

УДК 664.723.047

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА. ЗАДАЧІ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ

*Пазюк О.Д. аспірант*

*Паламарчук І.П. д.т.н., професор*

*Вінницький національний аграрний університет*

*Пазюк В.М*

*Інститут технічної теплофізики, НАН України*

*В статье предложен новый подход к решению комплекса задач направленных на оптимизацию процесса, связанные с улучшением качества, увеличении интенсивности и энергоэффективности сушки зерна.*

*In the article the new going is offered near the decision of complex of tasks directed on optimization of process, qualities related to the improvement, increase of intensity and energoeffektivnosti drying of grain.*

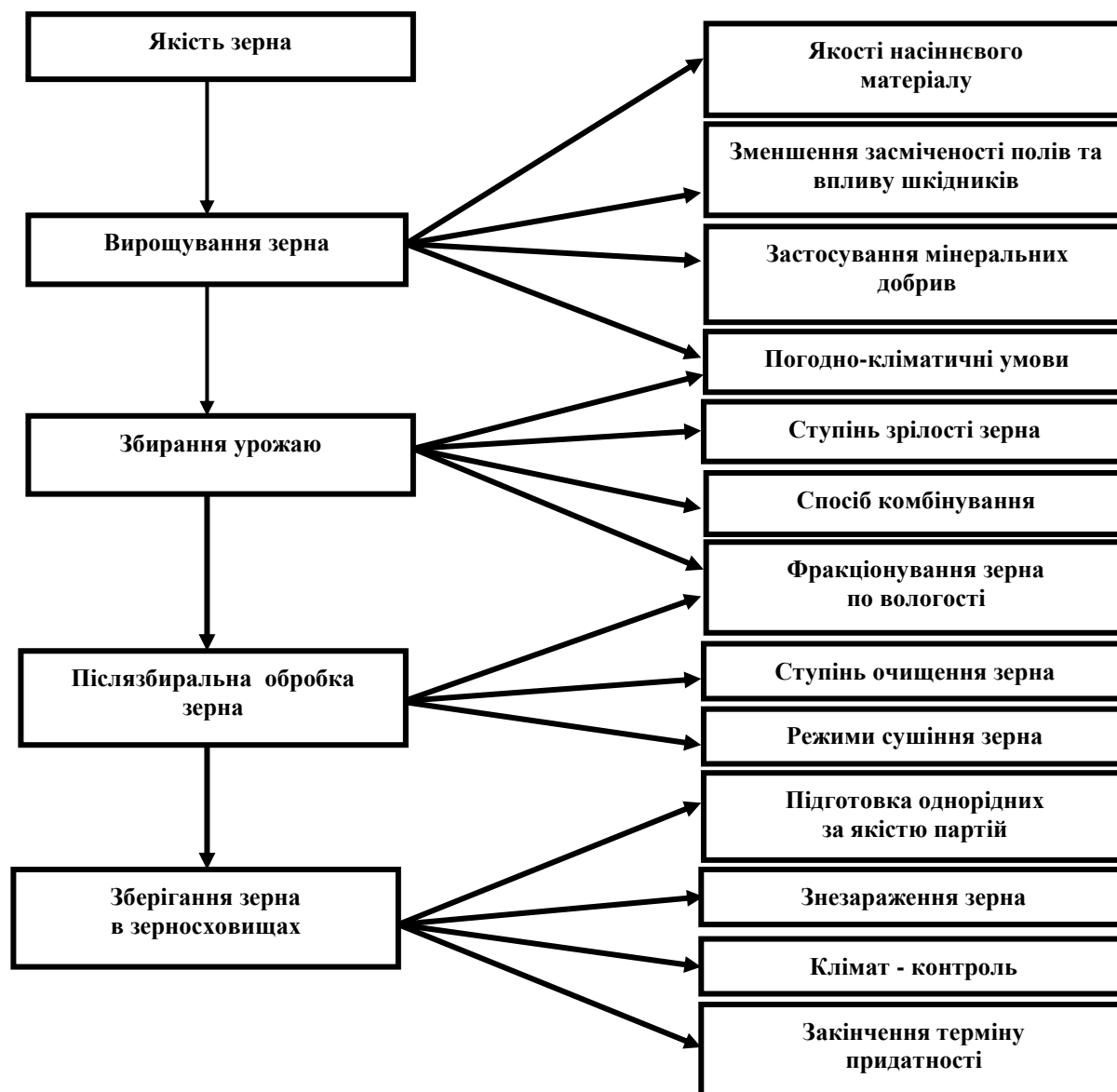
**Актуальність роботи.** Створення сучасних технологій та обладнання для сушіння зерна пов'язано з проблемою втрати вартості врожаю через низькі якісні показники збіжжя, що в свою чергу приводить до неотримання аграріями від 30 до 50% вартості зерна, так як понад 70% вивезеного з країни врожаю є фуражним [1].

**Постановка задачі.** Основним завданням оптимізації процесу сушіння зерна є вирішення проблеми збереження, а по можливості підвищення його якості реалізації шляхом заходів, що спрямовані на покращення виробництва зерна з проведенням аналізу всього технологічного процесу: від вирощування до зберігання. Сушіння зерна, таким чином становить проміжну ланку між збиранням та зберіганням сировини, що істотно впливає на якість зерна, так як несвоєчасна та неправильна теплова обробка приводить до значного погіршення його якісних характеристик.

Разом з цим в статті вперше проводиться спроба поєднати якість зерна з заходами з інтенсифікації та забезпечення енергоефективності процесу сушіння. Все це дає змогу побачити проблему не тільки стосовно заходів з підвищення якості зерна, але і з врахуванням тенденцій технологічного та конструктивного розвитку досліджуваного тепломасообмінного процесу. Такий комплексний підхід потрібен тому, що високі якісні показники матеріалу помножені на високу інтенсивність процесу та на заходи з підвищення енергоефективності сушіння дорівнює високій прибутковості виробництва, вимагаючи проводити заходи із створення сучасного за всіма наведеними показниками обладнання для сушіння зерна.

Розглядаючи фактори, які впливають на якість матеріалу, ми повинні зазначити, що отримання високої якості – це сумісні зусилля професіоналів аграріїв: агрономів, інженерів, комбайнерів та інших фахівців своєї праці. І всі заходи з покращення зазначених технологічних чинників – це узгоджена ланка всіх підрозділів з виробництва та зберігання врожаю.

На якість зерна впливають різні чинники, які потрібно враховувати вже на стадії вирощування, при збиранні врожаю первинної обробки зерна та зберігання в зерносховищах (рис.1).



*Рис. 1. Стадії обробки зерна та фактори, що впливають на його якість.*

На якість і властивість зерна нового врожаю впливають якість насіннєвого зерна, зокрема посівні та сортові ознаки. Так, зерно різних сортів пшениці має різні борошномельні та хлібопекарні якості; різні сорти кукурудзи відрізняються за кормовими властивостями; сорти ячменю – за пивоварними якостями; різні сорти ріпаку, сояшника – за вмістом олії тощо.

Зменшення засміченості полів та впливу шкідників, внесення мінеральних добрив та сприятливі кліматичні умови також є запорукою гарного врожаю за кількісними та якісними показниками.

Вплив кліматичних умов на вирощування та в період збирання врожаю може істотно змінювати якість зерна. Так при випаданні великої кількості осадів на хлібоприймальні виробництва надходить зерно підвищеної вологості, що вимагає додаткових витрат на

сушіння. В засушливі роки в період дозрівання зерна наливання хліба припиняється, а при ранніх приморозках мають місце нижчі технологічні якості та менш стійке до зберігання.

Не тільки погодні умови, а і кліматичні зони в Україні впливають на природну вологість зерна при збиранні врожаю: так для пшениці в східних областях вона складає 15 – 16%, для центральних 16 – 18%, а для західних – 19 – 20% [2]. Це в свою чергу збільшує витрати теплоти на сушіння зерна в залежності від регіону.

Ступінь зрілості зерна також може залежати від способу комбайнування. Роздільний спосіб комбайнування в радянські часи брали за основу, яка вирішувала питання якості зерна: підсушування, дозрівання в валках і можливість почати збір врожаю на 6 – 7 днів раніше. Але зараз при високих цінах на паливо-мастильні матеріали, а також при несприятливих погодних умовах роздільний метод комбайнування нерідко є економічно неефективним і може привести до значної втрати зерна, тому частіше використовують в фермерських господарствах прямий спосіб комбайнування. Енергетична складова на сьогоднішній день є основним критерієм вибору способу збирання зерна.

Якщо збирання врожаю зернових проводилося за різних погодних умов бажано проводити фракціонування зерна по вологості (сухе, середньої сухості, вологе та сире), щоб полегшити післязбиральну обробку і зберігання зерна та знизити енергетичні витрати.

Післязбиральна обробка зерна на стадії очищення та сушіння дозволить привести зерно до вимогам нормативних документів, щодо засміченості та вологості зерна для подальшого зберігання в зерносховищах або направлення його на подальшу переробку. Основними показниками, які визначають якість післязбиральної обробки є чистота насіння, абсолютна або питома вага, енергія росту, схожість, вологість тощо. Так сортова чистота насіння пшениці, жита, ячменю I і II класу повинна становити 98 – 99%, енергія росту - 98%, схожість - 95%, вологість - 14%.

Для підвищення якості окремих партій зерна при зберіганні в зерносховищах їх комплектують за якістю, при необхідності проводять знезараження від шкідників, підтримують необхідну температуру та вологість приміщення.

Але незважаючи на вище зазначені чинники, найбільший вплив відбувається від дії теплової обробки – сушіння зерна, яка при неправильному веденні процесу може звести нанівець всі заходи по отриманню високої якості врожаю.

На сучасному етапі розвитку зерносушильної техніки найбільше використовується конвективний метод сушіння в безперервно діючих зерносушарках шахтного, колонкового,

баштового та барабанного типів. Також для сушіння зерна в невеликих об'ємах, або зерна насінневого призначення застосовують зерносушарки періодичної дії в нерухомому шарі або бункери для вентилявання зерна.

Проаналізований сучасний стан зерносушильної техніки та публікації з цього питання [3,4,5], дозволили визначити основні напрямки інтенсифікації процесу, що пов'язані з шляхами автоматизації процесу, оптимізації технології зерна, вдосконалення конструкції зерносушарки та розробити заходи, що представлені на рис.2.

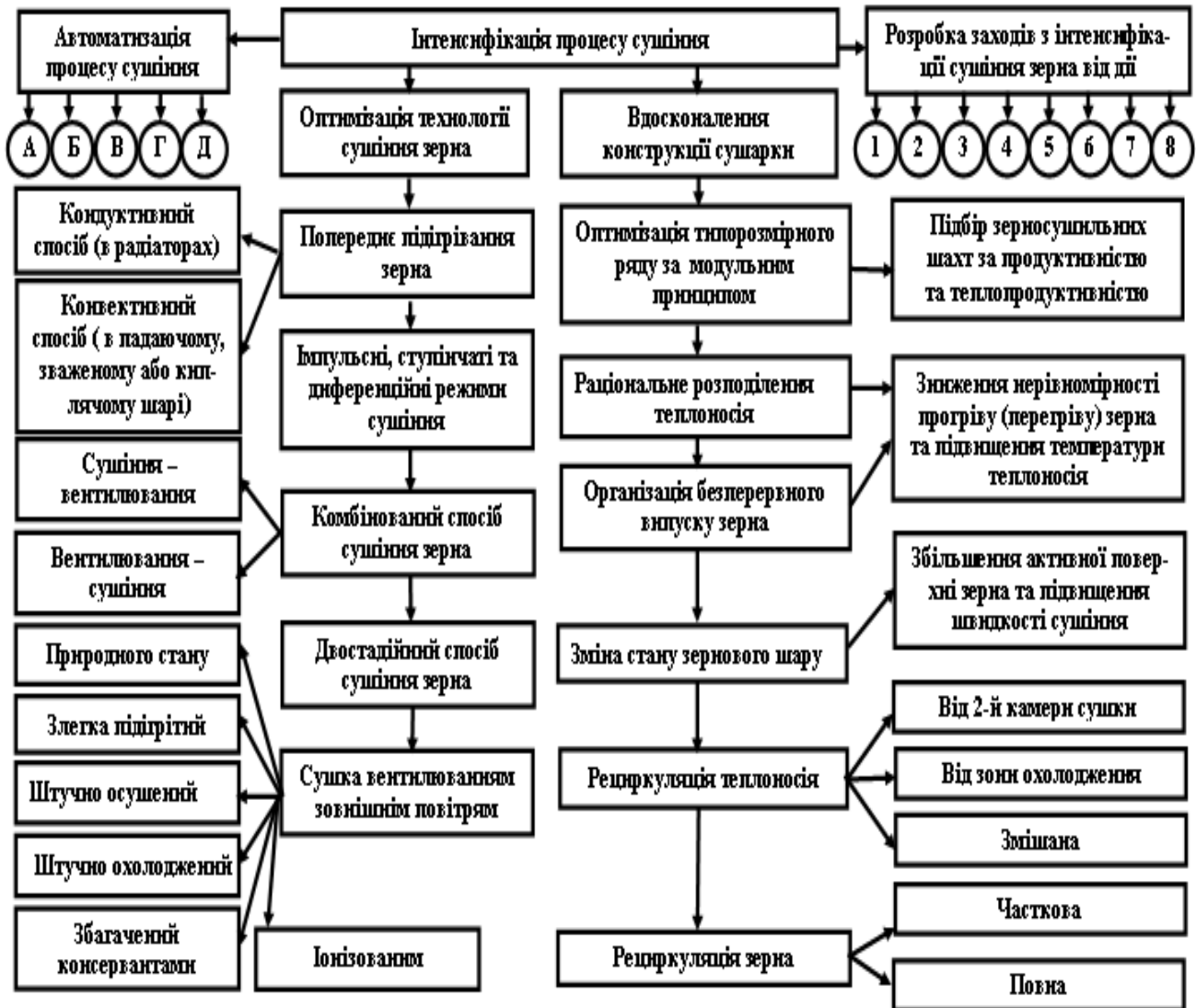


Рис. 2. Класифікація основних шляхів інтенсифікації сушіння зерна.  
контроль та вимірювання:

*A – подачі зерна; B – вологості зерна;  
B - температури зерна та теплоносія; Г – рівня зерна;  
Д – спалювання палива в топці.*

*1 – вібрації, акустичної дії; 2 – електричні та магнітні поля; 3 – зниження вологовмісту теплоносія; 4 – перемішування зерна; 5 – зниження тиску теплоносія; 6 – зміна швидкості теплоносія; 7 – зменшення товщини шару зерна; 8 – зміна швидкості руху зерна.*

Рівень автоматизації процесу сушіння дає змогу контролювати та вимірювати подачу, рівень, вологість зерна, температуру зерна та теплоносія в зерносушарці. Автоматичне регулювання подачі палива необхідно для його ефективного спалювання (забезпечення необхідного тиску повітря в форсунці для нормального розпилювання палива), відповідати вимогам техніки безпеки (відключення подачі палива в топку, у випадку припинення горіння палива в топці (гасіння факелу), у випадку зупинки вентилятора подачі теплоносія, у випадку

виникнення пожежі) та дотримання технологічного процесу сушіння з визначенням та регулюванням параметрів сушки зерна.

Основним напрямком інтенсифікації на протязі значного періоду сушіння зерна проводилось за рахунок підвищення температури теплоносія, що не завжди економічно обґрунтовано та пов'язано з ризиком втрати якісних характеристик зерна. Максимальне підвищення температури агенту сушіння з метою інтенсифікації процесу сушіння зерна можливо при умові забезпечення зберігання його біологічних та хлібопекарних властивостей при короткочасному підігріванні.

Попереднє підігрівання зерна можна проводити як контактним способом в радіаторах, так і конвективним способом в апаратах з падаючим, зваженим або киплячим шаром. Після чого зерно надходить на процес теплообмінної обробки в зерносушарку. На цьому принципі працюють прямоточні зерносушарки ДСП – 16, ДСП – 32 тощо. [5].

Для запобігання нерівномірності нагрівання та сушки зерна в шахтних зерносушарках В.І. Атаназевичем під керівництвом професора П.Н. Платонова запропонований імпульсний режим сушіння: нагрівання, відлежування та охолодження зерна [7]. Цей принцип широко використовується в рециркуляційних зерносушарках РД – 2х25-70, У2 – УЗБ – 50 та інших. [5].

Під час сушіння використовують диференційовані режими, при яких гранично допустима температура нагрівання зерна і температура теплоносія залежить від початкової якості клейковини – міцної, доброї або слабкої. Сушіння пшениці зі слабкою клейковиною при підвищеній температурі приводить до зміцнення клейковини, а отже поліпшення якості.

Технологія двостадійного сушіння зерна основана на принципі імпульсного способу сушіння, відмінність полягає лише в тому, що охолодження відбувається у вентильованій ємності. При цьому питома витрата повітря значно менше, чим при охолодженні зерна в охолоджувачі сушарки; час охолодження збільшується, але випаровується і більша кількість вологи.

Сушка зерна вентиляванню зовнішнім повітрям (низькотемпературна сушка) основана на принципі гігроскопічної рівноваги між вологістю матеріалу і відносною вологістю повітря, що продувається. Вентильовати зерно з метою сушіння в тому разі, якщо відносна вологість повітря забезпечує поглинання випарованої вологи. Для досягнення кондиційної вологості зерна (13,5 – 14%) відносна вологість повітря в умовах гігроскопічної рівноваги повинна складати 65 – 70% [4].

Виявилось, що при певній вологості зерно можна поступово підсушувати, охолоджувати, консервувати, аерувати повітрям залежно від його стану та призначення. Підігрів повітря на 1°C знижує його відносну вологість на 4 – 5%. Крім того, цей захід не потребує складного обладнання чи великих капітальних вкладень. Тому не випадково, що на базі активного вентилявання були розроблені технології, які широко застосовуються при обробці основних об'ємів високоякісного зерна у ряді аграрно розвинутих країнах (США, Канада, Австралія) [9].

Вдосконалення конструкції зерносушарки можливо за рахунок оптимізації типорозмірного ряду за модульним принципом: підбір зерносушильних шахт (модулів) за продуктивністю та теплопродуктивністю. Це забезпечує високу уніфікацію конструкцій і максимальне забезпечення потреб споживачів. Продуктивність змінюється при відповідному

наборі стандартних секцій сушильної камери по висоті, а потім збільшується шляхом блокування декількох шахт.

Основний недолік прямоочних зерносушарок полягає в тому, що процес нагрівання та сушіння зерна в них проходить нерівномірно, погіршуючи якість продукції. Рациональне розподілення теплоносія та рівномірне нагрівання при сушінні зерна можливе через запровадження в зерносушарці наступних заходів: усунення нерівномірності розподілу теплоносія по коробах, усунення нерівномірності руху зерна по горизонтальному перерізу шахти, зміна схеми розташування підвідних і відвідних коробів та організація безперервного випуску зерна.

Усунення необхідності формування партій зерна за початковою вологістю перед сушінням і повторного сушіння зерна з високою початковою вологістю забезпечується рециркуляцією зерна.

Інтенсифікація процесу сушіння може досягатися різними способами в залежності від конкретних задач, але основною умовою при виборі та вдосконаленні досліджуваного процесу є отримання максимального економічного ефекту, що в свою чергу пов'язано з енергоефективністю технологічного процесу сушіння зерна.

Енергоефективність технологічного процесу сушіння пов'язано із заходами, що спрямовані на зменшення витрат теплоти в зерносушарці, використання нетрадиційного теплоносія та вдосконалення експлуатації [5,6,8] (рис. 3).

Заходи, що спрямовані на зменшення витрат теплоти в свою чергу, дають можливість зменшити витрати теплоти на випаровування теплоти (оптимізація технології сушіння,

вдосконалення конструкції зерносушарки, автоматизація процесу сушіння), зменшити витрати теплоти з відпрацьованим теплоносієм (організація ефективної рециркуляції теплоносія, утилізація теплоти відпрацьованого теплоносія), знизити тепловитрати на нагрівання зерна (вдосконалення процесу охолодження), знизити втрати теплоти в навколишнє середовище (покращення виготовлення та заходи з теплоізоляції зерносушарки), зменшити теплові втрати від неповного згоряння палива (правильна експлуатація топків, контроль та автоматизація спалювання палива).

У зв'язку з подорожчанням традиційного пального виникла потреба у отриманні теплоти на сушіння зерна від нетрадиційних видів палива. Так отримання теплової енергії від альтернативних джерел енергії дозволяє істотно зменшити витрати теплоти на процес сушіння, а відповідно підвищує енергоефективність зерносушарки.

Вдосконалення експлуатації, покращення якості монтажу, комп'ютерне управління процесом, підвищення кваліфікації оператора, вдосконалення форм оплати праці – це безпосередньо впливає на якість роботи зерносушарки та якість отриманого зерна, надійності роботи і енергоефективності процесу сушіння зерна.

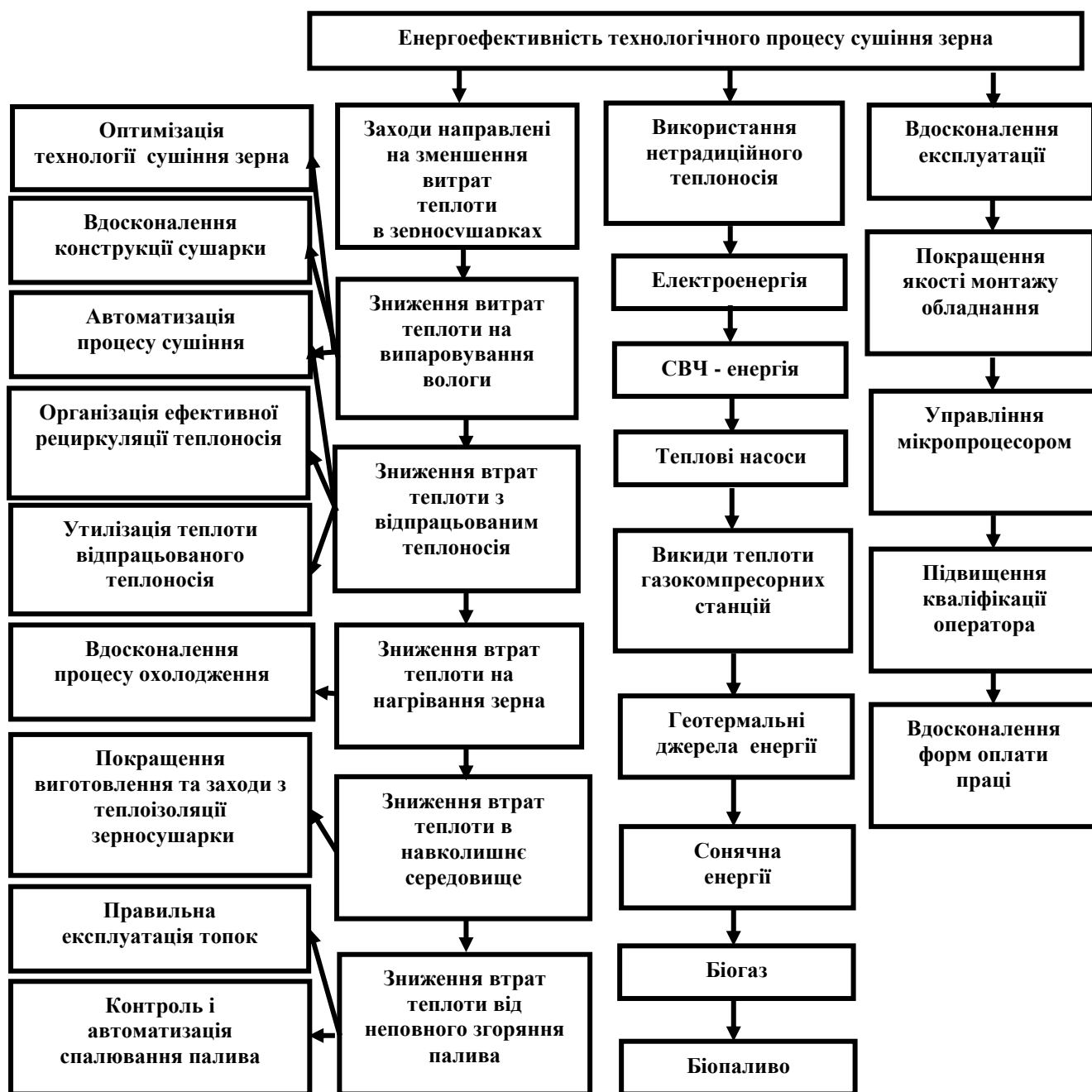


Рис. 3. Енергоефективність технологічного процесу сушіння зерна.

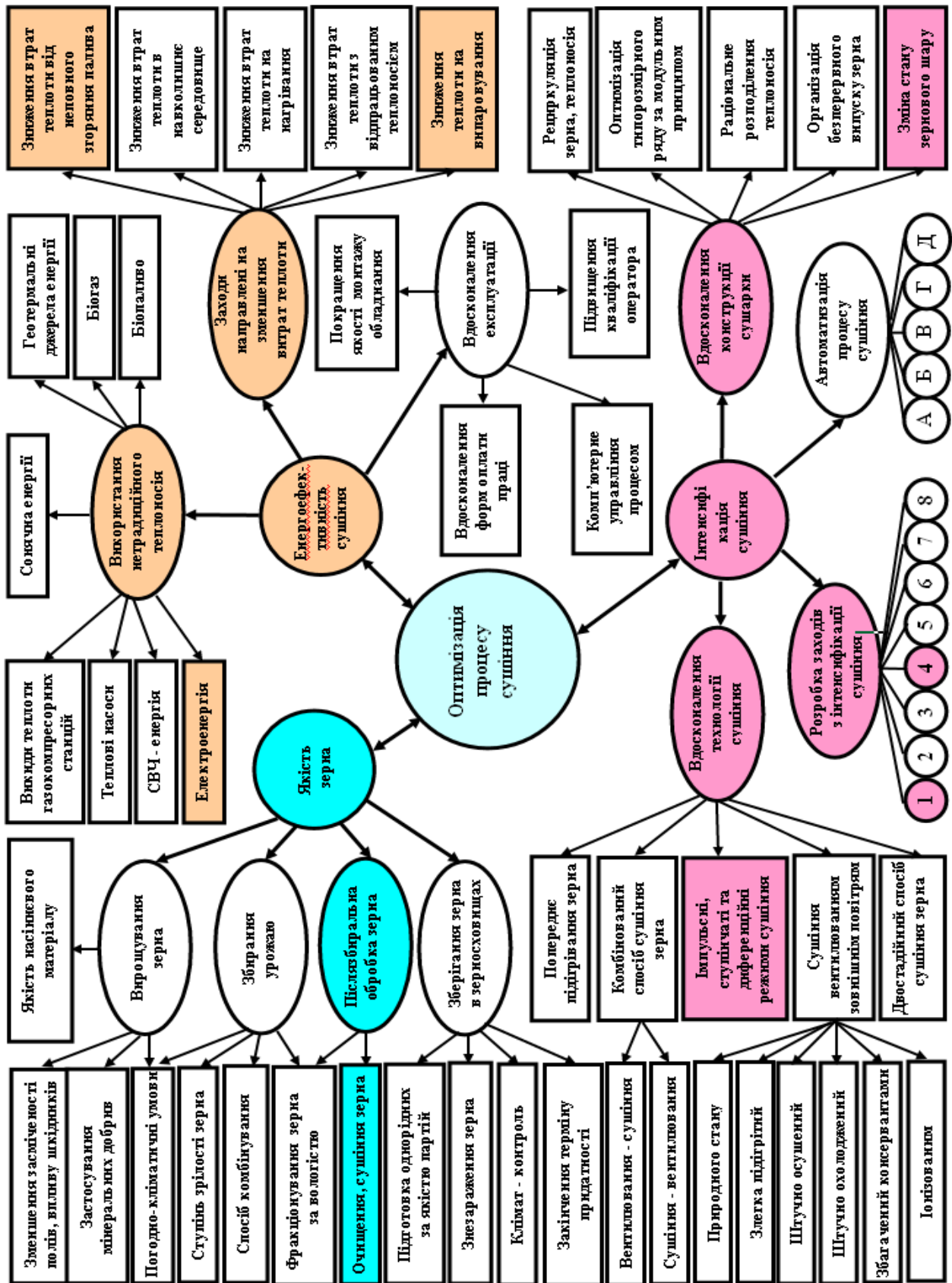


Рис. 4. Оптимізація процесу сушіння зерна.



Таким чином, оптимізація процесу сушіння зерна є комплексним заходом з підвищення якості зерна, що орієнтується на інтенсифікацію та зменшення енергетичної складової на процес та є головним завданням сучасної зерносушильної техніки (рис. 4).

Проведення оптимізації процесу сушіння у *вібраційній зерносушарці* забезпечує якість зерна продовольчого та кормового призначення, створює заходи з інтенсифікації процесу сушіння шляхом значного підвищення поверхні тепломасообміну вдосконалюючи технологію сушіння зерна (розробка імпульсних, ступінчатих та диференційних режимів сушіння), на вдосконалення конструкції зерносушарки (зміна стану зернового шару) та на розробку заходів з інтенсифікації процесу від дії вібрації та перемішування шару зерна. Досягнення енергоефективності процесу сушіння у такій зерносушарці реалізуватися також за рахунок зменшення втрат теплоти (зниження втрат теплоти на випаровування вологи та зниження втрат теплоти від неповного згорання палива) та використання як конвективного, так і нетрадиційного теплоносія (електронагрів).

#### **Висновки.**

1. Вперше проаналізовано комплексний характер оптимізації процесу сушіння як складової якості, інтенсифікації та енергоефективності процесу.
2. Показані переваги вібраційного методу сушіння зерна в наведених заходах з оптимізації процесу сушіння зерна.

#### **Література**

1. Бондар О. Сушильне та очисне обладнання для зерна //Агроексперт практичний посібник аграрія – 2009. – №11(16). – С.102 – 105.
2. Трисвятский Л.А. Хранение зерна. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Сорочинський В. Ф. Эффективный способ двухстадийной сушки зерна / В.Ф. Сорочинський // Комбикормовая промышленность. – 1996. – № 4. – С. 17 – 18.
4. Окунь Г. К. , Чижиков А. Г. Тенденции развития технологии и технических средств сушки зерна – М., ВНИИТЭИагропром, 1987 – 52с.
5. Станкевич Г. М. Сушіння зерна: Підручник / Г. М. Станкевич, Т. В.Страхова, В.І. Атаназевич – К.: Либідь, 1997. – 352 с.
6. Малин Н.И. Энергосберегающая сушка зерна / Н.И. Малин – М.: КолоСС, 2004. – 240 с.
7. Юкиш А.Е. Интенсификация сушки зерна / Юкиш А.Е., Кирзнер О.Б. М.: ЦИНТИ Минзага СССР, 1970.
8. Анискин В.И. Совершенствование обработки и хранения зерна на предприятиях агропромышленного комплекса – М.:ВИМ, 1987.
9. Кирпа М. Використання енергії в процесах зберігання і обробки зерна. Інститут зернового господарства УААН (<http://www.lol.org.ua/ukr/showart.php?id=18>)