УДК 664.69:621.1:536.7

Гончарук Ганна Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент

Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

<https://orcid.org/0000-0002-8361-0810>

Орлова Світлана Серіївна, кандидат технічних наук, доцент

Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

<https://orcid.org/0000-0001-6548-5166>

**МЕХАНІЗМИ ТА РУШІЙНІ СИЛИ БЕЗПЕЧНОЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ ПРОДУКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

Головна мета в будь якому зернопереробному виробництві є збільшення урожайності та забезпечення збереження якості. Ці процеси дуже енергоємні. При чому саме забезпечення якості вважається одним із головних та завершальних етапів.

Якщо раніше з метою збільшення урожайності застосовували авіаційні технології, які мали певні переваги перед наземними, зараз діють певні обмеження [1]. Але й на теперішній час післязбиральна обробка зерна набуває дедалі більшої актуальності особливо в умовах воєнного часу. Тому для обробки зерна (насіння) на будь-якому етапі для досягнення збільшення урожайності та бактеріальної обробки використовуються різноманітні види підведення енергії, але не завжди наводяться докази їх ефективності. Науковці ОНТУ виклали теоретичні основи та довели доцільність практичного використання новітніх методів обробки зерна, а саме нагрівання променями, сушіння та інших способів вологотеплової обробки.

Об’єктами технології зберігання і переробки зерна слід вважати зерно, зернове середовище та процеси перетворення, розподілення, змішування, що відбувається при його зберіганні і переробці.

Предметом може бути наші уявлення (теоретичні закономірності) основних процесів перетворення, розподілення, змішування в процесі зберігання і переробки, тобто теоретичні засади перелічених процесів.

Для збереження якості зерна (насіння) та його підготовки до тривалого зберігання необхідно видалити надлишкову вологу. Процес сушіння є найбільш поширеним методом, проте він характеризується високим ступенем технологічної складності, обумовленої одночасним перебігом взаємопов’язаних теплофізичних, фізико-хімічних та біохімічних процесів. При цьому можливості підвищення температури сушіння обмежені такими факторами як втрата схожості, змінами окремих складових частинах зерна, порушенням біологічної структури, зміною якісних показників

Перетворення властивостей зерна здійснюються різними за природою процесами: хімічні та біохімічні реакції, нагрівання, охолодження, подрібнення, стиснення, опромінення, зневоднення, зволоження, перетворення рідини в пару, твердої речовини в рідину, розпилення, емульгування, диспергування, гомогенізація, піноутворення, розчинення, плавлення, конденсація, заморожування, твердіння, пастеризація, абсорбція, адсорбція, ректифікація, сушіння, кристалізація, тощо [2].

Подрібнення можна розглядати, з одного боку, як процес перетворення, а з іншого боку – як процес розподілу в залежності від його призначення.

Розподілення (сортування, сепарування) здійснюють осадженням, фільтруванням у гравітаційному полі та в полях відцентрових, електричних та інших сил. Сортуванням на фракції здійснюють за різницею у розмірах, формі, електромагнітними властивостями, густиною тощо. При розподілі речовин використовують здебільшого комбіновані методи, які здійснюють розподілення за сукупністю ознак, що забезпечує вилучення більшої частини складових розподілу.

Незалежно від призначення основних процесів будь яка обробка та переробка продуктів засновані на трьох принципах термодинаміки і можуть бути узагальнені на якісному рівні. Основні положення термодинаміки визначаються конкретно рівняннями матеріального і енергетичного балансу, кінетики і рівноваги, які використовують для кількісної оцінки технологічних процесів. Теоретичною основою, тобто основними положеннями, цих процесів є кінетика хімічних та біохімічних перетворень, тепломасоперенесення, розчинення, стиснення тощо. Тобто, їх здійснення виконується на основі загальних принципів термодинаміки, за якими можна дати якісну оцінку конкретним процесам. Ця конкретна проява принципів термодинаміки описується рівнянням матеріального і енергетичного балансу, кінетики і рівноваги, за якими дають кількісну оцінку за умови визначення так званих коефіцієнтів перенесення.

Наприклад: при переробці зерна в борошно його зволожують і подрібнюють на такі частки, тобто компоненти, з такими властивостями, які дозволяють вилучити найбільш цінну речовину (ендосперм); круп’яні культури пропарюють, зволожують з метою змінити фізичні властивості оболонок і ядра для збільшення ознаки їх розподілу; пропарювання крупів здійснюють також з метою покращення їх поживних властивостей; первинні продукти комбікормів нагрівають, пропарюють, піджарюють, екструдуюють теж для одержання кращих поживних властивостей. Тут відбуваються хімічні (біохімічні) перетворення.

Опромінення у широкому розумінні розглядають як один із способів впливу на зернові продукти, до яких відносять терморадіаційну обробку інфрачервоним (ІЧ) та ультрафіолетовим (УФ) полями, випромінюванням з високою (ВЧ) та надвисокою (НВЧ) частотою, а іноді з частотами рентгенівського діапазону при різних частотах коливань, як один із можливих засобів перенесення енергії (нагрівання) та здійснюють в об’ємі маси сировини. Відповідно до міжнародних угод для промислових та наукових праць використовують частоти 915, 2450, 5800, 22500 МГц. Наприклад при мікрохвильовій обробці частота (2450+50) МГц при ККД генератора 55…60 % та потужності 2,5…100 кВт, а в НЧ-полі – частота 915 МГц, ККД досягає 80...86 % при потужності 25...30 кВт.

Метою обробки зерна приводом енергії є глибинний нагрів як передумова для подальшого зневоднення, знищення шкідників, підвищення біологічної цінності продуктів, підвищення енергії проростання та схожості насіння тощо за рахунок поширення електромагнітної хвилі та поглинання її продуктом (зерном) [3]. Вочевидь, необхідно адаптувати генератори згідно з технічними можливостями, технологічними показниками якості обробки відповідно до умов функціонування зернозаготівельних підприємств, а також забезпечити дотримання екологічних вимог та економічну привабливість цього методу порівняно з традиційними. Використання хімічного потенціалу для практичного визначення затрат енергії вимагає визначення характеристик робочого агенту та об’єкту перетворення в заданому або визначеному діапазоні зміни властивостей. Оскільки характеристики технологічного процесу мають вірогіднісний характер, то поряд з переліченими методами для визначення характеристик використовують теорію імовірності, яка є математичною основою загальних принципів термодинаміки.

Ефективність процесу теплової обробки в мікрохвильовому-полі [3] характеризується коефіцієнтом поглинання енергії поля, швидкістю поширення електромагнітної хвилі, що залежить від властивостей середовища, в якому вона поширюється. Швидкість в діелектрику (𝒱) менше ніж в вакуумі (*С*) в $\sqrt{ε}$ раз, тобто $V=\frac{C}{\sqrt{ε∙}}$ . Якщо середовище, крім властивостей діелектрика (здатність до електричної поляризації), має ще й властивості магнетика (здатність до магнітної поляризації), то магнітна проникність її µ також впливає швидкість поширення електромагнітної хвилі, як і діелектрична проникність, тоді $V=\frac{C}{\sqrt{ε∙μ}}$ . Енергію, яка надходить у шар продукту визначають за формулою

$Q=K\_{h}∙E∙δ∙τ$ (1)

де $K\_{h}$ – коефіцієнт поглинання; *Е* – енергетична складова, яка визначається експериментально.

При цьому електромагнітне поле характеризується довжиною хвилі (*λ*), яка всвою чергу залежить від частоти поля (*f*), тобто $λ=\frac{C}{f}$. При цьому відомо, що для діелектричного нагріву використовують електромагнітні хвилі довжиною 0,1….0,01 м, що відповідає діапазону часто 300… 3000 МГц. Отже, в певних умовах енергію електромагнітної хвилі можна трансформувати в теплоту, отримуючи об'ємне нагрівання діелектриків, завдяки здатності електромагнітного поля проникати в них на значну глибину.

При впливі на матеріал змінного електричного поля відбувається безперервний зсув зарядів та пов'язаних з ними молекул. На переміщення заряджених частинок витрачається робота, що з наявності «міжмолекулярного тертя» перетворюється на теплоту. Чим вища частота електричного поля, тим більше теплоти виділяється в діелектрику за одиницю часу.

Змішування твердих часток рідини і газу здійснюють з метою одержання рівномірного складу продукту (морозиво, маргарин, комбікорм, тісто тощо) різними машинами або в процесі транспортування. Зазвичай процесу змішування передує процес дозування. При цьому можуть відбуватись і процеси перетворення. Якість процесу змішування можна оцінити мірою збільшення ентропії.

При діелектричному нагріву утворення теплоти в матеріалі за одиницю часу розраховується як [2]:

*Ро* *=* 0,556 *ε*′⋅*tgδ*⋅*f*⋅*Е*2 10–12, Вт/см3 ,(2)

де *ε*′ *–* діелектрична проникність матеріалу, що підлягає обробці;

*tg*δ *–* тангенс кута діелектричних втрат;

*f –* частота коливань електричного полю, Гц ;

*Е –* напруженість поля, В/см

При цьому значення ε′ та *tg*δзалежать від властивостей оброблюваного матеріалу та значною мірою визначають вибір частоти та напруженості поля при розрахунку розмірів обладнання для обробки.

Процес теплової обробки продуктів в електричному НВЧ-полі зводиться до визначення витрати теплоти на нагрівання зразка *РЗ* та випаровування з нього певної кількості вологи *РВ.*

*P*0 = *Pз* + *Pв.* (3)

Питома потужність для нагріву станове:

$$P\_{З}=\frac{ρ∙c}{ƞ\_{i}}∙\frac{∆t}{∆τ}, ^{Вт}/\_{см^{3}, (4)}$$

де *ρ* – густина матеріалу, кг/см3;

*c –*  питома теплоємність матеріалу, Вт/(кг·К);

*ηt –* термічний ККД процесу нагріву, що враховує втрати теплоти в навколишнє середовище;

*Δt* – приріст температури за проміжок часу, с;

 – швидкість (темп) нагріву.

Питома потужність, яка йде на випарювання:

, Вт/см3, (5)

де *r –* прихована теплота випарювання при заданій температурі, кал/г;

Δ*W* – зменшення вологи до одиниці об’єму (г/см3) за проміжок часу *τ*, с;

 – швидкість (темп випарювання), г/(см³·с)*.*

Коефіцієнт поглинання енергії поля зразком, що визначає ефективність процесу теплової обробки:

 (6)

Якщо  позначити як через *Uн* (швидкість нагріву), а  через *Uв* (швидкість випарювання), то

 (7)

Технологічні вимоги до процесу теплової обробки визначають величину питомої потужності, яку необхідно підвести до продукту обробки за певний проміжок часу. Частота поля, яка дозволить отримати необхідну інтенсивність нагріву при допустимій напруженості електричного поля визначається як

 (8)

Оскільки теплопровідність продуктів не впливає на швидкість нагріва, то процес теплової обробки не потребує багато часу. При цьому сам високочастотний метод без інерційний та легко підлягає автоматичній регуляції. Але необхідно відрізняти типи визначення втрати енергії в самих генераторах: електричний ККД () та ККД системи, що нагрівається – відношення енергії теоретично необхідної для теплової обробки зразка матеріалу *QТ* до енергії, відданої генератору у процесі теплової обробки *QГ*.

 (9)

де *QТ* = *G·c·*(*t*2 – *t*1) теоретично необхідна енергія для теплової обробки зразка матеріалу;

*G* – маса зразку (продуктивність);

*c* – питома теплоємність;

*t*1, *t*2 – температура зразку до та після обробки.

Якщо враховувати значну вартість НВЧ обладнання, то до економічної ефективності потрібно ставитись дуже обережно.

Акустична (ультразвукова) обробка зерна та харчових продуктів використовується з частотою 0,002…10–9 Гц.

Довжини (*L*) найбільш коротких ультразвукових хвиль близькі до довжин хвиль світла [4]. А інтенсивність звука *І* вимірюють в Вт/см2 або децибелами (*І* = 1 Вт/см2, що відповідає 160 дБ).

$$L=10lg\left(\frac{I}{10^{-16}}\right). (10)$$

Найбільш інтенсивний нагрів відбувається при частоті 500…600 Гц при силі звуку *L* > 160 дБ. Час обробки розраховують з урахуванням товщини.

Перелічені види обробки відносяться до об’ємних і для виключення вологи непридатні, так як внутрішні джерела теплоти можуть створити значний надлишковий тиск в продукту, який може призвести до руйнування.

У більшості наукових та технічних публікацій основна увага приділяється перевагам: високий ступінь енергоефективності, інтенсифікація тепломасообміну та скорочення тривалості технологічних процесів. Водночас суттєві аспекти, пов’язані з підвищеним енергоспоживанням на промисловому рівні, високою вартістю спеціалізованого обладнання, а також питаннями технічного регламентування і забезпечення електромагнітної безпеки, як правило, висвітлюються недостатньо.

**Литература**

# **Сергій Хаблак.**Досвід застосування сільськогосподарської авіації у інтенсивних технологіях вирощування озимої пшениці / Агробізес Україна, 2023 <https://agrobusiness.com.ua/dosvid-zastosuvannia-silskohospodarskoi-aviatsii>

1. [Гончарук Г.А.](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%93%D0%BE%D0%BD%D1%87%D0%B0%D1%80%D1%83%D0%BA%20%D0%93$) Удосконалення процесу обробки зерна в комбінованих мийних машинах [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.18.12 / Гончарук Ганна Анатоліївна ; Одеська національна академія харчових технологій. - О., 2007. - 18 с. - укp. Рубрикатор НБУВ: [Л821.032.2](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=JwU_B&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=U=&S21COLORTERMS=0&S21STR=%D0%9B821.032.2)
2. Дис О-66 Орлова Світлана Сергіївна. Мікрохвильова обробка насіння під час руху у віброканалі [Текст] : дис. канд. техн. наук : спец. 05.18.12 "Процеси та апарати харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв " / С.С. Орлова; науковий керівник Л.Г. Калінін; Одес. нац. акад. харчових технологій. - Одеса: ОНАПТ, 2006. – 150 с. + Додаток. – Бібліогр.: с. 114-126. Рубрикатор НБУВ**:** [П144.9](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=JwU_B&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=U=&S21COLORTERMS=0&S21STR=%D0%9F144.9)
3. Лепіх Я.І. Прикладна акустика в медицині: Навчальний посібник. – Одеса: Астропринт, 2005. – 208 с.