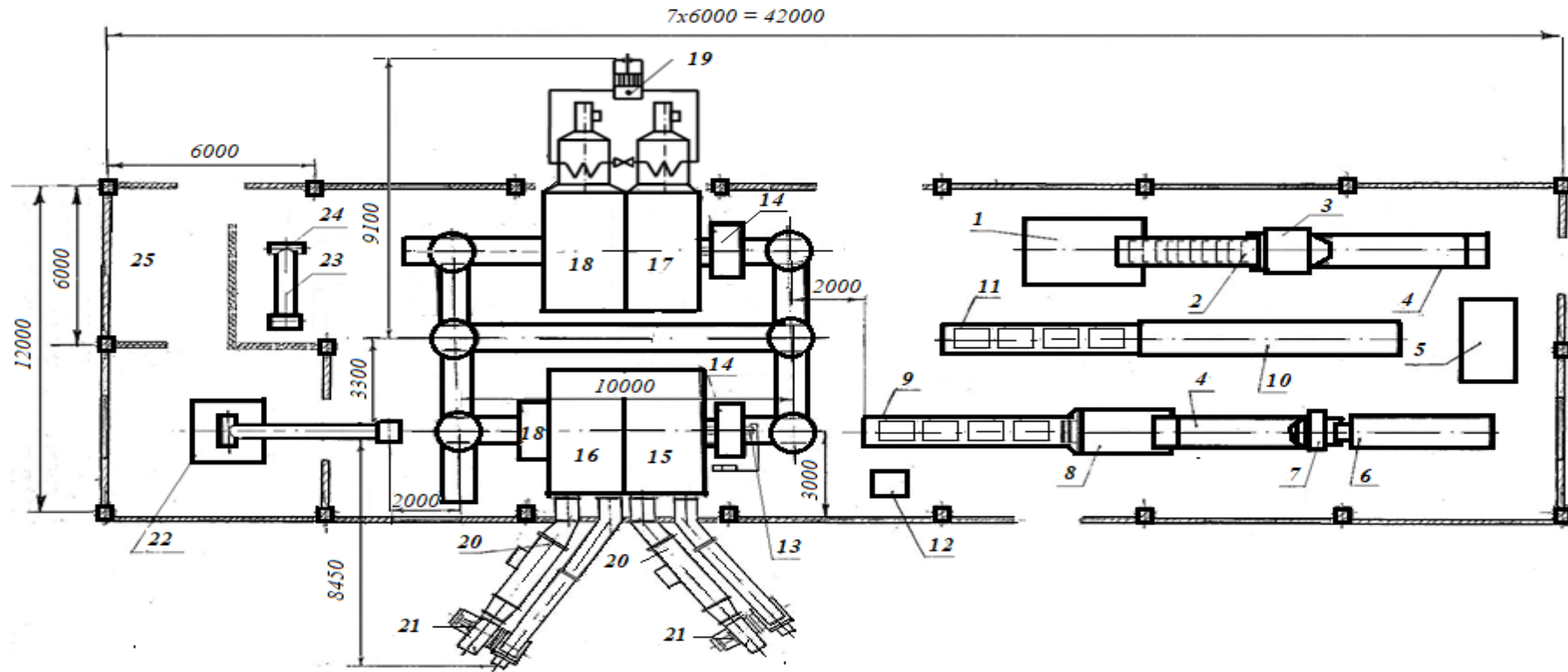


Рис. 6.10. Схема розміщення обладнання технологічної лінії для виробництва насіння гарбуза:

1 - ємність з водою; 2 - елеватор ЕГШ-1 продуктивністю 2000 – 5000 кг/год; 3 - машина для мийки барабанного типу РЗ-КМ2-А2,5; 4 - стрічковий транспортер ТСІ продуктивністю 1500 кг/г; 5 - стіл для різки гарбузів; 6 - транспортер інспекційний роликівий КТО продуктивністю 2000-3000 кг/год.; 7 - машина для різки універсальна А9-КЩ продуктивністю 3000 кг/г; 8 - бланширувач БКП-400 продуктивністю 400 кг/год.; 9 - конвеєр стрічковий А9-КТФ для стружки гарбуза; 10 – інспекційний конвеєр для насіння гарбуза; 11 – конвеєр стрічковий для розкладання насіння на піддони; 12 – пункт керування; 13 – механізм для руху візків; 14 - візок; 15,16 – I та II зона сушіння в тунельній сушарці для сушіння гарбуза та насіння харчового призначення; 17 – I та II зона теплонасосної сушарки для сушіння насіння гарбуза насінневого призначення; 18 - зона охолодження; 19 – теплонасосна установка; 20 - твердопаливний теплогенератор (два); 21 -- вентилятор (два); 22- установка для отримання порошку із сухої стружки гарбуза; 23 – транспортер; 24 – шліфувальна машина для насіння харчового та насінневого призначення; 25 – склад готової продукції

Для створення безвідходної схеми переробки гарбуза і отримання харчового порошку із гарбузу, необхідно провести наступні технологічні операції:

- нарізати гарбуз на стружку;
- бланшування у водяному середовищі протягом 5 хв. при температурі 100°C (8) продуктивністю 400 кг/год;
- сушіння стружки гарбуза при температурі теплоносія 80/60°C на 2-х зонній сушильній установці (15) та зоні охолодження (16).
- подрібнення на молотковій дробарці (22) з розмірами частинок не більше 1,5 мм.

Отриманий харчовий гарбузовий порошок поступає на фасування, пакування та маркування.

6.6. Техніко-економічне обґрунтування впровадження безвідходної теплотехнології переробки гарбуза

Проводимо порівняння техніко-економічних показників технологічних ліній для отримання гарбузового насіння та харчових порошоків, що представлена в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5.

Техніко-економічні показники технологічних ліній сумісного виробництва гарбузового насіння та функціонального гарбузового порошку

№ п/п	Назва показників	Одиниці виміру	Лінії		
			ЛТП-1	ЛТО-2	ЛТП-3
1.	Продуктивність лінії:				
	по сировині	кг/год	200	250	750
	по вологому насінню	кг/год	8	10	30
	по сухому продукту	т/сез (3 міс)	77	96	288
	порошку	т/сез (3 міс)	46,4	58	174
	насінню	т/сез (3 міс)	4,2	5,25	15,75

Продовження таблиці 6.5.

2.	Річне число роботи (3 зміни)	год/рік	2100	2100	2100
3.	Витрата електроенергії	кВт/год	25	32	95
4.	Вартість електроенергії	грн.	1,76	1,76	1,76
5.	Витрата газу	тис. м ³ /год	0,03	0,035	0,085
6.	Вартість газу	грн./ тис. м ³	8550	8550	8550
7.	Витрати води	м ³	2	2,5	7,5
8.	Вартість води	грн./м ³	19,6	19,6	19,6
9.	Кількість обсл. персоналу	чол.	18	21	24
10.	Середня заробітна плата	грн.	8000	8000	8000
11.	Вартість обладнання в лінії	тис. грн.	3450	4500	6000

Техніко-економічний розрахунок сумісного виробництва гарбузового насіння та функціонального гарбузового порошку на лінії ЛТП-1

з однозонною тунельною сушаркою

1. Розрахунок капітальних витрат.

До капітальних витрат відноситься вартість устаткування і монтажу. Відповідно до нормативних розцінок вартість монтажу складає 10 % вартості устаткування, у такий спосіб капітальні витрати складають:

$$K = 1,1 C_o, \quad (6.15)$$

де C_o – вартість обладнання.

$$\text{ЛТП-1: } K_1 = 1,1 \cdot 3450000 = 3795000 \text{ грн.}$$

$$\text{ЛТО-2: } K_2 = 1,1 \cdot 4500000 = 4950000 \text{ грн.}$$

$$\text{ЛТП-3: } K_3 = 1,1 \cdot 6000000 = 6600000 \text{ грн.}$$

2. Розрахунок експлуатаційних витрат.

Експлуатаційні витрати B і складаються з суми поточних витрат на енергоносії, амортизацію, техобслуговування, ремонт і заробітну плату і т.д.:

$$B = B_{\Pi} + B_E + B_A + B_T + B_P + B_3 + B_I + B_C + B_M \quad (6.16)$$

B_{Π} – витрати палива, грн./т.

B_E – витрати електроенергії, грн./т.

B_B – витрати води, грн./т.

B_A – амортизаційні відрахування, грн./т.

$B_T + B_P$ – експлуатаційні витрати на ремонт і техобслуговування, грн./т.

B_3 – витрати на заробітну плату робітникам, грн./т.

B_I – інші витрати, грн./т.

B_C – витрати на тару, грн./т.

B_M – витрати на транспортування порошку, грн./т.

2.1. Витрати палива визначаються кількістю спожитого палива за годину, вартістю та кількістю годин роботи в рік:

$$B_{II} = P_{II} \cdot T_{II} \cdot \tau_p \quad (6.17)$$

де P_{II} – споживання палива, т. ум. п./год.;

T_{II} = тариф на паливо, грн./м³ [231];

τ_p – кількість годин роботи в рік, год.

- ЛТП-1: $B_{Г1} = 0,03 \cdot 8550 \cdot 2100 / (46,4 + 4,2) = 10645$ грн./т.

- ЛТО-2: $B_{Г2} = 0,035 \cdot 8550 \cdot 2100 / (58 + 5,25) = 9936$ грн./т.

- ЛТП-3: $B_{Г3} = 0,085 \cdot 8550 \cdot 2100 / (174 + 15,75) = 8043$ грн./т.

2.2. Витрати електроенергії визначаються кількістю спожитої електроенергії за годину, діючими тарифами та кількістю годин роботи:

$$B_E = P \cdot T_E \cdot \tau_p, \quad (6.18)$$

де P – сумарна споживана потужність електроустаткування, кВт/год.;

$T_E = 1,76$ – тариф за електроенергію, грн./кВт [279];

τ_p – кількість годин роботи в рік, год.;

ЛТП-1: $B_{E1} = 25 \cdot 1,76 \cdot 2100 / (46,4 + 4,2) = 1826$ грн./т.

ЛТО-2: $B_{E2} = 32 \cdot 1,76 \cdot 2100 / (58 + 5,25) = 1869$ грн./т.

ЛТП-3: $B_{E3} = 95 \cdot 1,76 \cdot 2100 / (174 + 15,75) = 1850$ грн./т.

2.3. Витрати води визначаються кількістю спожитої води за годину, діючими тарифами та кількістю годин роботи:

$$B_E = P \cdot T_E \cdot \tau_p, \quad (6.19)$$

де P – споживання води, м³/год.;

$T_E = 19,6$ – тариф за воду, грн./м³;

τ_p – кількість годин роботи в рік, год.;

ЛТП-1: $B_{B1} = 2 \cdot 19,6 \cdot 2100 / (46,4 + 4,2) = 1627$ грн./т.

ЛТО-2: $B_{B2} = 2,5 \cdot 19,6 \cdot 2100 / (58 + 5,25) = 1627$ грн./т.

ЛТП-3: $B_{B3} = 7,5 \cdot 19,6 \cdot 2100 / (174 + 15,75) = 1627$ грн./т.

3.3. Амортизаційні відрахування визначаються як відношення капітальних витрат до терміну служби устаткування:

$$B_A = \frac{K}{\tau} \quad (6.20)$$

де τ – термін служби устаткування. $\tau = 20$ років.

ЛТП-1: $B_{A1} = \frac{3795000}{20} = 189750(46,4 + 4,2) = 3750$ грн./т.

ЛТО-2: $B_{A2} = \frac{4950000}{20} = 247500(58 + 5,25) = 3913$ грн./т.

ЛТП-3: $B_{A3} = \frac{6600000}{20} = 330000(174 + 15,75) = 1739$ грн./т.

3.4. Поточні експлуатаційні витрати на ремонт і техобслуговування устаткування приймаємо рівними 1 % від вартості основного устаткування:

$$B_T + B_P = 0,01 \cdot C_0, \quad (6.21)$$

ЛТП-1: $B_T + B_P = 0,01 \cdot 3450000 / (46,4 + 4,2) = 682$ грн./т.

ЛТО-2: $B_T + B_P = 0,01 \cdot 4500000 / (58 + 5,25) = 711$ грн./т.

ЛТП-3: $B_T + B_P = 0,01 \cdot 6600000 / (174 + 15,75) = 348$ грн./т.

3.5. Витрати на заробітну плату робітників за сезон (3 зміни).

ЛТП-1: $B_{31} = 18 \cdot 8000 \cdot 3 / (46,4 + 4,2) = 8538$ грн./т.

ЛТО-2: $B_{32} = 21 \cdot 8000 \cdot 3 / (58 + 5,25) = 7968$ грн./т.

ЛТП-3: $B_{33} = 24 \cdot 8000 \cdot 3 / (174 + 15,75) = 3036$ грн./т.

Нарахування на заробітну плату у розмірі 38%, що складає:

ЛТП-1: $B_{H31} = 8538 \cdot 0,38 = 3244$ грн./т.

ЛТО-2: $B_{H32} = 7968 \cdot 0,38 = 3027$ грн./т.

ЛТП-3: $B_{H33} = 3036 \cdot 0,38 = 1154$ грн./т.

3.6. Інші витрати приймають у кількості 50% від розміру заробітної плати:

$$\text{ЛТП-1: } B_{I1} = 8538 \cdot 0,5 = 4269 \text{ грн./т.}$$

$$\text{ЛТО-2: } B_{I2} = 7968 \cdot 0,5 = 3984 \text{ грн./т.}$$

$$\text{ЛТП-3: } B_{I3} = 3036 \cdot 0,5 = 1518 \text{ грн./т.}$$

3.7. Тара. Ємність одного об'єму порошку (мішка) – 40 кг.

Ємність одного об'єму насіння (мішка) – 0,5 кг.

Вартість тари для гарбузового порошку вираховується необхідністю мішків на їх вартість (4 грн):

$$\text{ЛТП-1: } B_{C1} = 46400 \cdot 4 / 40 \cdot 46,4 = 100 \text{ грн./т.}$$

$$\text{ЛТО-2: } B_{C2} = 58000 \cdot 4 / 40 \cdot 58 = 100 \text{ грн./т.}$$

$$\text{ЛТО-3: } B_{C3} = 174000 \cdot 4 / 40 \cdot 174 = 100 \text{ грн./т.}$$

Вартість тари для насіння на 1 т порошку приходить 11 кг сухого насіння (вартість пакету 2 грн):

$$\text{ЛТП-1: } B_{C1} = 11 \cdot 2 / 0,5 = 44 \text{ грн./т.}$$

$$\text{ЛТО-2: } B_{C2} = 11 \cdot 2 / 0,5 = 44 \text{ грн./т.}$$

$$\text{ЛТО-3: } B_{C3} = 11 \cdot 2 / 0,5 = 44 \text{ грн./т.}$$

3.8. Транспортні витрати (для гарбузового порошку).

Відстань 100 км, вартість бензину 30 грн./л.

Одна розвозка – 300 грн. Машина бере 4 тони.

Річні витрати складають:

$$\text{ЛТП-1: } B_{M1} = 46,4 \cdot 300 / 4 \cdot 46,4 = 75 \text{ грн./т.}$$

$$\text{ЛТО-2: } B_{M2} = 58 \cdot 300 / 4 \cdot 58 = 75 \text{ грн./т.}$$

$$\text{ЛТП-3: } B_{M3} = 174 \cdot 300 / 4 \cdot 174 = 75 \text{ грн./т.}$$

На транспортування насіння приймаємо 9% від вартості транспортних витрат для порошку і складає 7 грн/т. Тобто всього транспортні витрати складають 82 грн/т.

4. При розрахунку собівартості отримання гарбузового порошку та насіння в лінії ЛТП-1 з однозонною сушаркою найбільші витрати йдуть на заробітну плату (31,2%) та енергоносії (37,3%): паливо (28,2%) + електроенергія (4,8%) + вода (4,3%). Частина сировина в собівартості складає 7,9% (табл. 6.6)..

Таблиця 6.6.

Розрахункова собівартість виробництва гарбузового насіння та харчового порошку

№ п/п	Назва показників	Одиниці виміру	Лінії (витрати / % від собівартості)		
			ЛТП-1	ЛТО-2	ЛТП-3
1.	Сировина	грн./т. /%	3000 / 7,94	3000 / 8,27	3000 / 13,31
2.	Паливо газ	грн./т. /%	10645 / 28,15	9936 / 27,40	8043 / 35,68
3.	Електроенергія	грн./т. /%	1826 / 4,82	1869 / 5,15	1850 / 8,21
4.	Вода	грн./т. /%	1627 / 4,3	1627 / 4,49	1627 / 7,22
5.	Амортизаційні відрахування	грн./т. /%	3750 / 9,92	3913 / 10,79	1739 / 7,72
6.	Експлуатація та ремонт	грн./т. /%	682 / 1,82	711 / 1,96	348 / 1,54
7.	Заробітна плата	грн./т. /%	8538 / 22,58	7968 / 21,98	3036 / 13,47
8.	Нарахування на з/п	грн./т. /%	3244 / 8,58	3027 / 8,35	1154 / 5,12
9.	Інші витрати	грн./т. /%	4269 / 11,29	3984 / 10,98	1518 / 6,73
10.	Тара (порошок + насіння)	грн./т. /%	144 / 0,38	144 / 0,40	144 / 0,64
11.	Транспортні витрати	грн./т. /%	82 / 0,22	82 / 0,23	82 / 0,36
12.	Собівартість (порошок + насіння)	грн./т. /%	37807 / 100	36261 / 100	22541 / 100
13.	Оптова ціна (рентабельність 20%)	грн./т. /%	45370 / 120	43516 / 120	27052 / 120

При розрахунку собівартості отримання гарбузового порошку та насіння в лінії ЛТП-3 з трьохзонною сушаркою відбувається відносно зменшення складової заробітної плати на 12,7% (18,5%) і збільшення частини сировини на 5,6% (13,5%) та енергоносіїв на 13,8% (51,1%): паливо (35,7%) + електроенергія (8,2%) + вода (7,2%). При цьому собівартість знижується на 41%.

Найбільш економічно доцільним є виробництво гарбузового насіння та харчового порошку в найбільш потужній лінії ЛТП-3 з собівартістю 1 т. порошку та сухого насіння в розмірі 22541 грн. /т. із застосування ступінчатого режиму сушіння 80/60°C (виробництво харчового насіння та порошку) та ступінчатий режим сушіння 60/40°C (виробництво насіння гарбуза насінневого призначення)

Процентне співвідношення питомих витрат на виготовлення порошку та гарбузового насіння на лініях ЛТП-3 представлено на рис. 6.11.

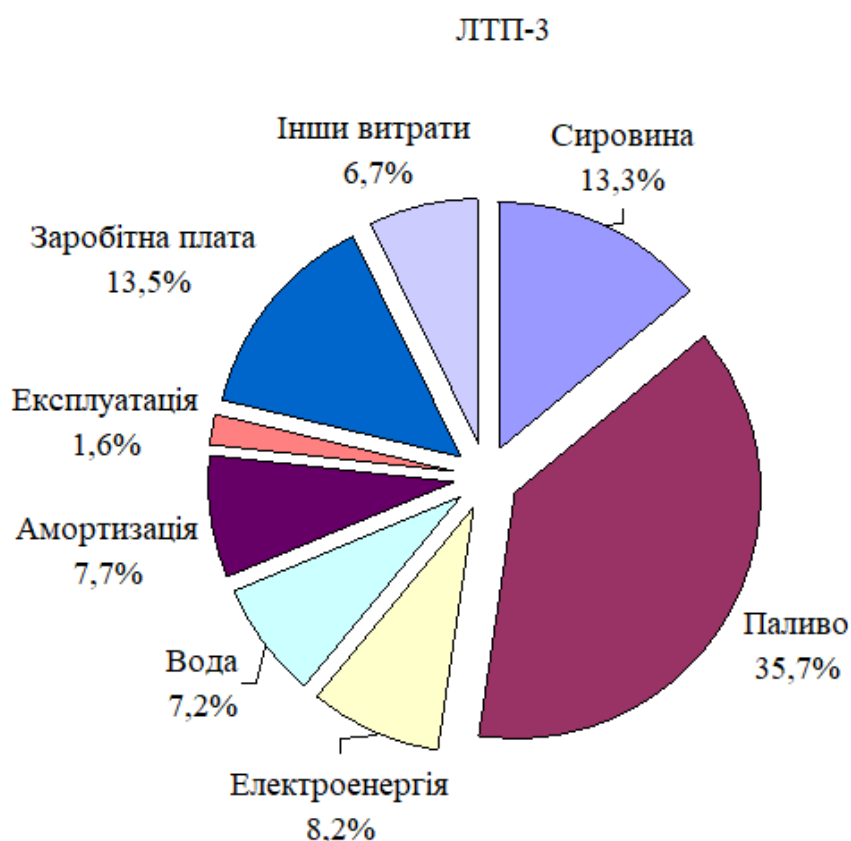


Рис. 6.11. Процентне співвідношення питомих витрат на виготовлення гарбузового порошку та насіння на лініях ЛТП-3

6.7. Розробка енергоефективної безвідходної теплотехнології переробки перцю

Технологічна схема розробленої технології комплексної екологічно-безвідходної переробки перцю представлена на рисунку 6.12.

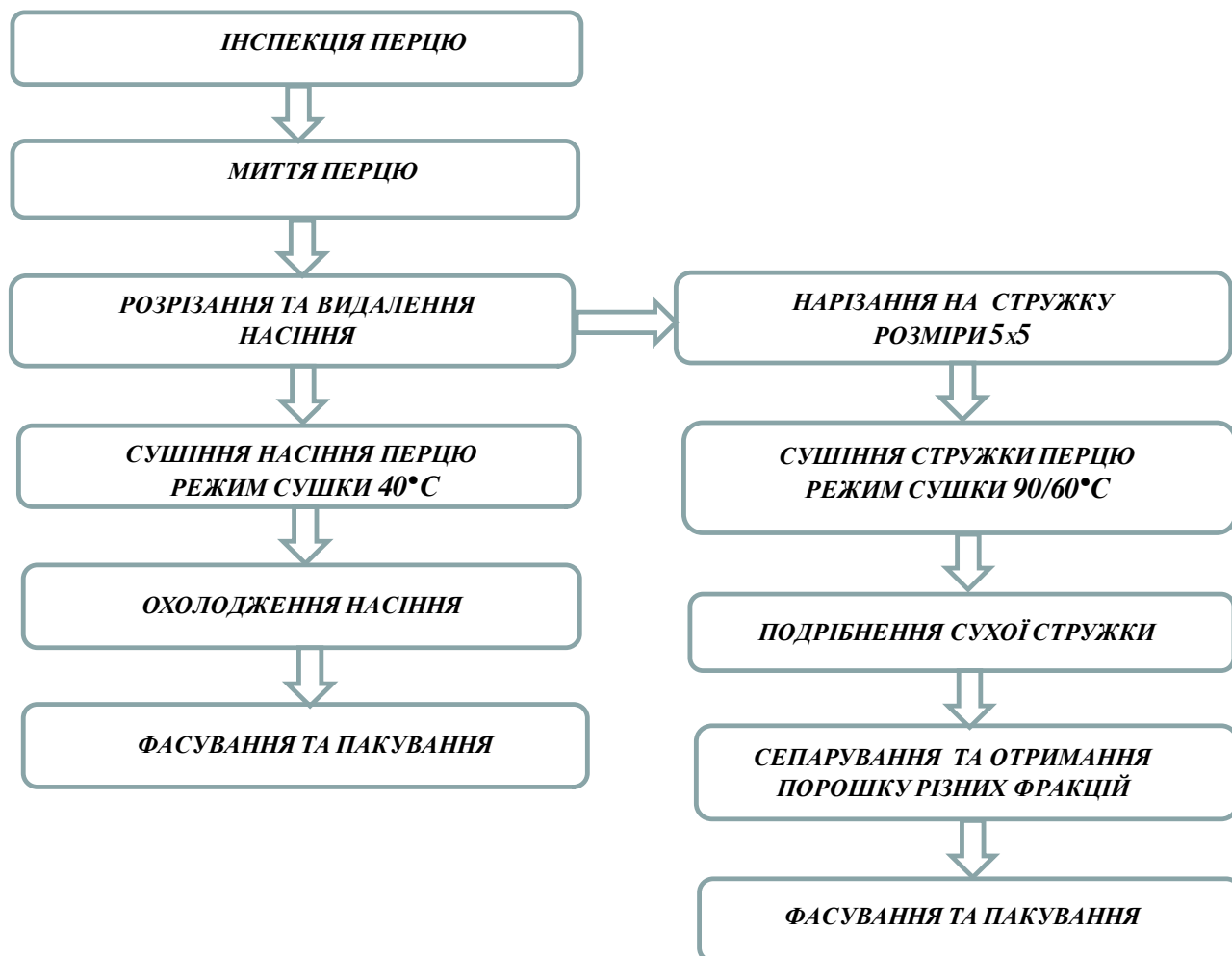


Рис. 6.12. Технологічна схема енергоефективної комплексної безвідходної переробки перцю

Перець поступає в бункер для приймання сировини, після чого його проводять інспекцію та миють в миючій машині.

Перець розрізають на 2 або 4 частини в залежності від розміру, видаляють серцевину та очищають від насіння.

Насіння промивають і відправляють на сушку. Сушку проводять при температурі теплоносія 40°C. Після сушіння насіння перцю охолоджують та фасують в пакети.

Отримання харчового порошку із перцю, відбувається наступним чином:

- нарізають перець на стружку 5x5;
- сушіння стружки перцю відбувається при температурі теплоносія в ступеневому режимі сушіння 90/60°C;
- подрібнення на молотковій дробарці з розмірами частинок не більше 1,5 мм.

Отриманий харчовий порошок із перцю поступає на фасування, пакування та маркування.

6.8. Впровадження результатів наукових досліджень

Результатом виконання дисертаційної роботи є організація та проведення заходів щодо впровадження результатів наукових досліджень у розробку теплотехнологій отримання насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур, технологічних ліній та сушильного обладнання. Використання принципово нових розробок сучасних теплонасосних технологій для сушіння насіння в сушарках періодичної і безперервної дії дає можливість знизити собівартість за рахунок економії енергетичних ресурсів та забезпеченням високоякісним насінням. Технологічні лінії із переробки насіння овочевих культур направлене на енергоефективну безвідходну переробку з застосуванням ступінчатих режимів сушіння та збереженням матеріальних ресурсів.

Проведені дослідження дозволили розробити нормативно-технічну документацію та здійснити апробацію науково-практичних розробок, а саме:

- наукові розробки підтверджені деклараційними патентами на винахід (додаток В);
- результати експериментальних досліджень показали можливість застосування теплонасосної шахтної зерносушарки періодичної дії ТНЗШ-0,5 для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур. Схожість насіння становить 99 – 100% (фермерське господарство «Євгенія» с. Дорохівка, Маловиськівський р-н, Кіровоградської області) (додаток Д1);

- виготовлення та застосування ступеневого режиму сушіння 60/40°C при сушінні насіння гарбуза на теплонасосній камерній сушарці ТНКС-0,02. Зменшено час сушіння і енерговитрати на 30% в порівнянні з існуючими аналогами. Схожість насіння становить 99 – 100% (ТОВ «Їжа майбутнього» м. Київ) (додатки Д2, Д3);

- виготовлення, монтаж та застосування двохступеневого режиму сушіння в шахтній зерносушарці продуктивністю 5т/год. Виготовлення та монтаж 5 секційної шахти, електромеханічного стола для імпульсного вивантаження насіння, твердопаливного теплогенератора потужністю 1,5 МВт, чотирьохсекційного теплообмінника, циклона для очищення вихлопних газів, механізмів завантаження і вивантаження насіння (ТОВ «НВП Торенерго» м. Вінниця). Введення в промислову експлуатацію зерносушарки із встановлення автоматичних пристроїв контролю завантаження та температурних режимів в зерносушальній шахті, регулювання швидкості вивантаження насіння. Апробований енергоефективний режим 65/50°C при сушінні насіння пшениці. Сушіння насіння відбувалось від початкової вологості 20-22% до рівноважної вологості 13 - 14% за один прохід. Екологічність сушіння насіння забезпечено встановленням багатосекційного трубчастого теплообмінника після твердопаливного теплогенератора. Схожість насіння пшениці після сушіння становила 96 – 98% (фермерське господарство «Люмила-агро» с. Плоске Мурованокуриловецький р-н, Вінницької обл.) (додаток Д4).

Приведемо розгляд розроблених промислових зерносушарок на теплонасосних теплогенераторах для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур.

1. Приведена зерносушарка шахтного типу ТНЗШ – 0,5 на теплонасосних теплогенераторах для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур складається із теплонасосного теплогенератора (1) та сушильної зернової шахти (2) (рис. 6.13).



Рис. 6.13. Зерносушарка шахтного типу ТНЗШ – 0,5 на теплонасосних теплогенераторах для сушіння насіння зернових, олійних та технічних культур.

1 – теплонасосний агрегат; 2 – сушильна шахта.

Технічна характеристика теплонасосної зерносушарки

1. Продуктивність по вилученій волозі	7 кг/год.
2. Одноразове завантаження	500 кг
3. Холодоагент	R22
4. Температура випаровування холодоагенту	-20÷+10 °С
5. Коефіцієнт перетворення теплоти	3,2
6. Встановлена потужність	4,5 кВт
7. Витрати теплоносія	1500 кг/год.
8. Габаритні розміри сушильної камери:	0,8 × 0,8 × 1,7 м
9. Габаритні розміри теплонасосного агрегату :	0,7 × 0,9 × 1,3 м

2. Виробництво, монтаж та впровадження у виробництво шахтної зерносушарки продуктивністю 5т/год.

I етап. Виробництво шахтної зерносушарки продуктивністю 5т/год на ТОВ «НВП Торенерго» м. Вінниця (рис. 6.14 – 6.16).

1. Виробництво секцій шахти зерносушарки.



Рис. 6.14. Виробництво секцій шахти зерносушарки

2. Виробництво твердопаливного котла потужністю 1,5 МВт та чотирьохсекційного теплообмінника

3. Виробництво електромеханічного столу для вивантаження насіння

4. Виготовлення та підготовка до монтажу циклона, ковшового елеватора та площадки обслуговування.

II етап. Монтаж та введення в експлуатацію шахтної зерносушарки продуктивністю 5т/год на фермерському господарстві «Люмила-агро» (рис. 6.17).

1. Підготовка котловану для заливання фундаменту.

2. Зв'язування арматури.

3. Заливання бетону.

4. Відстоювання фундаменту на протязі 3 тижнів.

5. Встановлення випускного механізму з вивантажувальним бункером на опори.



Рис. 6.15. Виробництво твердопаливного котла та чотирьохсекційного теплообмінника



Рис. 6.16. Виробництво електромеханічного столу для вивантаження насіння



Рис. 6.17. Монтаж шахтної зерносушарки продуктивністю 5 т/год

6. Монтаж секцій зерносушарки.
7. Встановлення завантажувального бункера.

8. Монтаж норії (встановлення башмака, норійних коробів та головки з приводом; заведення стрічки та прикручування ковшів; з'єднання норії зернопроводом із завантажувальним бункером).

9. Монтаж теплогенератора, теплообмінника, циклона та системи вентиляційних пристроїв із під'єднанням до зерносушарки.

10. Підключення зерносушарки та норії до електропідстанції 10/0,4 кВ.

11. Монтаж систем КВП та автоматизації (оптичні датчики рівня зерна, датчики та показчики температури теплоносія та зерна).

12. Пусконаладжувальні роботи.

13. Пуск в роботу зерносушарки із зерном.

III етап. Впровадження ступеневих режимів сушіння насіння зернових культур на 5 зонній шахтній зерносушарці продуктивністю 5т/год на фермерському господарстві «Люмила-агро».

На рис. 6.18 представлена робота шахтної зерносушарки та вивантаження насіння після сушіння насіннєвого матеріалу.

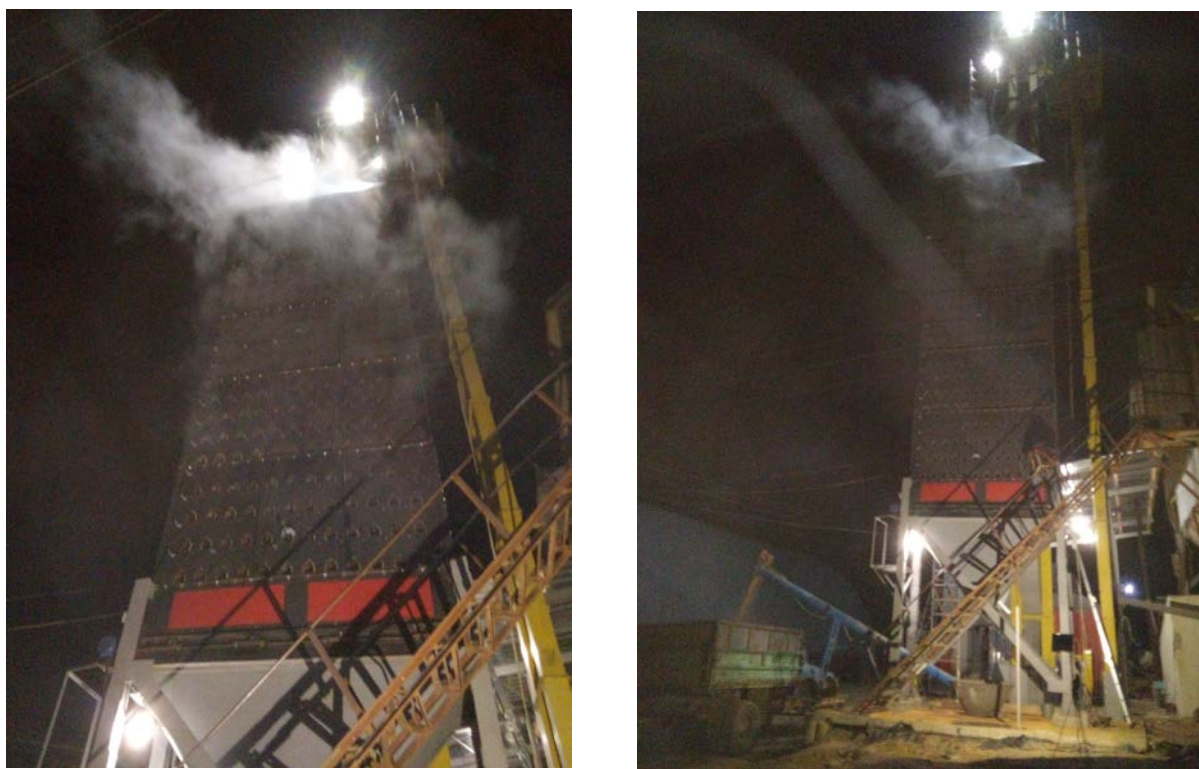


Рис. 6.18. Запровадження ступеневих режимів для сушіння насіння зернових культур

ВИСНОВКИ ДО ШОСТОГО РОЗДІЛУ

1. Розроблена схема п'ятизонної зерносушарки безперервної дії ТН-15,5 т/год. на базі газового дизель генератора та теплового насоса із застосування ступеневих режимів сушіння насіння зернових та технічних культур. Розраховані питомі витрати теплоти на процес сушіння насіння зернових та технічних культур складають 3024 кДж/кг вип. вологи.

2. Проведено техніко-економічне обґрунтування впровадження п'ятизонної зерносушарки безперервної дії продуктивністю 15,5 т/год. із терміном окупності 5,5 р.

3. Розроблено 3 енергоефективні теплотехнології отримання насіння овочевих культур із застосування ступінчатих режимів сушіння.

4. Для промислового впровадження технології виробництва насіння томатів та томатного порошку була розроблена промислово-технологічна лінія.

5. Розроблена технологія та промислово-технологічна лінія виробництва насіння гарбузів та гарбузового порошку із застосування ступеневих режимів сушіння. Розрахована економічна ефективність виробництва гарбузового насіння та харчового гарбузового порошку в найбільш потужній лінії ЛТП-3 та собівартістю 1 т. порошку та сухого насіння .

6. Розроблені ступеневі режими сушіння насіння зернових культур впроваджені в шахтній прямоточній зерносушарці з продуктивністю 5 т/год на фермерському господарстві “Людмила-агро” Вінницької області Мурованокуриловецький району с. Плоске.

Основні наукові результати розділу опубліковані в роботах [244 - 254].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі представлені результати досліджень сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур з метою вдосконалення та розробки енергоефективних режимів сушіння, тепло технологій та обладнання на базі теплового насосу.

1. Проведений енергетичний аналіз зерносушильної техніки для сушіння продовольчого зерна, показав що сушильні установки мають коефіцієнт корисної дії близько 50% і споживають в 2...2,5 раз більше енергії, ніж фізично необхідно. Для сушіння насінневого матеріалу витрати енергії ще збільшуються в 1,3 – 1,4 рази в порівнянні із продовольчим зерном, що обґрунтовує доцільність розробки енергоефективного сушильного обладнання.

2. Визначені закономірності кінетики сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур в елементарному шарі та встановлено, що процес проходить в періоді падаючої швидкості сушіння, що пов'язано із інтенсивним одночасним прогріванням та випаровуванням вологи з матеріалу.

3. Отриманні регресійні рівняння, побудовані поверхні відгуку схожості насіння, температура нагрівання насіння та тривалості сушіння від впливу температури та швидкості руху теплоносія і початкової вологості насіння.

4. У процесі математичного моделювання встановлено, що на тривалість сушіння, температуру нагрівання матеріалу та схожість насіння впливають всі фактори, але найбільший вплив спостерігається від температури теплоносія.

5. Вперше визначено граничнодопустиму температуру нагрівання насіння зернових культур на основі аналізу експериментальних даних схожості та кінетики процесу доведено, що можливо підвищити граничнодопустиму температуру нагрівання матеріалу на 4 - 8 °С від раніше рекомендованих.

6. Вперше розроблені ступеневі режими сушіння для насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур, що дали змогу отримати схожість насінневого матеріалу 98 – 100%, при зменшенні тривалості сушіння в 1,7 – 3,4 рази та енерговитрат на 62%.

7. Розроблені енергоефективні режими сушіння із використанням теплових насосів для сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур, зокрема для сушіння насіння гарбуза застосовано режим сушіння 60/40°C. Витрати теплоти менші від нормативних показників для насіннєвого зерна на 40%. Забезпечується висока схожість насіння на рівні 100%.

8. З узагальнених кривих сушіння визначені критичні точки, розраховані відносні коефіцієнти та кінетичні коефіцієнти сушіння, отримані рівняння узагальнених кривих сушіння та отримані формули швидкості сушіння насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур.

9. Розраховані формули тривалості сушіння для насіння зернових, олійних, овочевих та технічних культур, При порівнянні дослідної та розрахункової тривалості сушіння насіння пшениці, сої, гарбуза та ріпаку відхилення значень не перевищує 3%.

10. Вперше визначена теплоємність та питомі теплоти випаровування насіння овочевих культур Отримані формули розрахунку теплоємності насіння сої та гарбуза в діапазоні температур 30 – 92°C.

11. На основі отриманих експериментальних даних побудовані криві та визначені залежності числа Ребіндера, коефіцієнта тепловіддачі та критерії Нусельта від параметрів процесу.

12. Розроблена теплотехнологія сушіння при використанні схеми п'ятизонної зерносушарки безперервної дії ТН-15,5 т/год. на базі газового дизель генератора та теплового насосу із застосування ступеневих режимів сушіння насіння зернових та технічних культур з питомими витратами теплоти 3024 кДж/кг вип. вологи.

13. Розроблено безвідходні енергоефективні теплотехнології та промислово-технологічні лінії для отримання насіння овочевих культур із застосування теплових насосів.

14. Проведено техніко-економічне обґрунтування впровадження п'ятизонної зерносушарки безперервної дії продуктивністю 15,5 т/год з терміном окупності 5,5р. Розрахована економічна ефективність виробництва

гарбузового насіння та харчового гарбузового порошку із собівартістю на 38 – 63% нижче за рахунок використання відходів з гарбуза.

15. Отримані результати впроваджені для сушіння насіння зернових та олійних культур на фермерських господарствах: “Євгенія” (Кіровоградської обл.) та “Людмила-агро” (Вінницької обл.).

Теплотехнології та обладнання для виробництва насіння та харчового порошку овочевих культур впроваджено на ТОВ “Іжа майбутнього” (м. Київ).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сільське господарство України : Стат. щоріч. за 2011 рік за заг. кер. Ю. М. Остапчука ; Держкомстат України. К., 2012. 386с.
2. Офіційний сайт Grain Market Report. GMR 481 – 28 September 2017 [Електронний ресурс] – Режим доступу : [http:// www.igc.int](http://www.igc.int).
3. Лыков А. В. Теория сушки. М.: «Энергия», 1968. 472с.
4. Остапчук Н.В., Шашкин А.Б., Каминский В.Д. Повышение эффективности сушки зерна. К.: Урожай, 1988. 136с.
5. Офіційний сайт Держкомстату України. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua/>
6. Програма “ Зерно України – 2015” НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ. [Електронний ресурс] – Режим доступу : naas.gov.ua/content/zerno.doc.
7. Захаренко В. Продовольственная безопасность России (агротехнический аспект). Экономист, 2011. №6. С. 27-30.
8. Врожайність сортів озимої пшениці та ячменю KWS у 2014/2015 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http:// KWS. ua](http://KWS.ua).
9. Державний реєстр сортів рослин придатних для поширення в Україні на 2018 рік <http://www.sops.gov.ua/uploads/page/5aa63108e441e.pdf>.
10. Лебедев В.Б. Промышленная обработка и хранение семян. М.: Агропромиздат, 1991. – 255с.
11. Станкевич Г. М., Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна: Підручник. К.: «Либідь», 1997. 352с.
12. Голик М.Г., Делидович В.Н., Мельник Б.Е.. Научные основы обработки зерна в потоке. М.: «Колос», 1972. 263с.
13. Matkivska I. Ja., Atamanyuk V. M., Symak D.. Basic regularities of the filtration drying of wheat grain. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. №5/5(71). Р. 14-18.
14. Коваленко О.А., Косовська Н.В.. Вплив режимів сушіння зерна пшениці озимої на показники його продовольчих і насінневих якостей. [Електронний

ресурс] – Режим доступа: <http://lib.chdu.edu.ua/pdf/naukpraci/ecology/2012/179-167-16>.

15. Soares, M., Jorge, M., & Montanuci, F. Drying kinetics of barley grains and effects on the germination index. *Food Science & Technology*. 2004. №37(8). P. 811 – 816.

16. Markowski, M., Sobieski, W., Konopka, I. Drying Characteristics of Barley Grain Dried in a Spouted-Bed and Combined IR-Convection Dryers. *Drying Technology*. 2007. №25. P. 1621 – 1632.

17. Sacilik K. Effect Of Drying Methods On Thin-Layer Drying Characteristics Of Hull-Less Seed Pumpkin (*Cucurbita Pepo L.*). *Journal of Food Engineering*. 2007. №79. P. 23 – 30.

18. Guiné R. P., Pinho F. S., Barroca M. J. Study Of The Convective Drying Of Pumpkin (*Cucurbita Maxima*). *Food and Bioproducts Processing*. 2011. №89. P. 422 – 428.

19. Пилявская Л.С., Попов Н.Я., Черников М.И. Некоторые свойства семян рапса как объекта сушки. Тр. ВНИИ зерна и продуктов его переработки. 1984. Вып.105. С.47 –51.

20. Берегова О. М., Станкевич Г. М. Дослідження процесу сушіння насіння ріпаку. Вісник харківського державного університету сільського господарства. 2001. Вип. 5. С. 282 – 287.

21. Broker D.B., Bakker-Arkema F.W., Hall C.W. Drying cereal grains. Westport: AVI. 1974. 265p.

22. Franca Neto J.B., Henning A.A., Krzyzanowski F.C. Soybean seed drying. Seed production and technology for the tropics. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Tropical soybean: improvement and production. Rome: FAO, 1994. P. 217 – 240.

23. Boyd, A.H. Heated air drying of soybean (*Glycine max (L.) Merrill*) seed. 90f. Dissertation (Doctor of Philosophy) - Faculty of Mississippi State University, Mississippi State, 1974.

24. Krzyzanowski F.C., West S.H., Franca Neto J.B. Drying soybean seed using air ambient temperature at low relative humidity. *Revista Brasileira de Sementes*. 2006. Vol. 28, №. 2. P. 77 – 83.

25. Afrakhteh S, Frahmandfar E, Hamidi A., Ramandi H. Evaluation of Growth Characteristics and Seedling Vigor in Two Cultivars of Soybean dried under different Temperature and Fluidized bed dryer. *Intl J Agri Crop Sci*. 2013. Vol. 5 (21). P. 2537 – 2544.

26. Технология сушки и подработки семян зерновых культур в северных районах Томской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа:// http://sibniit.tomsknet.ru/files/articles/suschka_podrabotka.

27. Н.Я. Кирпа. Интенсификация и энергосбережение процесса сушки семян кукурузы в камерных сушилках. *Зернові продукти і комбікорми*. 2014. №3(55). С. 10 – 14.

28. Мельник Б.Е., Малин Н.И.. Справочник по сушке и активному вентилированию зерна. М.: «Колос», 1980. 148с.

29. Щитов С.В., Тихончук П.В., Кривуца З.Ф., Колзов А.В. Исследование влияния кинематических параметров на оптимизацию процесса сушки зерна. *Дальневосточный аграрный вестник. Научно-практический журнал*. 2016. №2(38). С. 98 – 102.

30. Щитов С.В., Кривуца З.Ф. Оптимизация энергозатрат в транспортно-технологическом обеспечении АПК: монография. Благовещенск: ДальГАУ, 2012. 151с.

31. Жидко В.И., В.И. Атаназевич. Лабораторный практикум по зерносушению. М.: «Колос», 1982. 96с.

32. Резчиков В.А., Дубиничева Р.П. Математическая модель процесса интенсифицированной сушки зерна. *Сборник научных трудов ВНИИЗ*. М.: ВНИИЗ, 1988. Вып. 110. С. 14 – 20.

33. Тиц З.Л. Машины для послеуборочной обработки семян. Теория и расчет машин. М.: «Машиностроение», 1967. 448с.

34. Тарабаев Б.К. Исследование процесса сушки зерна пшеницы в псевдооживленном слое. Сборник научных трудов ВНИИЗ. М.: ВНИИЗ, 1983. С. 50 – 52.
35. Теленгатор М.А., Уколов В.С., Кузьмин И.И. Обработка и хранение семян. М.: «Колос», 1980. 272с.
36. Результаты исследования физических процессов при сушке зерна [Электронный ресурс]. – Режим доступа:// <http://insightex.com.ua/wp-content/uploads/2014/08/СЭММ>.
37. Фролова Л.Н. Научное обеспечение процесса сушки семян льна в осциллирующих режимах с циклическим вводом антиоксиданта: Дис. канд. техн. наук 05.18.12. Воронежский государственный университет инженерных технологий. Воронеж, 2004. 209с.
38. Щербаков, В. Г. Технология получения растительных масел М.: «Колос», 1992. 207с.
39. Анисимов И.Ф. Машины и поточные линии для производства семян овощебахчевых культур. Кишинев: «Штинца», 1987. 292с.
40. Шабанов Н. И., Липкович Э. И. Совершенствование процесса послеуборочной обработки зерна. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1990. № 9.С. 20–24.
41. Хмелёв В.Н., Савин И.И., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Лебедев А.Н., Левин С.В., Хмелёв М.В. Система ультразвуковой сушки на основе пьезоэлектрического бесконтактного излучателя. Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: Межвузовский сборник, АлтГТУ, БТИ, 2005.
42. Григорьев, И.В. Импульсная инфракрасная сушка семян овощных культур, нетрадиционных и редких растений: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2010. 16с.
43. Зуев Н.А., Рудобашта С.П., Зотова Е.Ю., Зуева Г.А. Исследование энергии прорастания и всхожести семян горчицы при сушке импульсным ИК-

способом. Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия. 2011. № 2(47). С. 7 – 10.

44. Календерьян В.А., Корнараки В.В. Теплообмен и сушка в движущемся плотном слое. К.: «Вища школа», 1982. 160 с.

45. Членов В. А., Михайлов Н. В. Виброкипящий слой. М.: «Наука», 1972. 343с.

46. Пазюк О.Д., Паламарчук І.П., Пазюк В.М.. Вібраційні зерносушарки як спосіб інтенсифікації та економічності процесу сушіння зерна. Вібрація в техніці та технологіях. 2010. № 4(60). С.115 – 122.

47. Паламарчук І.П. Пазюк О.Д., Пазюк В.М., Янович В.П. Дослідження математичної моделі вібраційної барабанної зерносушарки. Вібрація в техніці та технологіях.2012. №4(68). С. 130 – 136.

48. Пазюк О.Д., В.М. Пазюк, Вишневський В.М., В.П. Янович. Дослідження роботи вібраційної барабанної зерносушарки. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету в сфері технічної науки. Вінниця: ВНАУ, 2015. № 1. С. 104 – 108.

49. Патент України на корисну модель. Вібраційна сушарка. № UA93364 U F26B9/00. Вібраційна сушарка. Янович В.П., Пазюк О.Д., Пазюк В.М., Купчук І.М. опубл. 25.09.14, бюл. №18.

50. Лебедев П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок. М.: Госэнергоиздат, 1963.

51. Левин М.Д. Термодинамическая теория и расчет сушильных установок.- М.: «Пищепромиздат», 1969. 289с.

52. Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок. Одеса-Київ, 1997. 72с.

53. Гапонюк І.І. Удосконалення технології сушіння зерна. [Монографія] Одеса.: Поліграф, 2009. 182с.

54. Гапонюк О.І., Гапонюк І.І., Станкевич Г.М., Гапонюк І.І. Активне вентильовання та сушіння зерна: навчальний посібник. К.: 2009. 324с.

55. Баум А.Е., В.А. Резчиков. Сушка зерна. М.: «Колос», 1983. 223с.

56. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. М.: «Пищевая промышленность», 1973. 528с.
57. Гришин М.А., Атаназевич В.И., Семенов Ю.Г. Установки для сушки пищевых продуктов. М.: «Агропромиздат», 1989. 215с.
58. Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С. Зерносушение и зерносушилки М.: «Колос», 1982. 239с.
59. Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Шувалов С.Є., Шмагін Л.М. Сушіння зерна. Лабораторні роботи: Навчальний посібник. К.: «Либідь», 1997. 136 с.
60. Котов Б.І., Калінченко Р.А. Застосування імпульсно-періодичних режимів вентилявання при реалізації енергоощадної двостадійної технології сушіння зерна. Електрифікація та автоматизація сільського господарства.2003. № 2. С. 69 – 74.
61. Станкевич Г. М. Модульних зерносушарок у нас ще немає, а шахтні і рециркуляційні досить енергоємні. Зерно і хліб. 2006. № 4. С. 47.
62. McLean K. A. Drying and storing combinable crops. Farming Press Ltd. London. 1980. P. 28.
63. Офіційний сайт журналу «Зерно». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.zerno-ua.com>
64. Каталог продукції фірми Araj (Польща). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.agroimpuls.com/index.php>.
65. Moridge Grain Dryers. Проспект фірми Moridge Mfg., Inc. (США). (ЦОСИФ ВНИИТЭИагропрома, И – 705).
66. Каталог продукції фірми Riela (Німеччина) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrbiznes.com/websiteview.php?id=59951>. – .
67. Каталог продукції фірми Stela (Німеччина). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.stela-drying-technology.de>.
68. Каталог продукції Карловський МЗ (Україна). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zbut@kmz.poltava.ua>.
69. Каталог продукції фірми Farm Fans (США). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fficorp.com/english/farmfans.html>.

70. Каталог продукції фірми Sukup MFG., Co. (США). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sukup.com>.
71. Каталог продукції фірми Grain systems.Inc. (США). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.grainsystems.com>.
72. Каталог продукції фірми Mathews Company (США). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mathewscompany.com>.
73. Каталог продукції заводу Брянсельмаш (Беларусь). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.agrobiznes.ru/agro/agroprod>.
74. Офіційний сайт фірми Buttner (Німеччина). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.buettner-energy-dryer.com/en/industrial-dryer-systems/rotary-drum-dryers>.
75. Каталог продукції фірми Mela (Німеччина). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mela.com.ua>.
76. Каталог продукції фірми Agrex (Німеччина). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.agrex.com>.
77. Каталог продукції фірми Ag – Proget (Польща). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ag-projects.com>.
78. Каталог продукції фірми Меру (Фінляндія). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.meru.com.ua>.
79. Каталог продукції фірми АО "Зерномонтаж" (Росія). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.volgograd.ru/catalog/zernomontazh.org>.
80. Каталог продукції фірми QED – Мельинвест (Росія). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.melinvest.ru>.
81. Малин Н.И. Энергосберегающая сушка зерна. М.: «КолосС», 2004. 240 с.
82. Снежкин Ю.Ф. Энергосберегающие теплотехнологии производства пищевых порошков из вторичных сырьевых ресурсов/ Ю.Ф. Снежкин, Л.А. Боряк, О.О. Хавин. К.: «Наукова думка», 2004. 227с.

83. Погожих Н.И. Научные основы теории и техники сушки пищевого сырья в массообменных модулях: Дис. д-ра техн. наук: 05.18.12. Х.: 2002. 356с.
84. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Чаласв Д.М. Теплонасосна зерносушарка для насіннєвого зерна. Київ: ТОВ «Поліграф-Сервіс», 2012. 154 с.
85. Офіційний сайт фірми Агро - [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.agroru.com – каталог продукції фірми Agroru (Росія).
86. Офіційний сайт фірми All.biz - [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.lts-company.all.biz>
87. Бурич О., Берки Ф. Сушка плодов и овощей. М.: Пищ. пром-сть, 1978. 279 с
88. Однострічкова сушарка «Проктор SCF» Proctor & Schwartz, INC. Subdiary of SCM Corporation. 1977. 8с.
89. Офіційний сайт фірми Sushilki - [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://sushilki.info/catalog/sushilki-konveyernie-lentochnie-parovie.html>
90. Henbest: Energy to 2040 – Faster Shift to Clean, Dynamic, Distributed. Bloomberg New Energy [Электронный ресурс]- Режим доступа: <http://about.bnef.com>.
91. Magdalena Rogulska «Stan obecny I kierunki rozwoju energetycznego wykorzystania biomasy w Polsce» referat z konferencji «Zrownowazone systemy energetyczne» 12 – 14.10. 2005, Zakopane.
92. Розвиток відновлювальних джерел енергії в Україні. Інформаційний портал Житло. [Електронний ресурс]- Режим доступу: <http://www.zhytlo.in.ua>
93. Могилко О.В. Аналіз перспектив розвитку сонячної енергетики та інших альтернативних джерел енергії України. Вісник економіки транспорту і промисловості. 2010. №30. С. 51 – 53.
94. Survey of Energy Resources. World Energy Council, 2010.

95. Ren21's Renewables 2015. Global Status Report. http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf. [Відновлювані джерела енергії 2015. Звіт зі світового розвитку. REN21, 2015].

96. Price quotes updated weekly — PV spot prices. [Електронний ресурс]- Режим доступу: <http://pv.energytrend.com>.

97. Окунь Г. К., Чижиков А.Г. Тенденции развития технологии и технических средств сушки зерна. М.: ВНШТЭиАгропром, 1987. 52с.

98. Снежкін Ю. Ф., Чалаєв Д.М., Шаврин В.С., Дабіжа Н.О. Теплові насоси в системах теплохолодопостачання. Київ: «Поліграф-Сервіс», 2009. 104с.

99. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы. М.: «Энергоиздат», 1981. 224 с.

100. Fordsmand M. Practical and theoretical investigation of a heating/ cooling heatpump with ground storage and solar collector. Preprints. 16 congress untemational du froid.- commission E2. 1983. P. 144 – 149.

101. Денисюк С. П. Формування політики підвищення енергетичної ефективності – сучасні виклики та європейські орієнтири. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2013. № 2. С. 7 – 22.

102. Коновалов В.И., Романова Е.В., Гатапова Н.Ц. Сушка с тепловыми насосами в химической промышленности: возможности и экспериментальная техника. Вестник ТГТУ 2011, №3. С. 153 – 178.

103. Чайченец Н.С. Теплонасосные сушильные установки для зерна М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, (Обзорная информация. Сер. Элев. пром-сть). 1990. 52с.

104. Бурдо О. Г., Зыков А. В., Гайда С. Новые принципы термообработки зерна. Научные работы Одесской государственной академии пищевых технологий. Министерство образования и науки Украины. – Одесса: 1999. Вип. 20. С. 223 –229.

105. Бурдо О. Г., Зыков А. В., Милинчук С. И. Новые теплотехнологии зерносушения. Зернові продукти і комбіорма. 2006. №3. С. 16 – 21.

106. А. с. № 2279615 (Россия), МПК F 26 В 21/04 F 25 В 29/00. Утилизатор теплоты отработавшего сушильного агента конвективных сушилок. Гавриленков А. М., Харченков К. В., Ширимов А.Н., Кулинченко В. А. опубл. 10.07.2006 Бюл. № 23.

107. Шутюк В.В., Бессараб О.С., Василенко Т.П. Ефективність рекуперації теплоти відпрацьованого сушильного агента конвективної сушильної установки. Хранение и переработка зерна. 2014. № 5. С.52 – 56.

108. Умбетбеков А.Т., Абдибаттаева М.М., Танабекова Г.Б., Аманкос Д.А. Использование солнечной энергии при сушке зерновых [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://group-global.org/ru/publication/33221-ispolzovanie-solnechnoy-energiy-pri-sushke-zernovyh-kultur>.

109. Гузев О.Ю. Разработка высокотехнологичного процесса сушки в псевдооживленном слое с использованием теплового насоса (на примере сушки фармацевтического протеина) : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.17.08. М.: 2008. 18с.

110. Снежкин Ю.Ф., Чалаев Д.М., Дабижа Н.А. Обезвоживание коллоидных капиллярно-пористых материалов в условиях высоковлажной окружающей среды [Электронный ресурс]. 5-й Минский Международный форум по тепло- и массопереносу. – ММФ–2004 : тезисы, 24–28 мая 2004 г., Минск, Беларусь. Т.2. С. 256–258. – Режим доступа : <http://www.itmo.by/forum/mif5/S07/7.html>.

111. Sosle Venkatesh. A heat pump dehumidifier assisted dryer for agrifoods : Ph.D. Thesis, McGill University. Montreal, Canada, 2002. 120 p.

112. A Hepbasli. Exergoeconomic analysis of plum drying in a heat pump conveyor dryer. *Drying Technology*. 2010. Vol. 28. P. 1385–1395.

113. Lee, Kong Hoon. Ook Joong Kim. Jong-Ryul Kim. Drying performance simulation of a two-cycle heat pump dryer for high temperature drying. 16th International Drying Symposium (IDS 2008), Hyderabad, India, 9 – 12 November 2008. P. 958 – 964.

114. Chin Siew Kian. Chung Lim Law. Product quality and drying characteristics of intermittent heat pump drying of *Ganoderma tsugae* Murrill. *Drying Technology*. 2010. Vol. 28. P. 1457 – 1465.

115. Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Дуб В.В. Сучасний стан проблеми підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння зернових культур. *Збірник наукових праць ХДУХТ*. 2018. №1(27). С. 231 – 243.

116. Пазюк В.М. Теплові насоси як засіб підвищення енергоефективності процесу сушіння зерна. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету в сфері технічні науки*. Вінниця, ВНАУ, 2012. № 11. С. 375 – 378.

117. Пазюк В.М. Основні напрямки зменшення енергетичних витрат в схемах сушіння зерна з тепловим насосом. *Відновлювальна енергетика*. 2014. № 1(36). С. 76 – 81.

118. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О. Вплив режимів режиму сушіння на якісні показники зерна насіннєвого призначення. *Наукові праці ОДАХТ, Одеса*. 2011. Вип.40. Т.1. С. 39 – 43.

119. Пазюк О.Д., Паламарчук І.П., Пазюк В.М. Оптимізація процесу сушіння зерна. *Задачі та шляхи вирішення*. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету в сфері технічні науки* Вінниця, ВНАУ, 2011. № 9. С. 164 – 172.

120. Пазюк В.М., Пазюк О.Д., Савчук В.В. Сучасні зерносушарки та заходи з їх енергетичного вдосконалення. *Всеукраїнський науково-технічний журнал*. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2015. №2(90). С. 57 – 62.

121. Анискин В.И. Равновесная влажность зерна различных культур (по данным зарубежных исследований). М.: «Заготиздат», 1962. 60 с.

122. Берегова О.М. Вплив вологості і температури на теплофізичні характеристики насіння ріпаку. *Холодильна техніка і технологія*. 2001. № 2 (71). С. 49 – 51.

123. Dr.Kenneth , J. Hellevang. Confectionery sunflower equilibrium moisture content. Source: ASAE Paper 74 – 3534.

124. Голик М.Г. Хранение и обработка початков и зерна кукурузы. М.: «Колос», 1968. 335с.
125. Овсянникова Л., Орлова С., Гончарук Г. Для ефективного очищення насіння ріпаку й гірчиці від важковідокремлюваних домішок. Зерно і хліб. 2007. № 2. С. 24 – 25.
126. Пилявская Л.С., Попов Н.Я., Черников М.И. Некоторые свойства семян рапса как объекта сушки. Тр. ВНИИ зерна и продуктов его переработки. 1984. Вып.105. С. 47 –51.
127. Берегова О.М., Станкевич Г.М. Дослідження процесу сушіння насіння ріпаку. Вісник харківського державного університету сільського господарства. 2001. Вип. 5. С. 282 – 287.
128. Макаров В.П., Юнусов Г.С., Казанков И.И. и др. Механізація послеуборочной обработки зерна: Учебное пособие – Йошкар Ола, 2007. 284 с.
129. Кириченко Р.В. Визначення основних механіко-технологічних властивостей насіння ріпаку, люцерни та моркви [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http: www. khntusg.com.ua](http://www.khntusg.com.ua)
130. Царенко О.М., Войтюк Д.Г., Швайко В.М., Довжик М.Я., Яцун С.С. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. К., 2003. 329 с.
131. Яценко Ю.В. Окремі фізико-механічні властивості комбікормів та їх вихідних інгредієнтів. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2012. №1. С. 191 – 195.
132. Н. Kibar , Т. Öztürk. Physical and mechanical properties of soybean. Int. Agrophysics. 2008, №22. P. 239 – 244
133. Gupta R.K. and Das S.K., 1997. Physical properties of sunflower seeds. J. Agric. Eng. Res. №66. С.1 – 8.
134. Sobukola, O. P., Kajihausa, O. E., Onwuka, V. I. and Esan, T. A. Physical properties of high quality maize (Swam 1 variety) seeds (Zea mays) as affected by moisture levels. African Journal of Food Science 2013. Vol. 7(1). P. 1 – 8.

135. Molenda M., Montross M.D., Horabik J., Ross I.J., Mechanical properties of corn and soybean meal. Transactions of the ASAE. 2002. №45. P.1929 – 1936.

136. Halil Unal, Esref Isik, Nazmi Izli, Yucel Tekin. Geometric and mechanical properties of mung bean grain: effect of moisture. International Journal of Food Properties. 2008. №11. P. 572 – 586.

137. Ilknur Alibas, Nezihe Koksals. Determination of physical, mechanical, and structural seed properties of pepper cultivars. Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences. 2005. № 29. P. 107 – 113.

138. Alibas I., Koksals N. The determination of several physical, gravimetric and frictional seed properties of melon cultivars. Cucurbitaceae Proc. Xth EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of Cucurbitaceae. October 15-18, Antalya, Turkey 2012.

139. Davies RM. Engineering properties of three varieties of melon seeds as potentials for development of melon processing machines. Advance Journal of Food Science and Technology. 2010. № 2(1). P. 63 – 66.

140. Васильева А.Г., Круглова И.А. Химический состав и потенциальная биологическая ценность семян тыквы различных сортов. Известие вузов. Пищевая технология. 2007. №3. С. 30 – 33.

141. Покровский А.А. Химический состав пищевых продуктов. Справочные таблицы содержание основных пищевых веществ и энергетической ценности М.: «Пищевая промышленность», 1976. 228 с.

142. Скирухин И.М., Волгарев М.Н. Химический состав пищевых продуктов. М.: «Агропромиздат» 1987. 361с.

143. Химический состав семян (ядра) подсолнечника [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.podsolnechniki.ru>.

144. Калорийность и пищевая ценность семян рапса [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.bonfit.ru/kalorii/orekhi-semena-sukhofrukty/drugie-semena/kalorii-semena-rapsa>

145. Пищевая ценность, химический состав и калорийность семян тыквы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.intelmeal.ru/nutrition/foodinfo-seeds-pumpkin-and-squash-seed-kernels-dried.php>

146. Осадченко И.М., Скачков Д.А., Серебрякова Т.Г. Химический состав и биологическая ценность отходов переработки бахчевых культур. *Масложировая промышленность*. 2005. №3. С.16.

147. Mirjana Milovanović, Ksenija Pićurić-Jovanović. Characteristics and composition of melon seed oil. *Journal of Agricultural Sciences*. 2005. Vol. 50, No 1, P. 41 – 47.

148. Франко Е.П. Разработка технологии получения белково-липидного продукта из семян дыни и его использование в мясорастительных изделиях. Дисс. канд. тех. наук. Краснодар, 2011.

149. O.A. Abiodun and R.O. Adeleke. Comparative Studies on Nutritional Composition of Four Melon Seeds Varieties. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2010. Vol 9 (9). P. 905 – 908.

150. Samuel A. Besong, Michael O. Ezekwe, Celestine N. Fosunji and Zachary N. Senwo. Evaluation of nutrient composition of African melon oilseed for nutrition. *International Journal of Nutrition and Metabolism*. 2011. Vol. 3(8). P. 103 – 108.

151. Лыков, А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М.: «Высшая школа», 1954. 296с.

152. Анискин В.И., Окунь Т.С. Технологические основы оценки работы зерносушильных установок. М.: ГНУ ВИМ, 2003. 100с.

153. Анискин, В.И., Рыбарук В.А. Теория технология сушки и временной консервации зерна активным вентилированием. М.: «Колос», 1972. 210с.

154. Кирпа Н.Я. Методология энергосбережения при сушке высоковлажных зернопродуктов. Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов): Сб. науч. тр. Междунар. науч.-практич. конф. Т.4. М.: МГАУ, 2002. С. 83-85.

155. Егоров Г.А. Зависимость тепловых свойств пшеницы от её влажности. *Мукомольно-элеваторная промышленность*. 1967. №1. С. 18 – 21.

156. Пиляева О.В. Исследование по определению тепловлажных характеристик плотного слоя зерна. Эпохи науки. 2016. № 8. С. 179 –185.
157. Рифалович Д.М. Определение тепловых констант зерна методом мгновенной пластины. Труды ОТИ МП. 1962. №3. С. 25 – 32.
158. Kazarian E.A., Hall C.W. Thermal properties of grain. Transactions American Society of agriculture Engineers. 1965. V.8, №1. P. 33 – 37.
159. Пабис С., Биловицка Э., Гадай С. Теплопроводность и коэффициент температуропроводности в слое зерна некоторых сельскохозяйственных продуктов. Инж.- физич. журнал. 1970. Т.19, № 3. С. 501 – 507.
160. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И., Уколов В.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов и материалов. М.: «Пищевая промышленность», 1975. 223с.
161. Deshpande, S. D., S. Bal and T.P. Ohja. Bulk thermal conductivity and diffusivity of soybean. Journal of Food Processing and Preservation. 1996. №20(3). P. 177 – 189.
162. Disney R. The specific heat of some cereal grains. Cereal chemistry. 1964. V.31, №3. P. 11 – 17.
163. Ковальчук В.И., Кривошеев Ю.И. Равновесная влажность и теплофизические характеристики подсолнечного семени. Пищевая технология. 1972. №1. С. 180 – 181.
164. Кириевский Б.Н. Исследование теплофизических свойств масличных семян. Труды ВНИИжира. 1970. №27. С. 14 – 19.
165. Moysey E.B., Shaw G.T., Lampman W.P. The effect of temperature and moisture on the thermal properties of rapeseed. Trans. ASAE. 1977. Vol. 20, № 4. P. 768 – 771.
166. Берегова О.М. Вплив вологості і температури на теплофізичні характеристики насіння ріпаку. Холодильна техніка і технологія. 2001. № 2(71). С. 49 – 51.

167. Sharma S.C., Muir W.E. .Simulation of heat and mass transfer during ventilation of Wheat and Rapeseed bulk. Canadian Agricultural Engineering. 1974. Vol. 16, № 1. P. 41 – 44.

168. Kocabiyik H., Kayisoglu B., Tezer D. Effect of Moisture Content on Thermal Properties of Pumpkin Seed. International Journal of Food Properties. 2009. №12(2). P. 277-285.

169. Рудобашта С.П., Карташов Э.М. Диффузия в химико-технологических процессах. М.: «КолоС», 2009. 480с.

170. Фрак-Каменский Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетики. М.: «Наука», 1987. 502с.

171. Де Гроот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика. М.: «Мир», 1964. 456с.

172. Ребиндер П.А. О формах связи влаги с материалом в процессе сушки. Труды Всесоюзного совещания по интенсификации процессов и улучшения качества материалов. М.: «Профиздат», 1958. С. 14 – 15.

173. Гинзбург А.С., Дубровский В.П., Казаков Е.Д., Окунь Г.С., Ручиков В.А. Влага в зерне. М.: «Колос», 1969. 224с.

174. Гинзбург А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. М.: «Агропромиздат», 1985. 336с.

175. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: «Высшая школа», 1967. 599с.

176. Лыков А.В. Теплообмен (Справочник). М.: «Высшая школа», 1972. 560с.

177. Плановский А.Н., Рудобашта С.П., Кормильцин Г.С. Определение области регулярного режима в задачах массопроводности. Теор. Основы химич. технол. 1972.. Т.6, № 3. С. 459 – 462.

178. Остриков А.Н. Процессы и аппараты пищевых производств: Учеб. для вузов: в 2 кн. СПб.: «ГИОРД», 2007. 608с.

179. Гинзбург А.С., Савина И.М. Массообменные характеристики пищевых продуктов. М.: «Легкая и пищевая промышленность», 1982. 280 с.

180. Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д. и др. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: «Агропромиздат», 1985. 503с.
181. Гапонюк О.І., Дьоменко О.Н., Паскаль П.Н. та інші. Фізико-механічні властивості насіння рапсу та домішок. Зернові продукти і комбікорми. 2008. №1. С. 42 – 44.
182. Бондарь А.Г., Статюха Г.А., Потяженко И.А. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры): Учеб. пособие. К.: «Вища школа», 1980. 264с.
183. Федоров В.Г., Плесконос А.К. Планирование и реализация экспериментов в пищевой промышленности. М.: «Пищевая промышленность», 1980. 230с.
184. Остапчук Н.В., Каминский В.Д., Станкевич Г.Н., Чугуй В.П. Математическое моделирование процессов пищевых производств: Сб. задач: Учеб. пособие. К.: «Вища школа», 1992. 175с.
185. Янцевич А.А., Александров Ю.А. Планирование эксперимента: Учеб. пособие для студ. экон. и техн. спец. вузов. Х.: «НУА», 2004. 208с.
186. ДСТУ 4138 – 2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи аналізування вологості насіння.. К.: «Держспоживстандарт». 2003. С. 16 – 17.
187. ДСТУ 4138 – 2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи аналізування схожості насіння. К.: «Держспоживстандарт». 2003. С. 10 – 14.
188. ГОСТ 10858 – 77. Семена масличных культур. Промышленное сырье. Методы определения кислотного числа масла. Зерновые, зернобобовые и масличные культуры. М.: Изд-во стандартов. 1990. С. 285 – 293.
189. Пазюк В.М. Ступінчаті режими сушіння рослинної сировини з антиоксидантними властивостями. Вібрація в техніці та технологіях.. 2013. № 3. С. 126 – 129.
190. Снежкин Ю.Ф., Петрова Ж.А., Пазюк В.М. Исследование влияние параметров сушки на кинетику и получение качественных, антиоксидатных

функциональных порошков. Промышленная теплотехника. 2012. №5. С. 31 – 36.

191. Снежкін Ю.Ф., Шапарь Р.А., Чалаев Д.М., Шаврин В.С., Пазюк В.М. Інтенсифікація процесу сушіння насіннєвого зерна. Промышленная теплотехника. 2010. Том 32, № 5. С. 42 – 47.

192. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Михайлик Т.О., Пазюк В.М. Відстежимо закономірності зневоднення пшениці, ячменю та вівса в елементарному шарі в залежності від вологості теплоносія. Зерно і хліб. 2011. № 2. С. 46 – 47.

193. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Самойленко К.М., Пазюк О.Д. Застосування ступінчатих режимів при сушінні насіння пшениці. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2015. Вип. 47, Том 2. – С. 29 – 33.

194. Пазюк В.М. Удосконалення процесів та обладнання для сушіння насіннєвого зерна. Тези доповідей міжнародно-практичної конференції (8 – 11 вересня 2015). Харків-Мелітополь –Кирилівка, 2015. С. 69 – 70.

195. Подпратов Г.І., Насіковський В.А. Вплив режимів сушіння на температуру нагріву та посівні властивості зерна пшениці. Аграрна наука і освіта. К.: 2005. Т. 6, № 1 - 2. С. 74 – 77.

196. Филоненко Г.К., Лебедев П.Д.. Сушильные установки. М.: «Госэнергоиздат», 1952. 263с.

197. Савченко С.В. Кинетическая модель оптимизации режима сушки зерна. Хлебопродукты. 2009. №7. С. 38 – 39.

198. Снежкін Ю.Ф., В.М. Пазюк, Ж.О. Петрова Вплив режимів режиму сушіння на якісні показники зерна насіннєвого призначення. Наукові праці ОНАХТ. Одеса. 2011. Вип.40, Т.1. С. 39 – 43.

199. Akyol E., Susantez Ç., Kahveci K., Nacihafizoğlu O., Kaya Y.. Drying Simulation of Pumpkin Seed. Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM 2015) Barcelona, Spain – July 20 - 21, Paper, 2015. №. 320.

200. Hashim N., Daniel O., & Rahaman E.. A Preliminary Study: Kinetic Model Of Drying Process Of Pumpkins (*Cucurbita Moschata*) In A Convective Hot Air Dryer. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2014. №2. P. 345 – 352.

201. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Самойленко К.М., Пазюк О.Д. Застосування ступінчатих режимів при сушінні насіння пшениці. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2015. Вип. 47, Том 2. С. 29 – 33.

202. Пазюк В.М. Интенсивность и энергетическая целесообразность проведение процессов сушки семенного зерна рапса при использовании современного энергосберегающего оборудования. *Современные энергосберегающие тепловые технологии (Сушка и термовлажностная обработка материалов) СЭТТ – 2011: труды IV международной научно – практическая конференция (20 – 23 сентября 2011, г. Москва)*. Москва. 2011. Т. 2. С. 96 – 99.

203. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.А., Пазюк В.М. Особенности сушки термолабильных материалов. *Материалы 3-й международной научно-технической конференции «Нестационарные, энерго- и ресурсосберегающие процессы и оборудование в химической, нано- и биотехнологии (НЭРПО-2013)» (23-26 сентября 2013, г. Москва)*. Москва, «МГОУ», 2013. С. 15 – 20.

204. Pazyuk V., Petrova Zn., Chepeliuk O. Determination of rational modes of pumpkin seeds drying. *Ukrainian Journal of Food Science*. 2018. Volume 7, Issue 1. P. 135 – 150.

205. Petrova Zn. Pazyuk V., Samoilenko K., Chepeliuk O. Effect of treatment modes on quality and antioxidant properties of tomato and beet processing products. *Ukrainian Journal of Food Science*. 2018. Volume 7, Issue 2. P. 291 – 302.

206. Петрова Ж.О., Пазюк В.М., Самойленко К.М. Ресурсозберігаюча технологія отримання насіння томатів та антиоксидантних порошків на основі томату та буряку. Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції - основні засади її конкурентоздатності: матеріали VII Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції (м. Київ, 13 вересня 2018). Київ, НУХТ. 2018. С. 43 – 45.

207. Филоненко Г.К., Гришин М.А., Гольденберг Я.М., Коссек В.К. Сушка пищевых растительных материалов. М.: «Пищевая промышленность», 1971. 439с.
208. Кротович В. Л. Техническая биохимия. М.: «Высшая школа». 1973. 456 с.
209. Красников В.В. Кондуктивная сушка. М.: «Энергия», 1973. 288 с.
210. McEwen E.R. Through drying of deep beds of wheat grain. Engineer. 1954. № 10. P. 817 – 819.
211. Simmonds W.H., Ward G.T., McEwen E.R. The drying of wheat grain. Trans. Insntn. Chem. Engr. 1953. № 31. P. 279 – 288.
212. Зеленко В.И. Конвективная сушка сельскохозяйственных материалов в плотном слое. Основы теории. Тверь: «Тверское областное книжно-журнальное издательство». 1998. 96с.
213. Любошиц И.Л., Слободкин А.С., Пикус И.Ф. Сушка дисперсных термочувствительных материалов. Минск: «Наука и техника». 1996. 216с.
214. Голубкович А.В., Павлов С.А. Тепломассоперенос при двухэтапной сушке зерна. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2010. №4. С. 26 – 29.
215. Гухман А. А. Введение в теорию подобия. М.: «Высшая школа», 1963. 256с.
216. Гухман А. А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепломассообмена. М.: «Высшая школа», 1967. 303с.
217. Данилов В.А., Красников В. В. Высокоинтенсивная конвекционная сушка бумаги и картона. М.: «Колос», 1970. 432 с.
218. Снежкин Ю.Ф., Петрова Ж.А., Декуша Л.В., Гетманюк Е.Н. Сушка антиоксидантной свекольно-лимонной композиции. Вода в харчових продуктах і для харчових продуктів. Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції. (м. Харків, 16-17 травня 2013 р.) Харків, ХДУХТ, 2013. С. 93 – 94.
219. Патент України № 84075 МПК G01 N25/26, G01 N25/28. Калориметричний пристрій для визначення питомої теплоти випаровування

вологи і органічних рідин з матеріалів. Снежкін Ю.Ф., Декуша Л.В., Дубовікова Н.С., Грищенко Т.Г., Воробйов Л.Й., Боряк Л.А. опубл. 10.09.08. Бюл. №17. – 10с.

220. Дубовікова Н.С., Снежкін Ю.Ф., Декуша Л.В., Воробьов Л.И. Теплометрический прибор синхронного термического анализа для определения удельной теплоты испарения. Промышленная теплотехника. 2013. Т.35, №2. С. 87-95.

221. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.А., Пазюк В.М., Декуша Л.В. О теплоте испарения функционального растительного сырья. Нестационарные, энерго- и ресурсосберегающие процессы и оборудование в химической, нано- и биотехнологии (НЭРПО-2013): материалы 3-й международной научно-технической конференции (г. Москва, 23-26 сентября 2013). Москва, МГОУ. 2013. С. 167 – 171.

222. Сычев В.В., Вассерман А.А., Козлов А.Д., Спиридонов Г.А., Цымарный В.А. Термодинамические свойства воздуха. М.: Издательство стандартов, 1978. 276с.

223. Пазюк В.М. Теплонасосні сушильні установки в процесах сушіння зерна. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2016. №2 (94). С. 53 – 57.

224. Пазюк В.М. О.О. Рубаненко, В.М. Вишневський. Підвищення енергоефективності сушіння насіння зернових культур шляхом застосування теплових насосів. Вісник Хмельницького національного університету. 2018. №4. С. 251 – 253.

225. Патент на винахід № 115015. (UA) Україна, С2 МПК F26B9/00. Установка для сушіння рослинної сировини. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Ловейко І.О., Петрова Ж.О.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики, опубл. 28.08.17, бюл. 16.

226. Пазюк В.М. Підвищення енергоефективності сушіння насіння зернових культур із тепловими насосами. Удосконалення процесів і обладнання харчових і хімічних виробництв: збірник наукових праць XVII міжнародної

наукової конференції (м. Одеса, 3-8 вересня 2018). Одеса, ОНАХТ. 2018. С. 116 – 120.

227. Пазюк В.М. Сушіння насіннєвого зерна в теплонасосній сушильній установці. Енергоощадні машини і технології: тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 29 вересня – 1 жовтня 2015). Київ, КНУБА. 2015. С. 83.

228. Офіційний сайт «Первомайскдизельмаш» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.dieselmash.com.ua/produktsiya/dvigatel-generatory/kogeneratsionnye-ustanovki.html>

229. www.ekoteplo.com. – каталог продукції ТОВ „Науково – виробнича фірма „Екотепло”.

230. Хранение зерна. Современное оборудование для: транспортировки, хранения, сушения фирмы ARAJ (Польша). К.: фирма ARAJ, 2003. 36 с.

231. <http://dozor.kiev.ua/dengi/ceny/1083692.html>

232. Офіційний сайт «Киевэнерго» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.kyivenergo.ua/ua/for-consumers/price/16-price/1191-el>.

233. Линия для выделения, промывки и сушки семян томатов ЛСБ – 10. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, 1981. НФ ГСКБ по машинам овощеводства.

234. Линия для выделения, промывки и сушки семян огурцов и бахчевых культур ЛСБ – 20. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, 1981. НФ ГСКБ по машинам овощеводства.

235. Патент на винахід № 102358. (UA) Україна, С2 МПК А23 L1/06. Спосіб одержання буряково-лимонного антиоксидантного барвника. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М., Гетманюк К.М., Самойленко О.П.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики, опубл. 25.05.13, бюл. 12.

236. Патент на винахід № 106464. (UA) Україна, С2 МПК А23 L1/212. Спосіб одержання фолатовмісного порошку зі шпинату та яблук. Петрова Ж.О., Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики, опубл.26.08.14, бюл. 16.

237. Патент на винахід № 107899. (UA) Україна, С2 МПК А23 L1/212. Спосіб одержання фітоестрогенного порошку з насіння ріпаку та моркви. Петрова Ж.О., Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Воронцов М.Є.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики, опубл. 25.02.15, бюл. 4.

238. Патент на винахід № 109083. (UA) Україна, С2 МПК А23 В7/02. Лінія для виробництва композиційних антиоксидантних порошоків з рослинної сировини. Снежкін Ю.Ф. Петрова Ж.О., Пазюк В.М., Гетманюк К.М.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики, опубл. 10.07.15, бюл. 13.

239. Патент на винахід № 109360. (UA) Україна, С2 МПК А23 L1/20. Спосіб одержання пребіотичного порошку з яблук та кабачків. Петрова Ж.О., Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Гетманюк К.М.; заявник і патентовласник Інститут технічної теплофізики, опубл. 10.08.15, бюл. 15.

240. Технічні умови «Порошки антиоксидантні з рослинної сировини» ТУ У 10.3-05417118-045:2012.

241. Технічні умови «Порошки фолатовмісні з рослинної сировини» ТУ У 10.3-05417118-046:2012.

242. Технічні умови «Порошки фітоестрогенні з рослинної сировини» ТУ У 10.3-05417118-047:2012.

243. Технічні умови «Порошки пребіотичні з рослинної сировини» ТУ У 10.3-05417118-048:2012.

244. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Енергоефективні теплотехнології виробництва функціональних харчових порошоків. Енергоефективні теплотехнології виробництва функціональних харчових порошоків. Вінниця, видавництво «РВВ ВНАУ», 2016. 458 с.

245. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Дослідження процесу подрібнення та класифікації функціональної антиоксидантної буряково-лимонної сировини. Наукові праці ОНАХТ, Одеса. 2013. Вип. 43, Т.1. С. 105 – 109.

246. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Гідротермічна обробка функціональної сировини. Наукові праці ОНАХТ, Одеса. 2012. Вип.41, Т.1. С. 13 – 18.

247. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Тепломасообмінні процеси при сушінні функціональної сировини. Наукові праці ОНАХТ, Одеса. 2014. Вип.41, Т.2. С. 303 – 308.

248. Petrova Zn., Snezhkin Y., Pazyuk V., Samoilenko K.. Drying of antioxidant Composite Materials based on Table Beet. Energy engineering and control systems. 2015. Vol.1, № 1. С. 25 – 28.

249. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М., Дуб В.В. Створення нових теплотехнологій отримання якісних фолатовмісних функціональних порошків. Збірник наукових праць ХДУХТ. Харків, 2016. Вип. 1 (23). С. 80 – 89.

250. Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Розробка комплексного пайку для гарячого харчування спец призначенців. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2017. №2 (97). С. 76 – 80.

251. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Ефективна технологія отримання антиоксидантних порошків. Удосконалення процесів та обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 10 – 11 квітня 2012 р). Київ, НУХТ. 2012. С. 129 –131.

252. Снежкин Ю.Ф., Петрова Ж.А., Пазюк В.М. Энергоэффективный режим сушки антиоксидантного растительного сырья. XIV Минский международный форум по тепло- и массообмену. Тезисы докладов и сообщений (г. Минск, 10 – 13 сентября 2012 г). Минск, ММФ. 2012. С. 608 – 611.

253. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Функціональні порошки з рослинної сировини. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: матеріали 2-го Міжнародного конгресу (м. Львів, 19 – 22 вересня 2012). Львів, ЗУКЦ. 2012. С. 98.

254. Петрова Ж.О., Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М. Розробка енергозберігаючих технологій виробництва функціональних порошків. Сучасні технології харчових виробництв: матеріали 1-й міжнародної науково-практичної конференції (м. Вінниця, 26-27 березня 2015). Вінниця, ВНАУ, 2015. С. 56 – 59.

255. Maria Lidia IANCU. Using Apple (*Malus domestica*), Pumpkin (*Cucurbita maxima*) and Cinnamon (*Cinnamom vertum*) to Obtain an Innovative Jam-Like Food Product // Bulletin USAMV series Agriculture. 2017. №74(2). P. 85 – 94.

256. Родионова Л.Я., Сокол Н.В., Шубина Л.Н., Ольхватов Е.А. Технология и применение порошкообразных пищевых добавок из растительного сырья. Научный журнал КубГАУ. 2017. №131(07). С. 1 – 16.

257. Гніцевич В.А., Слащева А.В., Іващенко М.В. Обґрунтування доцільності використання ферментних препаратів у технологіях переробки рослинної пектиновмісної сировини. Вісник ДонНУЕТ. 2014. № 1(61). С. 37 – 45.

258. Шапров М.Н. Выбор технологии выделения из плодов тыквы. Известия нижевожского агроуниверситетского комплекса. 2010. № 1(17). С. 30 – 42.

Д О Д А Т К И

Список публікацій здобувача**Монографії**

1. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Чалаєв Д.М. Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна. Монографія. Київ: видавництво ТОВ «Поліграф-Сервіс», 2012. 154 с. (Здобувачем у співавторстві).
2. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Енергоєфективне виробництво функціональних харчових порошків. Монографія. Вінниця: видавництво «РВВ ВНАУ», 2016. 458 с. (Здобувачем у співавторстві).
3. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Самойленко К.М. Ефективні технології сушіння насіння овочів. Монографія. Вінниця: видавництво «РВВ ВНАУ», 2019. 129 с. (Здобувачем у співавторстві).

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

4. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О. Вплив режимів режиму сушіння на якісні показники зерна насінневого призначення. Наукові праці ОДАХТ, Одеса, 2011. Вип.40, Т.1. С. 39 – 43.
5. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Михайлик Т.О., Пазюк В.М. Відстежимо закономірності зневоднення пшениці, ячменю та вівса в елементарному шарі в залежності від вологості теплоносія. Зерно і хліб. 2011. № 2. С. 46 – 47.
6. Снежкин Ю.Ф., Петрова Ж.А., Пазюк В.М. Исследование влияние параметров сушки на кинетику и получение качественных, антиоксидатных функциональных порошков. Промышленная теплотехника. 2012. № 5. С. 31 – 36.
7. Пазюк В.М. Теплові насоси як засіб підвищення енергоєфективності процесу сушіння зерна. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету в сфері технічні науки. Вінниця, ВНАУ, 2012. № 11. С. 375 – 378.

8. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Гідротермічна обробка функціональної сировини. Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2012. Вип. 41. Т.1. С. 13 – 18.
9. Пазюк В.М. Ступінчаті режими сушіння рослинної сировини з антиоксидантними властивостями. Вібрація в техніці та технологіях. 2013. № 3. С. 126 – 129.
10. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Дослідження процесу подрібнення та класифікації функціональної антиоксидантної буряково-лимонної сировини. Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2013. Вип. 43. Т.1. С. 105 – 109.
11. Пазюк В.М. Основні напрямки зменшення енергетичних витрат в схемах сушіння зерна з тепловим насосом. Відновлювальна енергетика. 2014. № 1(36). С. 76 – 81.
12. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Тепломасообмінні процеси при сушінні функціональної сировини. Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2014. Вип.41. Т.2. С. 303 – 308.
13. Пазюк В.М., Пазюк О.Д., Савчук В.В. Сучасні зерносушарки та заходи з їх енергетичного вдосконалення. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2015. №2(90). С.57-62.
14. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Самойленко К.М., Пазюк О.Д. Застосування ступінчатих режимів при сушінні насіння пшениці. Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2015. Вип. 47. Том 2. С. 29 – 33.
15. Petrova Zn., Snezhkin Y., Pazyuk V., Samoilenko K. Drying of antioxidant Composite Materials based on Table Beet. Energy engineering and control systems. 2015. Vol.1, № 1. p. 25 – 28.
16. Пазюк В.М., Пазюк О.Д., Романенко М.Д. Енергозберігаючі режими сушіння насінневого зерна та реалізація їх у вібраційній зерносушарці. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» 2016. №3 (83). С.202-206.

17. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М., Дуб В.В. Створення нових теплотехнологій отримання якісних фолатовмісних функціональних порошків. Збірник наукових праць ХДУХТ. Харків, 2016. Вип. 1 (23). С. 80-89.

18. Пазюк В.М. Теплонасосні сушильні установки в процесах сушіння зерна. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2016. №2 (94). С.53-57.

19. Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Розробка комплексного пайку для гарячого харчування спец призначенців. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». 2017. №2 (97). С.76-80.

20. Pazyuk V., Petrova Zn., Chepeliuk O. Determination of rational modes of pumpkin seeds drying. Ukrainian Food Journal. 2018. Volume 7, Issue 1. P. 135 – 150.

21. Petrova Zn., Pazyuk V., Samoilenko K., Chepeliuk O. Effect of treatment modes on quality and antioxidant properties of tomato and beet processing products. Ukrainian Food Journal. 2018. Volume 7, Issue 2. P. 291 – 302.

22. Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Дуб В.В. Сучасний стан проблеми підвищення енергоефективності процесу сушіння насіння зернових культур. Збірник наукових праць ХДУХТ. Харків, 2018. Вип. 1 (27). С. 231-243.

23. Пазюк В.М., Рубаненко О.О., Вишнівський В.М. Підвищення енергоефективності сушіння насіння зернових культур шляхом застосування теплових насосів. Вісник Хмельницького національного університету. 2018. № 4. С.251-253.

24. Пазюк В.М. Дослідження низькотемпературних режимів сушіння рослинних капілярно-пористих матеріалів сферичної форми. КЕРАМІКА: наука і життя. 2018. № 4. С.7-14.

25. Пазюк В.М. Обґрунтування режимів сушіння насіння гарбуза насінневого призначення з конвективним підведенням теплоти. Збірник наукових праць ХДУХТ. Харків. 2018. Вип. 2 (28). С. 155-165.

26. Paziuk V.M., Liubin M.V., Yaropud V.M., Tokarchuk O.A., Tokarchuk D.M. Research on the rational regimes of wheat seeds drying. INMATEH - Agricultural Engineering. 2018. Volume 56, No 3, p. 39 – 48.

27. Пазюк В.М. Дослідження тепломасообмінних процесів сушіння насіння овочевих культур. Наукові праці ОНАХТ. Одеса, 2018. Т. 82. Вип 2. С. 129 – 136.

28. Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О. Математична обробка результатів експериментальних досліджень низькотемпературних режимів сушіння капілярно-пористих матеріалів сферичної форми. КЕРАМІКА: наука і життя. 2019. № 1. С.20-25.

Наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Ефективна технологія отримання антиоксидантних порошків. Удосконалення процесів та обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 10 – 11 квітня 2012 р). Київ, НУХТ. 2012. С. 129 –131 (форма участі – усна доповідь).

2. Снежкин Ю.Ф., Петрова Ж.А., Пазюк В.М. Энергоэффективный режим сушки антиоксидантного растительного сырья. XIV Минский международный форум по тепло- и массообмену. Тезисы докладов и сообщений (г. Минск, 10 – 13 сентября 2012 г). Минск, ММФ. 2012. С. 608 – 611 (форма участі – усна доповідь).

3. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М. Функціональні порошки з рослинної сировини. Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: матеріали 2-го Міжнародного конгресу (м. Львів, 19 – 22 вересня 2012). Львів, ЗУКЦ. 2012. С. 98 (форма участі – усна доповідь).

4. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.А., Пазюк В.М., Декуша Л.В. О теплоте испарения функционального растительного сырья. Нестационарные, энерго- и ресурсосберегающие процессы и оборудование в химической, нано- и биотехнологии (НЭРПО-2013): материалы 3-й международной научно-технической конференции (г. Москва, 23-26 сентября 2013). Москва, МГОУ. 2013. С. 167 – 171 (форма участі – усна доповідь).

5. Петрова Ж.О., Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М. Розробка енергозберігаючих технологій виробництва функціональних порошків. Сучасні технології харчових виробництв: матеріали 1-й міжнародної науково-практичної конференції (м. Вінниця, 26-27 березня 2015). Вінниця, ВНАУ. 2015. С. 56 – 59 (форма участі – усна доповідь).

6. Пазюк В.М. Сушіння насіннєвого зерна в теплонасосній сушильній установці. Енергоощадні машини і технології: тези доповідей II Міжнародної

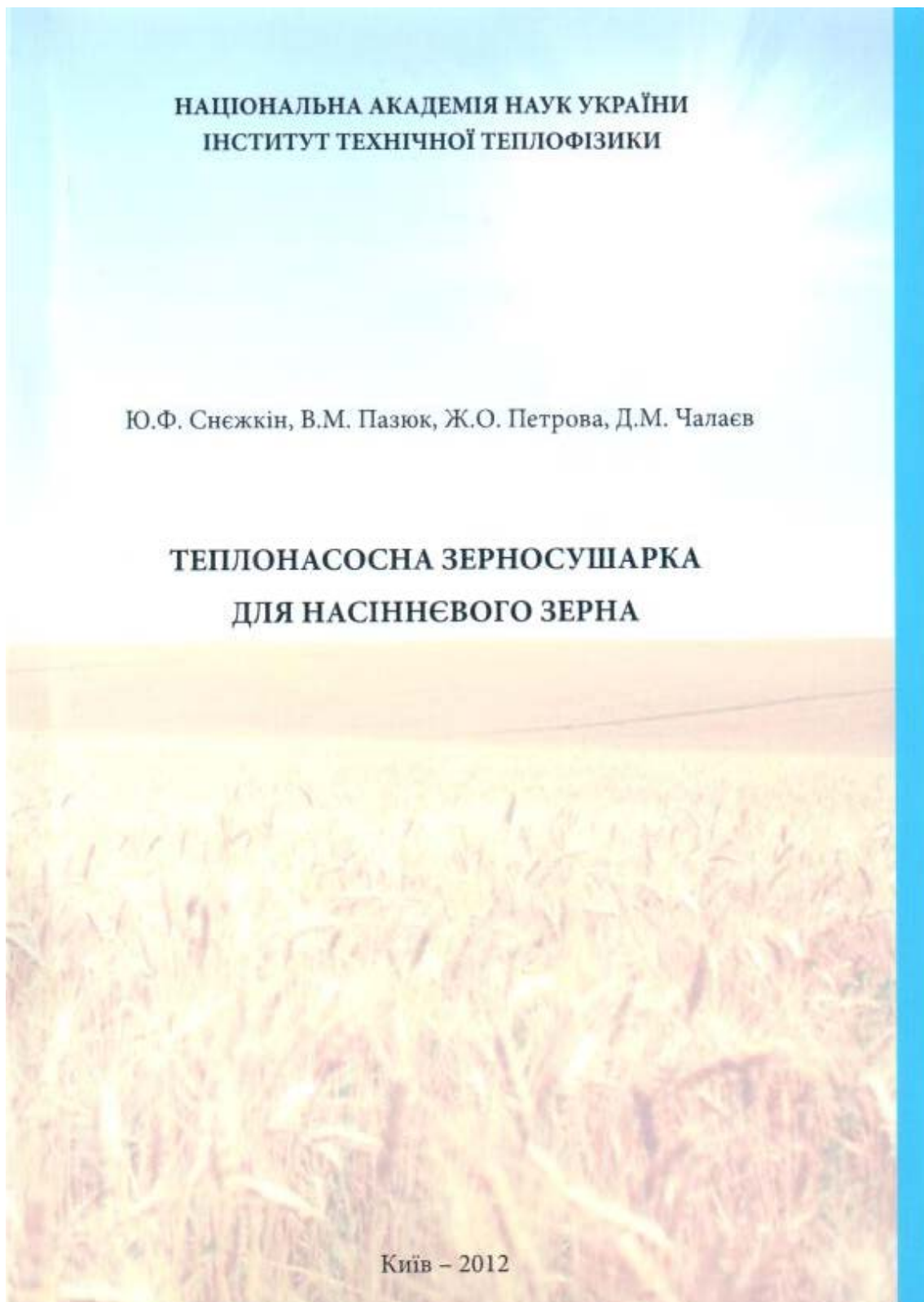
науково-практичної конференції (м. Київ, 29 вересня – 1 жовтня 2015). Київ, КНУБА. 2015. С. 83.

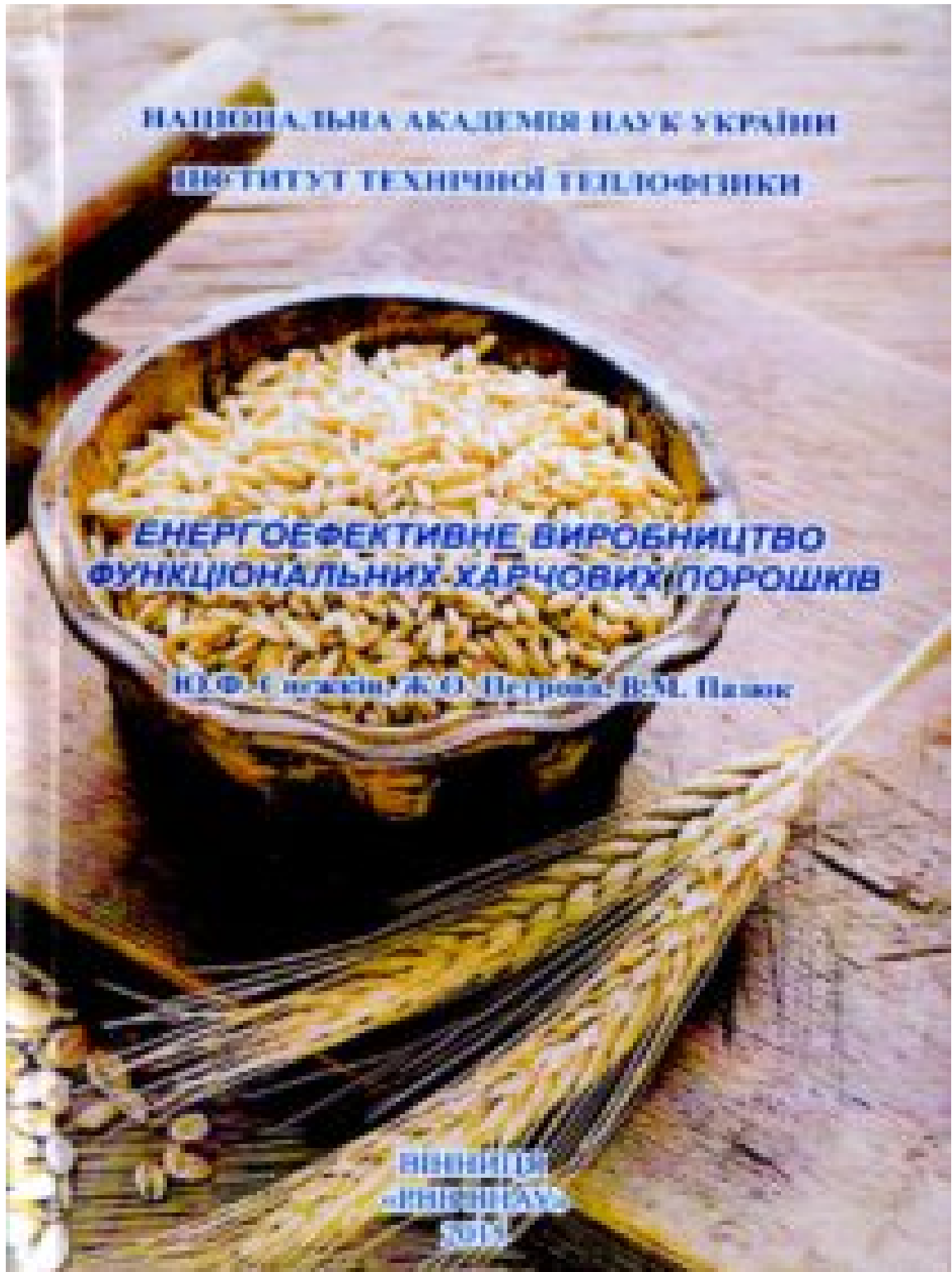
7. Пазюк В.М. Удосконалення процесів та обладнання для сушіння насіннєвого зерна. Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності: тези доповідей Міжнародно-практичної конференції (м. Харків-Мелітополь –Кирилівка, 8 – 11 вересня 2015). Харків-Мелітополь –Кирилівка, ХДУХТ. 2015. С. 69 – 70 (форма участі – усна доповідь).

8. Петрова Ж.О., Пазюк В.М., Самойленко К.М. Ресурсозберігаюча технологія отримання насіння томатів та антиоксидантних порошоків на основі томату та буряку. Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції - основні засади її конкурентоздатності: матеріали VII Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції (м. Київ, 13 вересня 2018). Київ, НУХТ. 2018. С. 43 – 45 (форма участі – усна доповідь).

9. Пазюк В.М. Підвищення енергоефективності сушіння насіння зернових культур із тепловими насосами. Удосконалення процесів і обладнання харчових і хімічних виробництв: збірник наукових праць XVII міжнародної наукової конференції (м. Одеса, 3-8 вересня 2018). Одеса, ОНАХТ. 2018. С. 116 – 120 (форма участі – усна доповідь).

10. Пазюк В.М. Удосконалення процесів та обладнання для сушіння насіння рослинних культур і розробка безвідходних енергоефективних теплотехнологій. Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 15 травня 2018). Харків, ХДУХТ. 2019. С. 229 – 230 (форма участі – усна доповідь).

Монографія**Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Чалаєв Д.М.****Теплонасосна зерносушарка для насіннєвого зерна, 2012 р. – 154с.**

Монографія**Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Пазюк В.М.****Енергоефективне виробництво функціональних харчових
порошків, 2016 р – 458с.**

Монографія**Снежкін Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Самойленко К.М.****Ефективні технології сушіння насіння овочів, 2019 р – 129с.**

**Ю.Ф. Снежкін, В.М. Пазюк,
Ж.О. Петрова, К.М. Самойленко**

**ЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ
НАСІННЯ ОВОЧІВ**

Патент України на винахід № 109083

«Лінія виробництва композиційних порошків із рослинної сировини»



(11) **109083**(19) **UA**(51) МПК
A23B 7/02 (2006.01)
A23L 3/40 (2006.01)

- | | |
|--|--|
| <p>(21) Номер заявки: а 2014 04903</p> <p>(22) Дата подання заявки: 08.05.2014</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.07.2015</p> <p>(41) Дата публікації відомостей про заяву та номер бюлетеня: 10.09.2014, Бюл. № 17</p> <p>(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 10.07.2015, Бюл. № 13</p> | <p>(72) Винахідники:
Снежкін Юрій Федорович, UA,
Петрова Жанна Олександрівна, UA,
Пазюк Вадим Миколайович, UA,
Гетманюк Катерина Миколаївна, UA</p> <p>(73) Власник:
ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,
вул. Булаховського, 2, м. Київ-146, 03146, UA</p> |
|--|--|

(54) Назва винаходу:

ЛІНІЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КОМПОЗИЦІЙНИХ АНТИОКСИДАНТНИХ ПОРОШКІВ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

(57) Формула винаходу:

Лінія для виробництва композиційних антиоксидантних порошоків з рослинної сировини, такої як буряк та ревень, до якої входить ділянка підготовки сировини до сушіння з бункером для приймання сировини, елеваторний транспортер, миюча барабанна машина, інспекційний транспортер, машина для очистки сировини, машина для нарізання, шнековий розкладач сировини, стрічковий конвеєр для завантаження піддонів, тризонна сушарка, зона охолодження, ділянка подрібнення висушеної сировини, ділянка сепарації з циліндричними вібростами, ділянка пакування з пристроєм для зашивання мішків, яка відрізняється тим, що перед шнековим розкладачем сировини додатково встановлена ємність з лопатевим змішувачем компонентів рослинної сировини, з протилежних сторін якої розміщені два вагові дозатори, один з яких належить до першої підготовчої ділянки, яка складається з послідовно встановлених бункера для приймання сировини, миючої барабанної машини, машини для очистки сировини та машини для нарізання, а інший ваговий дозатор належить до другої підготовчої ділянки, що складається з послідовно встановлених бункера для приймання сировини, миючої вентиляторної машини та машини для нарізання.

Патент України на винахід № 115015

«Установка для сушіння рослинної сировини»



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115015** (13) **C2**

(51) МПК (2017.01)

F26B 9/00**F26B 9/06** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2016 12758</p> <p>(22) Дата подання заявки: 14.12.2016</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 28.08.2017</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 10.04.2017, Бюл.№ 7</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 28.08.2017, Бюл.№ 16</p>	<p>(72) Винахідник(и): Снежкін Юрій Федорович (UA), Пазюк Вадим Михайлович (UA), Ловейко Ігор Олександрович (UA), Петрова Жанна Олександрівна (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ, вул. Булаховського, 2, м. Київ, 03164 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 18806 C1, 25.12.1997 UA 50085 A, 15.10.2002 UA 56833 A, 15.05.2003 UA 57514 A, 16.06.2003 UA 288 U, 25.12.1998 UA 45983 U, 10.12.2009 SU 623075 A1, 05.09.1978 SU 1002766 A1, 07.03.1983 RU 2172906 C1, 27.08.2001 RU 12230 U1, 16.12.1999 RU 30955 U1, 10.07.2003 RU 161162 U1, 10.04.2016 RU 2018070 C1, 15.08.1994 RU 2105256 C1, 20.02.1998 CN 203037013 U, 03.07.2013 CN 205718231 U, 23.11.2016 CN 104764303 A, 08.07.2015</p>
--	--

UA 115015 C2

(54) УСТАНОВКА ДЛЯ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

(57) Реферат:

Винахід належить до техніки сушіння рослинної сировини і може бути використаний в харчовій, медичній, переробній та інших галузях промисловості. Установка для сушіння рослинної сировини, до складу якої входить теплоізольована сушильна камера, оснащена стелажем, на якому ярусами розміщені піддони для рослинної сировини, конфузор, дифузор, теплогенератор, вентилятор та повітропроводи, згідно з винаходом, в сушильній камері перед стелажем з піддонами встановлено пристрій для регулювання теплового потоку у вигляді багатокрильчатого колеса, що складається з металевих пластин, які кріпляться до циліндричної поверхні ступиці під кутом 45°.

Технічний результат: збільшення енергоефективності установки, зменшення часу на проведення технологічного процесу, покращення якості висушеної сировини.

Патент України на винахід № 107899

«Спосіб одержання фітоестрогенного порошку з насіння ріпаку та моркви



(11) 107899

(19) UA

(51) МПК

A23L 1/212 (2006.01)

A23L 3/40 (2006.01)

A23B 7/02 (2006.01)

A23P 1/06 (2006.01)

(21) Номер заявки: а 2014 02948

(22) Дата подання заявки: 24.03.2014

(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.02.2015

(41) Дата публікації відомостей про заяву та номер бюлетеня: 10.06.2014, Бюл. № 11

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 25.02.2015, Бюл. № 4

(72) Винахідники:

Петрова Жанна
Олександрівна, UA,
Снежкін Юрій Федорович,
UA,
Пазюк Вадим Михайлович,
UA,
Воронцов Микола
Євгенович, UA

(73) Власник:

ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ
ТЕПЛОФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ,
вул. Булаховського, 2, м. Київ,
03164, UA

(54) Назва винаходу:

СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ФІТОЕСТРОГЕННОГО ПОРОШКУ З НАСІННЯ РІПАКУ ТА МОРКВИ

(57) Формула винаходу:

Спосіб одержання фітоестрогенного порошку з насіння ріпаку та моркви, що передбачає підготовку сировини, подрібнення та змішування овочевих компонентів, конвективне ступеневе сушіння сировини та подрібнення сушеного продукту, який відрізняється тим, що насіння ріпаку з дозатора першої підготовчої ділянки подають у змішувач, куди одночасно з дозатора другої підготовчої ділянки подають нарізану на стружку моркву у співвідношенні 1:2, суміш перемішують, подрібнюють та направляють на сушіння, яке відбувається при температурі теплоносія 100 °С протягом 15-20 хв., а потім температуру знижують до 70 °С і досушують до кінцевої вологості 6-8 %, висушений матеріал охолоджують повітрям до 20 °С та подрібнюють ударним способом до одержання порошку дисперсністю менше 0,5 мм.

Технічні умови України ТУ У 10.8-05417118-0.45:2012

«Порошки антиоксидантні із рослинної сировини»

ДКПП 10.8

УКНД 67.080.10

УЗГОДЖЕНО

Заст. головного державного
Санітарного лікаря УкраїниВисновок державної санітарно-
гігієнічної експертизи№ 05.03.02-06/126969
від 19.12.2012

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор Інституту технічної
теплофізики НАН України
академік НАН УкраїниА.А. Долінський
2012 р.

ПОРОШКИ АНТИОКСИДАНТНІ ІЗ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Технічні умови

ТУ У 10.8-05417118-045:2012

(вводиться вперше)

Термін введення з "12" 04 2013 р.
Чиний з 12 04 2018

Розроблено:

Інститут технічної теплофізики

НАН України

Зав. відділом НТПС

член-кор. НАН України

Ю.Ф. Снежкін
"17" 10 2012 р.

К.т.н., ст.наук. співробітник

О.О. Петрова
"17" 10 2012 р.

К.т.н., ст.наук. співробітник

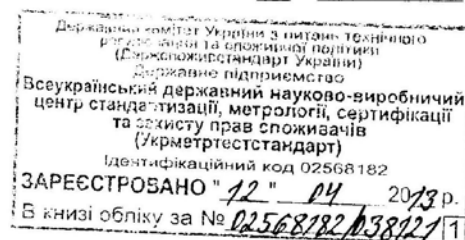
В.М. Пазюк
"17" 10 2012 р.

Пров.інженер відділу НТПС

К.М. Гетманюк
"17" 10 2012 р.

Науковий співробітник ДУ ІГМЕ ім.О.М.Марзєєва

НАН України

Т.В. Болехнова
"17" 10 2012 р.

Продовження додатку Г1

Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи
Проект технічні умови України ТУ У 10.8-05417118-0.45:2012
«Порошки антиоксидантні із рослинної сировини»

 МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ ДЕРЖАВНА САНІТАРНО-ЕПІДЕМІОЛОГІЧНА СЛУЖБА	
Міністерство охорони здоров'я України <small>(назва установи)</small> вул.Грушевського, 7, м.Київ, 01601 <small>(місцезнаходження)</small> 253-94-84, 559-29-88	ЗАТВЕРДЖУЮ Заступник голови державного санітарного лікаря України  Л.М. Черненко
	
Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи від <u>19.12</u> 2012р. № <u>05.03.02-06/126969</u>	
ТУ У 10.8-05417118-045:2012 «Порошки антиоксидантні з рослинної сировини» <small>(об'єкт експертизи, виготовлений у відповідності ТУ, ДСТУ, ГОСТ)</small>	
код за ДКПІ: 10.8 <small>(код за ДКПІ, артикул)</small>	
нормативна документація для харчової промисловості. <small>(сфера застосування та реалізації об'єкта експертизи)</small>	
Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, 03057, м. Київ, вул. Желябова, 2а , код ЄДРПОУ: 05417118 <small>(країна, розробник, адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)</small>	
Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, 03057, м. Київ, вул. Желябова, 2а, код ЄДРПОУ: 05417118 <small>(заявник експертизи, адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)</small>	
За результатами державної санітарно-епідеміологічної експертизи ТУ У 10.8-05417118-045:2012 «Порошки антиоксидантні з рослинної сировини» відповідає вимогам діючого санітарного законодавства України і може бути погоджений (затверджений) Висновок дійсний до: на термін дії ТУ У 10.8-05417118-045:2012 «Порошки антиоксидантні з рослинної сировини»	
При внесенні змін до нормативного документа щодо сфери застосування, умов застосування об'єкта експертизи даний висновок втрачає силу.	
Державна установа "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М.Марзєсва НАМН України"	02660, м.Київ, вул.Попудренка, 50, тел.: (044) 513-60-20 <small>(найменування, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)</small>
Протокол експертизи	№ 3952 від 18.12.2012р. <small>(№ протоколу, дата його затвердження)</small>
Заступник голови експертної комісії	 Польша Н.С.

Технічні умови України ТУ У 10.8-05417118-0.46:2012

«Порошки фолатовмісні із рослинної сировини»

ДКПП 10.8

УКНД 67.080.10

УЗГОДЖЕНО

Заст. головного державного
Санітарного лікаря УкраїниВисновок державної санітарно-
гігієнічної експертизи№ 05.03.02-06/126967
від 19.12.2012р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор Інституту технічної
теплофізики НАН України
академік НАН УкраїниА.А.Долінський
2012р.

ПОРОШКИ ФОЛАТОВМІСНІ ІЗ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ
Технічні умови
ТУ У 10.8-05417118-046:2012
(вводиться вперше)

Термін введення з " 16 " 04. 2013 р.
19 12 2017

Розроблено:

Інститут технічної теплофізики
НАН України

Зав. відділом НТПС

~~член-кор. НАН України~~

Ю.Ф. Снежкін

" 17 " 10 2012 р.

К.т.н., ст.наук. співробітник

Ж.О.Петрова

" 17 " 10 2012 р.

К.т.н., ст.наук. співробітник

В.М.Пазюк

" 17 " 10 2012 р.

Науковий співробітник ДУ ІГМЕ ім.О.М.Марзеєва
НАН України

Т.В. Болохнова

" 17 " 10 2012 р.

Державний комітет України з питань технічного
регулювання та споживчої політики
(Держспоживстандарт України)
Державне підприємство
Всеукраїнський державний науково-виробничий
центр стандартизації, метрології, сертифікації
та захисту прав споживачів
(Укрметртестстандарт)
Ідентифікаційний код 02568182
ЗАРЕЄСТРОВАНО " 16 " 04 2013р.
В книзі обліку за № 02568182/038123 1

Продовження додатку Г2

Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи
Проект технічні умови України ТУ У 10.8-05417118-0.46:2012
«Порошки фолатовмісні із рослинної сировини»

 МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ ДЕРЖАВНА САНІТАРНО-ЕПІДЕМІОЛОГІЧНА СЛУЖБА	
Міністерство охорони здоров'я України (назва установи) вул.Грушевського, 7, м.Київ, 01601 (місцезнаходження) 253-94-84, 559-29-88	ЗАТВЕРДЖУЮ Заступник головного державного санітарного лікаря України  Л.М. Черненко
Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи від <u>19.12</u> 2012р. № <u>05.03.02-06/126967</u>	
ТУ У 10.8-05417118-046:2012 «Порошки фолатовмісні з рослинної сировини» <small>(об'єкт експертизи, виготовлений у відповідності ТУ, ДСТУ, ГОСТ)</small>	
код за ДКПП: 10.8 <small>(код за ДКПП, артикул)</small>	
нормативна документація для харчової промисловості. <small>(сфера застосування та реалізації об'єкта експертизи)</small>	
Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, 03057, м. Київ, вул. Желябова, 2а, код ЄДРПОУ: 05417118 <small>(країна, розробник, адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)</small>	
Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, 03057, м. Київ, вул. Желябова, 2а, код ЄДРПОУ: 05417118 <small>(заявник експертизи, адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)</small>	
За результатами державної санітарно-епідеміологічної експертизи ТУ У 10.8-05417118-046:2012 «Порошки фолатовмісні з рослинної сировини» відповідає вимогам діючого санітарного законодавства України і може бути погоджений (затверджений) Висновок дійсний до: на термін дії ТУ У 10.8-05417118-046:2012 «Порошки фолатовмісні з рослинної сировини»	
При внесенні змін до нормативного документа щодо сфери застосування, умов застосування об'єкта експертизи даний висновок втрачає силу.	
Державна установа "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М.Марзєєва НАМН України"	02660, м.Київ, вул.Попудренка, 50, тел.: (044) 513-60-20 <small>(найменування, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)</small>
Протокол експертизи	№ 3954 від 18.12.2012р. <small>(№ протоколу, дата його затвердження)</small>
Заступник голови експертної комісії	 Полька Н.С.

Копія згідно

Технічні умови України ТУ У 10.8-05417118-0.47:2012

«Порошки фітоестрогенні із рослинної сировини»

ДКПП 10.8

УКНД 67.080.10

УЗГОДЖЕНО
Заст. головного державного
Санітарного лікаря України

Висновок державної санітарно-
гігієнічної експертизи
№ 05.03.02-06/126 965
від 19.12.2012 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Директор Інституту технічної
теплофізики НАН України
академік НАН України



А.А.Долінський
12 2012 р.

ПОРОШКИ ФІТОЕСТРОГЕННІ ІЗ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ
Технічні умови
ТУ У 10.8-05417118-047:2012
(вводиться вперше)

Термін введення з "16" 04 2013 р.
19 12 2012

Розроблено:
Інститут технічної теплофізики
НАН України
Зав. відділом НТПС
член-кор. НАН України
Ю.Ф. Снежкін
"17" 10 2012 р.

К.т.н., ст.наук. співробітник
Ж.О.Петрова
"17" 10 2012 р.

К.т.н., ст.наук. співробітник
В.М.Пазюк
"17" 10 2012 р.
Науковий співробітник ДУ ІГМЕ ім.О.М.Марзеєва
НАН України
Т.В.Болохнова
"17" 10 2012 р.

Державний комітет України з питань технічного
регулювання та споживчої політики
(Держспоживстандарт України)
Державне підприємство
Всеукраїнський державний науково-виробничий
центр стандартизації, метрології, сертифікації
та захисту прав споживачів
(Укрметртестстандарт)
Ідентифікаційний код 02568182
ЗАРЕЄСТРОВАНО "16" 04 2013 р.
В книзі обліку за № 02568182/03812417

Продовження додатку ГЗ

Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи
Проект технічні умови України ТУ У 10.8-05417118-0.47:2012
«Порошки фітоестрогенні із рослинної сировини»

 МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ ДЕРЖАВНА САНІТАРНО-ЕПІДЕМІОЛОГІЧНА СЛУЖБА	
Міністерство охорони здоров'я України <small>(назва установи)</small> вул. Грушевського, 7, м. Київ, 01601 <small>(місцезнаходження)</small> 253-94-84, 559-29-88	ЗАТВЕРДЖУЮ Заступник головного державного санітарного лікаря України   Л.М. Черненко
Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи	
від <u>19.12</u> 2012р.	№ <u>05.03.02-06/126965</u>
ТУ У 10.8-05417118-047:2012 «Порошки фітоестрогенні з рослинної сировини» <small>(об'єкт експертизи, виготовлений у відповідності ТУ, ДСТУ, ГОСТ)</small>	
код за ДКПП: <u>10.8</u> <small>(код за ДКПП, артикул)</small>	
Нормативна документація для харчової промисловості <small>(сфера застосування та реалізації об'єкта експертизи)</small>	
Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, 03057 м. Київ, вул. Желябова, 2а, код ЄДРПОУ: <u>05417118</u> <small>(країна, розробник, адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)</small>	
Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, 03057 м. Київ, вул. Желябова, 2а, код ЄДРПОУ: <u>05417118</u> <small>(заявник експертизи, адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)</small>	
За результатами державної санітарно-епідеміологічної експертизи ТУ У 10.8-05417118-047:2012 «Порошки фітоестрогенні з рослинної сировини» відповідає вимогам діючого санітарного законодавства України і може бути погоджений (затверджений) Висновок дійсний до: на термін дії ТУ У 10.8-05417118-047:2012 «Порошки фітоестрогенні з рослинної сировини»	
При внесенні змін до нормативного документа щодо сфери застосування, умов застосування об'єкта експертизи даний висновок втрачає силу.	
Державна установа "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М.Марзєєва НАМН України"	02660, м. Київ, вул. Попудренка, 50, тел.: (044) 513-60-20 <small>(найменування, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)</small>
Протокол експертизи	№ 3953 від 18.12.2012р. <small>(№ протоколу, дата його затвердження)</small>
Заступник голови експертної комісії	 Полька Н.С.

koti 2012

Технічні умови України ТУ У 10.8-05417118-0.48:2012

«Порошки пребіотичні із рослинної сировини»

ДКПП 10.8

УКНД 67.080.10

УЗГОДЖЕНО

Заст. головного державного
Санітарного лікаря УкраїниВисновок державної санітарно-
гігієнічної експертизи
№ 05.03.02-06/126968
від 19.12.2012

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор Інституту технічної
теплофізики НАН України
академії НАН УкраїниА.Долінський
2012 р.

ПОРОШКИ ПРЕБІОТИЧНІ ІЗ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Технічні умови

ТУ У 10.8-05417118-048:2012

(вводиться вперше)

Термін введення з "12" 04 2012 р.
Чинні до 12.04 2018

Розроблено:

Інститут технічної теплофізики
НАН України

Зав. відділом НТПС

Імен-кор. НАН України

Ю.Ф. Снежкін
"17" 10 2012 р.

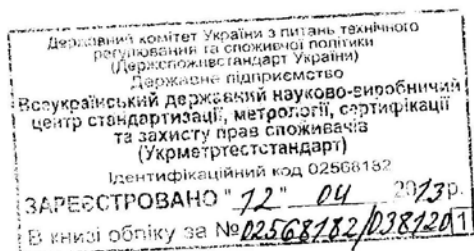
К.т.н., ст.наук. співробітник

Ж.О.Петрова
"17" 10 2012 р.

К.т.н., ст.наук. співробітник

В.М.Пазюк
"17" 10 2012 р.

Пров.інженер відділу НТПС

К.М.Гетманюк
"17" 10 2012 р.Науковий співробітник ДУ ІГМЕ ім.О.М.Марзєєва
НАН УкраїниГ.В.Болохнова
"17" 10 2012 р.

Продовження додатку Г4

Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи
Проект технічні умови України ТУ У 10.8-05417118-0.48:2012
«Порошки пребіотичні із рослинної сировини»

 МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ ДЕРЖАВНА САНІТАРНО-ЕПІДЕМІОЛОГІЧНА СЛУЖБА	
Міністерство охорони здоров'я України <small>(назва установи)</small> вул.Грушевського, 7, м.Київ, 01601 <small>(місцезнаходження)</small> 253-94-84, 559-29-88	ЗАТВЕРДЖУЮ Заступник головного державного санітарного лікаря України  Л.М. Черненко
Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи від <u>19.12</u> 2012р. № <u>05.03.02-06/126968</u>	
ТУ У 10.8-05417118-048:2012 «Порошки пребіотичні з рослинної сировини» <small>(об'єкт експертизи, виготовлений у відповідності ТУ, ДСТУ, ГОСТ)</small>	
код за ДКПП: <u>10.8</u> <small>(код за ДКПП, артикул)</small>	
Нормативна документація для харчової промисловості <small>(сфера застосування та реалізації об'єкта експертизи)</small>	
Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, 03057, м. Київ, вул. Желябова, 2а, код ЄДРПОУ: 05417118 <small>(країна, розробник, адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)</small>	
Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна, 03057, м. Київ, вул. Желябова, 2а, код ЄДРПОУ: 05417118 <small>(заявник експертизи, адреса, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)</small>	
За результатами державної санітарно-епідеміологічної експертизи ТУ У 10.8-05417118-048:2012 «Порошки пребіотичні з рослинної сировини» відповідає вимогам діючого санітарного законодавства України і може бути погоджений (затверджений) Висновок дійсний до: на термін дії ТУ У 10.8-05417118-048:2012 «Порошки пребіотичні з рослинної сировини»	
При внесенні змін до нормативного документа щодо сфери застосування, умов застосування об'єкта експертизи даний висновок втрачає силу.	
Державна установа "Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М.Марзєєва НАМН України"	02660, м.Київ, вул.Попудренка, 50, тел.: (044) 513-60-20 <small>(найменування, місцезнаходження, телефон, факс, E-mail, WWW)</small>
Протокол експертизи	№ 3955 від 18.12.2012р. <small>(№ протоколу, дата його затвердження)</small>
Заступник голови експертної комісії	 Полька Н.С.

**Акт впровадження результатів наукової роботи № 1
на ТОВ «Іжа майбутнього»**

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Директор
ТОВ «Іжа майбутнього»



Т.М. Сухін

“_17_” жовтня 2018 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Інституту
технічної теплофізики НАНУ
член-кор. НАН України



Ю.Ф. Снежкін

“_17_” жовтня 2018 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів наукової роботи**

Даний акт складено про впровадження результатів наукової роботи згідно з договором про науково-технічне співробітництво від 19 січня 2017 р. Інституту технічної теплофізики НАН України та ТОВ «Іжа майбутнього».

Найменування впровадженого результату	Форма впровадження і досягнутий фактичний ефект
Впровадження енергоефективних режимів сушіння насіння гарбуза на модернізованій сушильній установці на тепловому насосі, згідно з договором про науково-технічне співробітництво від 19 січня 2017 р. впроваджені на ТОВ «Іжа майбутнього».	1. Апробовано розроблені енергоефективні режими сушіння насіння гарбуза. Отримано насіння гарбуза із рівноважною вологістю 12 –14%, зменшено час сушіння і енерговитрати на 30%. 2. Схожість насіння гарбуза після сушіння в модернізованій сушильній установці на тепловому насосі в енергоефективному режимі сушіння 60/40°C становить 100%.

Директор
ТОВ «Іжа майбутнього»

Т.М. Сухін

“_17_” жовтня 2018 р.

Головний науковий співробітник,
д.т.н., відділу ТМПТ ІТТФ НАНУ

Ж.О. Петрова

Старший науковий співробітник,
к.т.н., відділу ТМПТ ІТТФ НАНУ

В.М. Пазюк

“_17_” жовтня 2018 р.

Акт впровадження результатів наукової роботи № 2 на ТОВ «Їжа майбутнього»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор
ТОВ «Їжа майбутнього»


Т.М. Сухін
«06» вересня 2018 р.



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Інституту
технічної теплофізики НАНУ
член-кор. НАН України


Ю.Ф. Снежкін
«06» вересня 2018 р.




АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ результатів наукової роботи


Даний акт складено про впровадження результатів наукової роботи згідно з договором про науково-технічне співробітництво від 19 січня 2017 р. Інституту технічної теплофізики НАН України та ТОВ «Їжа майбутнього».

Найменування впровадженого результату	Форма впровадження і досягнутий фактичний ефект
Модернізація сушильної установки на тепловому насосі, згідно з договором про науково-технічне співробітництво від 19 січня 2017 р. впроваджені на ТОВ «Їжа майбутнього».	1. Встановлення додаткового блоку підігрівачів для підвищення температури теплоносія з 50°C до 80°C та виготовлення сушильної камери. 2. Апробація теплонасосної сушарки камерного типу для сушіння насіння овочевих культур та рослинних матеріалів в ступінчатих режимах сушіння.


Директор
ТОВ «Їжа майбутнього»


Т.М. Сухін
«_06_» вересня 2018 р.

Головний науковий співробітник,
д.т.н., відділу ТМПТ ІТТФ НАНУ


Ж.О. Петрова

Старший науковий співробітник,
к.т.н., відділу ТМПТ ІТТФ НАНУ


В.М. Пазюк

Науковий співробітник відділу
ТМПТ ІТТФ НАНУ


К.М. Самойленко
«_06_» вересня 2018 р.

**Акт впровадження
енергоефективних режимів сушіння насіння зернових
та олійних культур на теплонасосній зерносушарці ТНЗШ-0,5
на фермерському господарстві «Євгенія» с. Дорофіївка,
Маловисівського району, Кіровоградської області**

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Голова
фермерського господарства
«Євгенія»
_____ Е.В. Ткаченко

“26” вересня 2018 р.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Директор Інституту
технічної теплофізики НАНУ
член-кор. НАН України
_____ Ю.Ф. Снежкін

“26” вересня 2018 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

(впровадження енергоефективних режимів сушіння насіння зернових
та олійних культур на теплонасосній зерносушарці ТНЗШ-0,5)

Даний акт складено про впровадження результатів наукових досліджень на теплонасосній зерносушарці ТНЗШ-0,5 для сушіння насіння зернових та олійних культур в фермерському господарстві «Євгенія» с. Дорофіївка, Маловисівського району, Кіровоградської області

Найменування впровадженого результату	Форма впровадження і досягнутий фактичний ефект
Впровадження енергоефективних режимів сушіння насіння зернових та олійних культур на теплонасосній зерносушарці ТНЗШ-0,5 в фермерському господарстві «Євгенія»	<ol style="list-style-type: none"> 1. Апробовані енергоефективні режими сушіння насіння зернових та олійних культур. Температура сушильного агенту в двохступінчатому режимі сушіння становила на початку 60 - 65°C, а потім знижувалась до 50°C. Кінцева температура нагрівання зерна становила 48,7 – 49,6 °C. 2. Насіння зернових та олійних культур сушили до рівноважної вологості 8 – 14%, енерговитрати складають 3750 кДж/кг, що на 33% менші за аналоги. 3. Схожість насіння зернових та олійних культур після сушіння на теплонасосній сушильній установці становила на рівні 98 – 99%. 4. Інтенсивність процесу сушіння забезпечувалась за рахунок зменшенням вологовмісту сушильного агенту від 12 до 6 г/кг сухого повітря в сушильній камері після теплового насосу, тривалість сушіння зменшується на 10 – 15%.

Голова
фермерського господарства
«Євгенія»
_____ Е.В. Ткаченко
“26” вересня 2018 р.

Гол. наук. співроб., д-р техн. наук
відділу ТМІТ ІТТФ НАНУ
_____ Ж.О.Петрова
Старший наук. співроб., канд. техн. наук
відділу ТМІТ ІТТФ НАНУ

_____ В.М.Пазюк

“26” вересня 2018 р.

**Акт впровадження
введення в промислову експлуатацію шахтної зерносушарки
продуктивністю 5т/год та впровадження енергоефективних
режимів сушіння насіння пшениці**


 "ЗАТВЕРДЖУЮ"
 Голова фермерського
 господарства «Люмила-агро»
 В.М. Пірус
 "15" серпня 2018 р.



 "ЗАТВЕРДЖУЮ"
 Директор Інституту
 технічної теплофізики НАНУ
 академік НАН України
 Ю.Ф. Снежкін
 "15" серпня 2018 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
(введення в промислову експлуатацію шахтної зерносушарки
продуктивністю 5 т/год та впровадження енергоефективних режимів
для сушіння насіння пшениці)

Даний акт складено про впровадження результатів наукових досліджень згідно з договором про науково-технічне співробітництво від 14 червня 2018 року Інституту технічної теплофізики НАН України та фермерським господарством «Люмила-агро» при застосуванні енергоефективних режимів сушіння насіння пшениці на виготовленій шахтній зерносушарці продуктивністю 5 т/год.


Найменування впровадженого результату	Форма впровадження і досягнутий фактичний ефект
1. Введення в промислову експлуатацію зерносушарки продуктивністю 5 т/год на фермерському господарстві «Люмила-агро»	1. Введення в промислову експлуатацію зерносушарки із встановлення автоматичних пристроїв контролю завантаження та температурних режимів в зерносушальній шахті, регулювання швидкості вивантаження насіння.
2. Впровадження енергоефективних режимів сушіння насіння пшениці	2. Апробований енергоефективний режим 65/50°C при сушінні насіння пшениці. Сушіння насіння проводилось від початкової вологості 22% до рівноважної вологості 14% за один прохід. 3. Екологічність сушіння насіння забезпечено встановленням багатосекційного трубчастого теплообмінника після твердопаливного теплогенератора. 4. Схожість насіння пшениці після сушіння становила 96 – 98%.

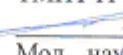
Голова фермерського господарства
«Люмила-агро»

 В.М. Пірус

"15" серпня 2018 р.

Гол. наук. співроб., д-р техн. наук
відділу ТМІТ ІТТФ НАНУ

 Ж.О.Петрова
Ст. наук. співроб., канд. техн. наук відділу
ТМІТ ІТТФ НАНУ

 В.М.Пазук
Мол. наук. співроб відділу ТМІТ ІТТФ
НАНУ

 В.М. Вишневський

"15" серпня 2018 р.