

КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НЕЗДВЕЦЬКА ІННА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 631.365:635.54

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ СУШАРКИ ДЛЯ ЦИКОРІЮ КОРЕНЕВОГО**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Житомирському національному агроекологічному університеті Міністерства аграрної політики та продовольства України

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
Кухарець Савелій Миколайович,
Житомирський національний агроекологічний
університет, доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
заслужений працівник освіти України
Пастушенко Сергій Іванович,
Чорноморський державний університет
ім. Петра Могили, директор Навчально-наукового
інституту інженерії об'єктів і систем

доктор технічних наук, професор
Котов Борис Іванович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України, професор кафедри
автоматики та робототехнічних систем
ім. акад. І. І. Мартиненка

Захист відбудеться «21» травня 2013 року о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.06 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України, за адресою: 03041, м. Київ-41, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, аудиторія 65

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ-41, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 28

Автореферат розісланий «19» квітня 2013 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. А. Марус

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Згідно зі схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 31 жовтня 2011 р. Концепцією розвитку овочівництва та переробної галузі, Україна має усі можливості для того, щоб бути серед світових лідерів-виробників продукції рослинного походження. Проте, актуальною для вітчизняного сільгоспвиробника постає проблема зберігання і переробки продукції рослинного походження. Сучасний рівень техніко-технологічного забезпечення аграрної переробної галузі, загалом, і сушильних виробництв, зокрема, є малоефективним і енергомістким. Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що відомі наразі технічні рішення процесів сушіння рослинних матеріалів, і цикорію кореневого у тому числі, характеризуються високими показниками енергомісткості обладнання, що перевищують 2 кВт·год/кг випареної вологи, а нераціональний і недостатньо обґрунтований вибір технологічних параметрів процесів сушіння спричиняє втрати вмісту біологічно цінних складових об'єктів сушіння до 20–30 %.

Динаміка підвищення вартості енергоресурсів, високі вимоги до якості кінцевого продукту та до екологічності технологій виробництва призводять до зростання собівартості продукції сушильних виробництв та зниження її конкурентоспроможності на зовнішньому та внутрішньому ринках. З огляду на це, постає потреба пошуку і обґрунтування раціональних технологічних параметрів процесу висушування та конструкційних параметрів обладнання, що дасть змогу підвищити кінцеву якість продукту і знизити енергомісткість самого виробництва. Незважаючи на чималу кількість теоретичних і експериментальних досліджень, присвячених загальній теорії сушіння, а також широкому впровадженню енергоощадних технологій, серед них недостатньо таких, які детально обґрунтовують техніко-технологічні рішення щодо сушіння цикорію кореневого, тому актуальним залишається встановлення взаємозв'язків між властивостями висушеної сировини цикорію кореневого та технічними параметрами відповідного обладнання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Науково-дослідна робота за темою дисертації виконувалася протягом 2009–2012 років у Житомирському національному агроекологічному університеті відповідно до Державної цільової програми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі на період до 2015 року, затвердженою Постановою Кабінетів Міністрів України №785 від 30 травня 2007 року та була складовою частиною тематичних планів науково-дослідної теми: «Розробка інтенсивних технологій вирощування та збирання нетрадиційних технічних культур» (номер державної реєстрації – 01090007564).

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – підвищення ефективності процесу сушіння цикорію кореневого із гарантованим зниженням енергомісткості процесу та збереженням якісних показників об'єкта сушіння шляхом обґрунтування раціональних конструкційно-технологічних параметрів і режимів роботи сушильного обладнання.

Відповідно до поставленої мети, визначено такі задачі дослідження:

– проаналізувати технологічні процеси та конструкції обладнання для сушіння продукції рослинного походження, загалом, та цикорію кореневого, зокрема, визначити напрями їх удосконалення з метою отримання продукту з підвищеними якісними показниками при мінімізації енергетичних витрат на його виробництво;

– установити аналітичні залежності, що дадуть змогу визначити і обґрунтувати вплив конструкційно-технологічних параметрів сушильного обладнання на техніко-технологічні параметри процесу та якісні показники об'єкта сушіння;

– обґрунтувати та експериментально уточнити вплив конструкційних параметрів барабанної сушильної установки на технологічні параметри процесу сушіння з періодичним впливом теплової енергії на об'єкт сушіння;

– провести виробничу перевірку та визначити техніко-економічну ефективність роботи запропонованого обладнання.

Об'єкт дослідження – технологічний процес сушіння цикорію кореневого, в якому технологічні параметри процесу сушіння пов'язані з конструкційно-технологічними параметрами сушарки.

Предмет дослідження – закономірності зміни конструкційно-технологічних параметрів та режимів роботи сушильного обладнання, їх вплив на показники питомої енергомісткості обладнання щодо продуктивності процесу та якісних показників об'єкта сушіння.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження виконані із застосуванням основних положень теоретичної механіки, математичного моделювання на основі правил і положень нечіткої логіки, використанням сучасних пакетів прикладних програм. Експериментальні дослідження проведено з використанням розробленого обладнання, відповідно до прийнятої методики і галузевих стандартів, з використанням математичних методів планування та обробки експериментальних даних із застосуванням прикладних програм.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у такому:

уперше:

– побудовано структурно-логічну модель процесу сушіння цикорію кореневого, що дає змогу комплексно оцінити вплив технологічних параметрів процесу на його продуктивність та якість об'єкта сушіння з метою забезпечення максимального показника приведених енерговитрат сушарки за відношенням до показників якості матеріалу та продуктивності процесу сушіння;

– встановлено зв'язок між періодом дії теплової енергії на матеріал, частотою обертання барабана та кількістю лопаток при забезпеченні періодичного підведення теплової енергії в сушарках барабанного типу;

дістало подальшого розвитку:

– аналітичне визначення залежності переміщення частинок сипкого матеріалу у сушильному барабані, що обертається, з урахуванням їх фізико-механічних властивостей, що дало змогу отримати зв'язок між періодом відлежування матеріалу, кутом нахилу напрямної полицки, частотою обертання

барабана, а також геометричними розмірами лопаток.

Практичне значення одержаних результатів. Обґрунтовано раціональні конструкційно-технологічні параметри та розроблено конструкцію сушарки для коренів цикорію, що дало змогу підвищити якісні показники об'єкта сушіння та зменшити питомі енерговитрати сушильного обладнання. Технічну новизну технологічного процесу сушіння продукції рослинництва в ІЧ-сушарках барабанного типу підтверджено патентом України № 96243А на винахід та деклараційним патентом України № 61189U.

Розроблено технічну документацію на сушарку барабанного типу з ІЧ-енергопідведенням, яку передано підприємству-виробнику – ВАТ «Електровимірювач» (м. Житомир). Дослідний зразок сушарки пройшов науково-виробничу перевірку у ПАТ «Цикорій» (с. Вільшанка Чуднівського району Житомирської області).

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи одержані здобувачем самостійно, зокрема: обґрунтовано доцільність застосування сушарок барабанного типу із ІЧ-джерелом теплової енергії [1], визначено взаємозв'язки технологічних параметрів процесу сушіння типових матеріалів рослинного походження із якісними показниками висушеного продукту у сушарках з конвективно-терморадіаційним енергопідведенням [2]; обґрунтовано раціональні конструкційно-технологічні параметри та режими роботи сушарки барабанного типу з конвективно-терморадіаційним енергопідведенням, адаптованої до сушіння цикорію кореневого [4, 5, 6]; експериментально досліджено вплив параметрів процесу сушіння на кількісно-якісні показники кінцевого продукту; встановлено техніко-економічні показники роботи запропонованої сушарки. У наукових роботах, проведених автором у співавторстві, частка здобувача становить від 40 до 80 %.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи було подано і обговорено на: відкритому науково-практичному міжкафедральному семінарі ЖНАЕУ «Наука. Молодь. Екологія» (м. Житомир, 2010 р.); науково-практичному міжкафедральному семінарі «Екологія: вчені у вирішенні проблем науки, освіти і практики» (м. Житомир, 2010 р.); V, VI науково-практичних конференціях «Сучасні проблеми збалансованого природокористування» (м. Кам'янець-Подільський, 2010–2011 р.р.); науково-практичній конференції ЖНАЕУ «Передові технології виробництва сільськогосподарської продукції, енергозбереження та забезпечення тепловою й електричною енергіями. Перспективи та проблеми впровадження в сільське господарство Полісся» (м. Житомир, 2012 р.)».

Публікації. Основні положення та результати дисертації опубліковано в 9 наукових працях, з яких 4 – статті у фахових наукових виданнях, 2 – патенти України, 3 – матеріали конференцій.

Структура та об'єм дисертаційної роботи. Дисертаційна робота викладена на 147 сторінках машинописного тексту і включає вступ, п'ять розділів, висновки, бібліографічний список із 162 найменувань та додатки. Робота містить 67 рисунків та 18 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **першому розділі** *«Аналіз сучасного стану технологій та засобів сушіння сировини с.-г. походження»* проаналізовано сучасні технології та обладнання, що використовується для сушіння сипких матеріалів с.-г. походження, загалом, та сушарок з ІЧ-енергопідведенням, зокрема. Здійснено огляд наукових досліджень із визначення конструкційно-технологічних параметрів та режимів роботи сушарок барабанного типу з ІЧ-енергопідведенням.

На підставі аналізу результатів досліджень *В. А. Вільчука, Т. П. Жужжалової, А. В. Корнієнко, Ф. Г. Нахмедова, А. А. Яценко* та інших вчених сформульовано вимоги щодо технологічних показників процесів сушіння коренів цикорію. Наукові праці *І. В. Бабкіної, А. С. Гінзбурга, В. Ф. Дідуха, С. Г. Ільсова, Б. І. Котова, А. В. Ликова, С. І. Пастушенка, І. А. Рогова, О. І. Черевка* та інших вчених є науковим підґрунтям для створення енергоощадних засобів для сушіння сипких рослинних матеріалів та наукового обґрунтування їх функціональних, експлуатаційних, конструктивних та технологічних параметрів.

Аналіз проведених раніше досліджень свідчить, що засоби механізації для сушіння сипких матеріалів рослинного походження вивчено ще недостатньо. На нашу думку, перспективним є подальший розвиток такого обладнання для сушіння сипких харчових продуктів рослинного походження, зокрема, цикорію кореневого; створення конструкцій сушильних установок барабанного типу з використанням періодичної дії на матеріал енергії інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, що дасть змогу обмежити критичну дію високих температур, а отже одержати кінцевий продукт з високими якісними показниками та гарантувати бажану продуктивність за умови мінімізації питомих енерговитрат.

У **другому розділі** *«Теоретичне обґрунтування технологічних показників процесу та техніко-конструкційних параметрів обладнання для сушіння коренів цикорію»* висвітлено аналітичне дослідження технологічних параметрів процесу сушіння коренів цикорію у сушарках з ІЧ-енергопідведенням з урахуванням зміни якісних показників об'єкта сушіння, продуктивності та енергомісткості самого процесу. Побудовано структурно-логічну модель процесу сушіння сипких харчових продуктів у сушарках з ІЧ-енергопідведенням. Математично змодельовано технологічний процес сушіння коренів цикорію та запропоновано теоретичні передумови дослідження раціональних конструкційно-технологічних параметрів сушарки, що гарантують нормативні (або підвищені) якісні показники матеріалу при мінімальній енергомісткості процесу.

У нечіткій моделі технологічного процесу сушіння сипких матеріалів рослинного походження в сушарках з ІЧ-випромінюванням вхідними змінними параметрами, що впливають на продуктивність процесу при забезпеченні високих якісних показників вихідного матеріалу, прийнято: температуру випромінювача; час ІЧ-опромінювання; час відлежування; швидкість потоку

повітря всередині сушарки; температуру потоку повітря, що подається на продукт; відстань між випромінювачем і поверхнею продукту; розмір частинок перед закладанням на сушіння.

Вихідна змінна моделі – загальна характеристика процесу сушіння, що є сукупною функцією якісних показників отриманого матеріалу та швидкості сушіння. Внаслідок побудови взаємозв'язків вхідних та вихідних змінних логічної системи, отримано нечітку модель технологічного процесу сушіння матеріалів рослинного походження в сушарках барабанного типу з терморадіаційним енергопідведенням (рис. 1).

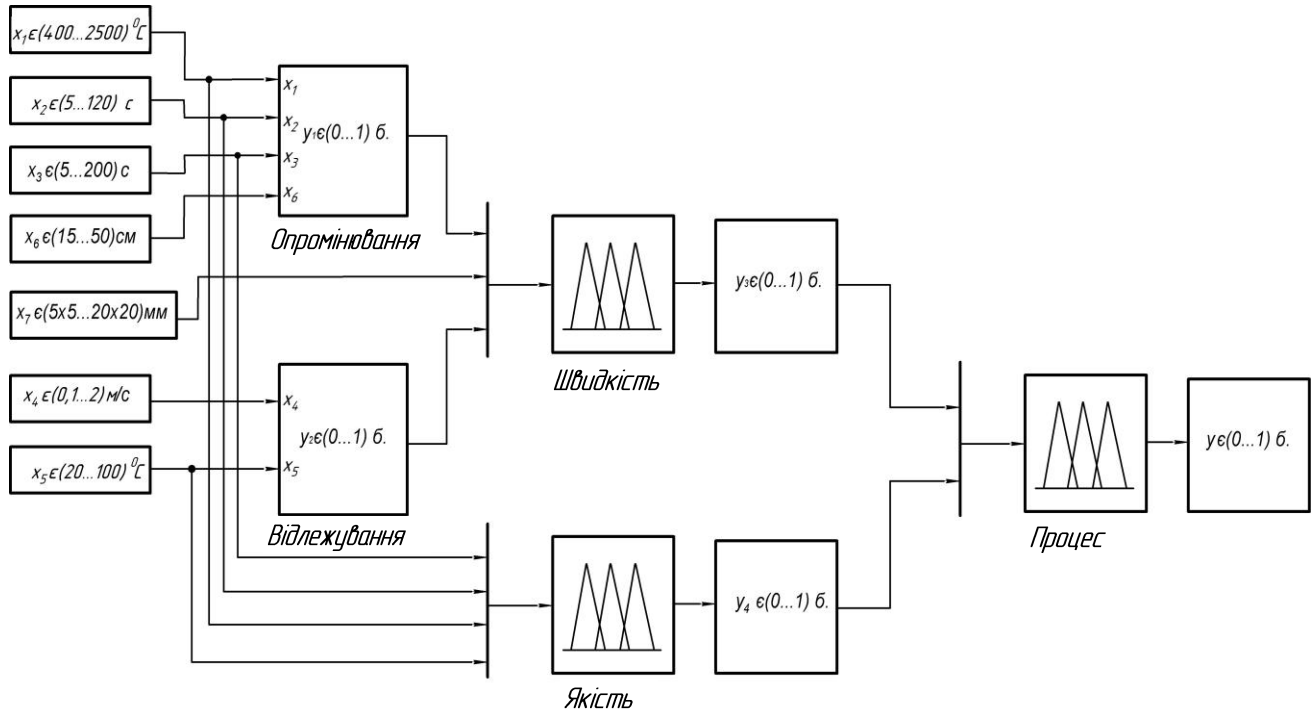


Рис. 1. Структурно-логічна модель технологічного процесу сушіння матеріалів рослинного походження в сушарках барабанного типу з терморадіаційним енергопідведенням: x_1 – лінгвістична змінна температури випромінювача; x_2 – лінгвістична змінна часу опромінення; x_3 – лінгвістична змінна часу відлежування; x_4 – лінгвістична змінна швидкості повітря, що обдуває матеріал; x_5 – лінгвістична змінна температури повітря, що обдуває матеріал; x_6 – лінгвістична змінна відстані між джерелом ПЧ-випромінювання та матеріалом. x_7 – лінгвістична змінна розміру частинки цикорію; y_i – відповідна база знань

За аналізом розробленої нечіткої моделі процесу сушіння сипких харчових продуктів рослинного походження встановлено, що отримання високих показників швидкості сушіння матеріалу, та, як наслідок, зниження енерговитрат, при збереженні його якісних показників, досягається за таких значень вхідних параметрів: температура випромінювача $T = (800...1300) ^\circ C$; тривалість опромінювання $t_{opr} = (30...50) c$; тривалість відлежування $t_{відл} = (90...150) c$; швидкість потоку повітря $u = (0,8...1,3) m/c$; температура повітря $T_{нов} = (20...30) ^\circ C$; відстань між джерелом опромінювання і матеріалом

$h = (15...25)$ см; лінійний розмір частинок матеріалу $S = (10...15)$ мм.

Забезпечити перервне опромінювання матеріалу, загалом, та у сушарках барабанного типу, зокрема, можливо завдяки регулюванню тривалості перебування робочого тіла у зонах опромінювання та його відлежування, завдяки введенню нових перспективних рішень конструкції сушарки. З метою реалізації такого завдання у ході аналітичних досліджень нами запропоновано встановлення напрямної полицки над випромінювачем (рис. 2), що дасть змогу дозувати енергетичний вплив ІЧ-випромінювання на матеріал, що обробляється.

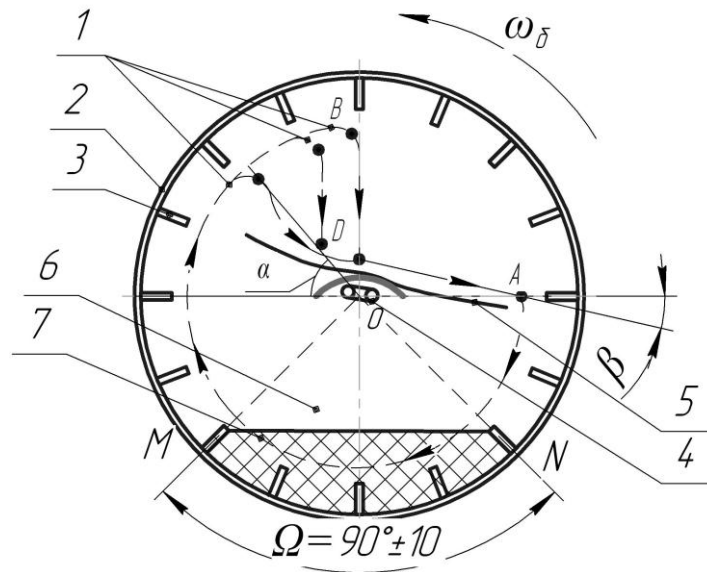


Рис. 2. Схема внутрішньої конструкції барабана: 1 – траєкторії руху частинок матеріалу; 2 – корпус барабана; 3 – лопатки; 4 – ІЧ-випромінювач; 5 – напрямна полицка; 6 – зона опромінювання; 7 – матеріал, що опромінюється; Ω – кут опромінювання; α – кут підйому частинки матеріалу над горизонтальною віссю барабана; β – кут нахилу напрямної полицки; ω_b – кутова швидкість обертання барабана

В результаті графоаналітичних досліджень руху матеріалу в сушильному барабані при різній кількості лопаток, що встановлено на внутрішньому периметрі барабана, отримано залежність тривалості інтервалу опромінювання матеріалу:

$$t_{опр} = \frac{15 \left(1 + \frac{4}{z} \right)}{n}, \quad (1)$$

де $t_{опр}$ – інтервал часу опромінювання, с; z – кількість лопаток, шт.; n – частота обертання барабана, $хв^{-1}$.

Аналізуючи динаміку руху частинки у барабані, отримано залежність для визначення впливу конструкційних параметрів барабана на тривалість періоду відлежування матеріалу при періодичній дії на нього енергії ІЧ-випромінювання:

$$\left[\left(\frac{v_0}{g} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{v_0}{g} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

де $t_{\text{відл}}$ – тривалість періоду відлежування, с; β – кут нахилу напрямної полички, рад; D_ϕ – діаметр барабана, м; g – прискорення вільного падіння, м/с²; n – частота обертання барабана, хв⁻¹; f_2 – коефіцієнт тертя між матеріалом і поверхнею полички; γ – кут нахилу поздовжньої осі барабана до горизонталі, рад.

Використовуючи отримані залежності, з урахуванням фізико-механічних властивостей коренів цикорію, визначено залежність частоти обертання барабана від конструкційно-технологічних параметрів сушильного барабана :

$$\left(\frac{v_0}{g} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{v_0}{g} \right)^2 = \left(\frac{v_0}{g} \right) \cdot \left(\frac{v_0}{g} \right) \quad (3)$$

При розв'язанні рівнянь (1), (2), (3), з урахуванням умов забезпечення періодичного ІЧ-опромінювання матеріалу, з огляду на рекомендовані за висновками проведених аналітичних досліджень значення $t_{\text{опр}}$, $t_{\text{відл}}$, h , раціональна частота обертання барабана становитиме $n = (0,4 \dots 0,5)$ хв⁻¹, кут нахилу напрямної полички $\beta = (18 \dots 44)^\circ$, діаметр барабана $D_\phi = 1$ м, а кількість лопаток, що встановлено по внутрішньому периметру барабана $z = (8-12)$ шт.

Для уточнення параметрів лопатки та полички розглянуто механічну взаємодію частинки матеріалу з лопаткою барабана (рис. 3) з урахуванням формул (1-3).

Ураховавши динаміку взаємодії частинки і лопатки барабана, отримано величину кута підйому частинки лопаткою барабана над його поперечною горизонталлю, при якому матеріал гарантовано надходить на напрямну поличку:

$$\alpha = \delta - 2 \arccos \left(\frac{\frac{2f_1}{1 - \frac{\omega^2 D_\phi}{2g} (\sin \delta + f_1 \cos \delta)} + 1}{2} \right), \quad (4)$$

де α – кут підйому частинки матеріалу лопаткою барабана, рад; δ – кут між вектором нормальної реакції лопатки на частинку матеріалу і твірною кута α , рад; ω – кутова швидкість обертання барабана, рад/с; D_ϕ – діаметр барабана, м;

f_2 – коефіцієнт тертя між частинкою матеріалу і лопаткою барабана.

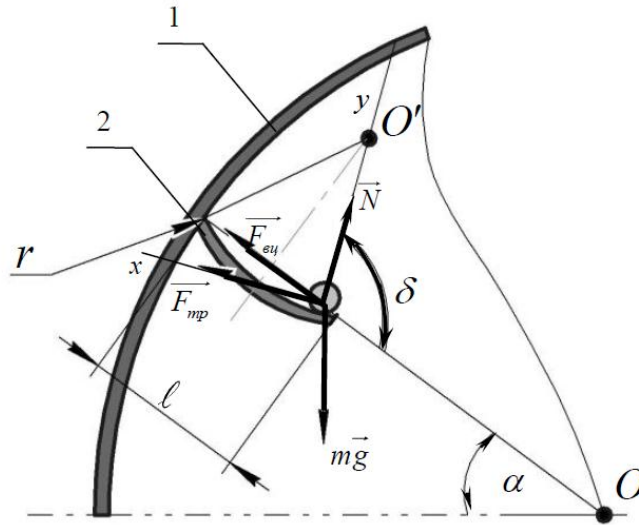


Рис. 3. Схема дії зовнішніх сил на частинку матеріалу з урахуванням геометричних параметрів лопатки барабана: 1 – корпус барабана; 2 – лопатка з частинкою; r – радіус заокруглення лопатки; l – висота лопатки

При подальшому розв'язку рівняння (4) обґрунтовано геометричні параметри лопаток барабана, що забезпечують піднімання матеріалу на задану висоту. Висота лопатки визначається із:

$$l = \sqrt{\frac{0,4 \pi \sin(\delta - \pi/2) D_a^2}{z [\cos(\delta - \pi/2) + \sin(\delta - \pi/2) \operatorname{tg}(\varphi - \alpha)/2]}} \quad (5)$$

де φ – кут природного ухилу матеріалу, що змінюється в залежності від вологості матеріалу ($\varphi = 25^\circ \dots 45^\circ$). А раціональне значення радіуса заокруглення лопатки визначається залежністю:

$$r = \sqrt{\frac{0,1 \pi D_a^2}{z [\sin(\delta - \pi/2) \cos(\delta - \pi/2) + \sin^2(\delta - \pi/2) \operatorname{tg}(\varphi - \alpha)/2]}} \quad (6)$$

З урахуванням геометричних розмірів барабана, кута нахилу напрямної полицки β , тривалості циклу обертання T_u частинки матеріалу навколо горизонтальної осі барабана та загальної тривалості сушіння матеріалу $t_{заг}$ за запропонованою технологією, встановлено кут нахилу γ сушильного барабана до його повздовжньої горизонталі (рис. 4), що забезпечує задану продуктивність:

$$\left(\right) \quad (7)$$

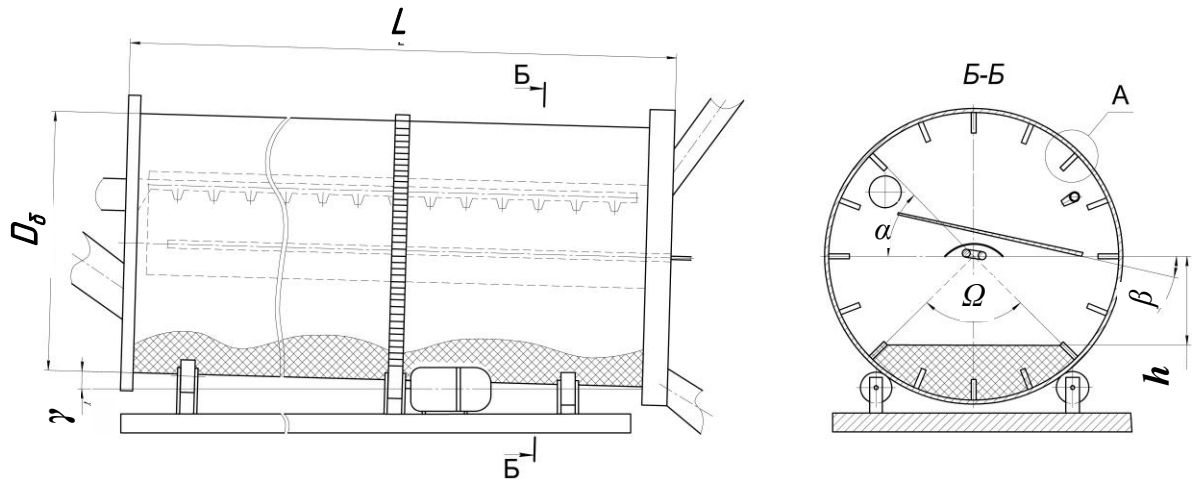


Рис. 4. Загальний вигляд сушильного барабана з ІЧ-енергопідведенням

Встановлені конструкційні параметри сушильного барабана наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Основні конструкційно-кінематичні параметри пропонуваної сушильної установки барабанного типу з ІЧ-енергопідведенням для сушіння коренів цикорію

№ з/п	Параметр	Позначення	Розмірність	Значення
1.	Діаметр барабана	D_{δ}	м	1
2.	Кут нахилу напрямної полицки	β	градуси	18...44
3.	Кількість лопаток	z	шт.	8–12
4.	Частота обертання барабана	n	хв ⁻¹	0,4...0,5
5.	Висота лопатки	l	м	0,15...0,2
6.	Радіус лопатки	r	м	0,35...0,45
7.	Довжина барабана	L	м	8
8.	Кут нахилу барабана	γ	градуси	3...8

У третьому розділі «Програма та методика експериментальних досліджень» наведено програмні питання, описані експериментальні установки, вимірювальні прилади, обладнання та методики обробки експериментальних даних.

Експериментальні дослідження було здійснено в два етапи. На першому етапі уточняли окремі механіко-технологічні властивості коренів цикорію та досліджували в лабораторних умовах вплив конструкційних параметрів сушарки барабанного типу з періодичним впливом теплової енергії на технологічні показники процесу сушіння. На другому етапі було досліджено технологічний процес сушіння продукції рослинного походження на експериментальній установці, адаптованій до технологічної лінії виробництва сушеного цикорію кореневого у виробничих умовах. За критерії оптимізації прийнято показники енергомісткості технологічного процесу сушіння та вмісту

інуліну у кінцевому продукті.

Для перевірки висновків теоретичних досліджень та встановлення раціональних режимів періодичного опромінювання були використані стандартні та спеціально виготовлені лабораторні прилади та установки: сушильна камера закритого типу; ІЧ-випромінювач з температурою поверхні, що визначалася за допомогою термопари ТХА-1-29 та пірометра Питон-104; терези лабораторні АД-300; тепловентилятор із вбудованим регулятором температури повітря; секундомір; анемометр АПР2; електричний лічильник однофазний GEM 134.01.2. Для проведення експериментів з визначення впливу конструкційно-кінематичних параметрів сушарки на технологічні періоди опромінювання та відлежування матеріалу використовувалася спеціально виготовлена лабораторна установка (рис. 5).

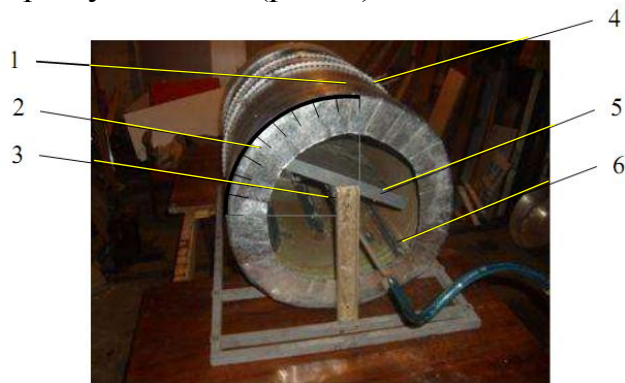


Рис. 5. Модель барабанної сушарки: 1 – корпус барабана; 2 – накладка із органічного скла з нанесеною кутковою шкалою; 3 – ІЧ-випромінювач; 4 – ланцюгова передача; 5 – напрямна похила поличка; 6 – перемішуюча лопатка

У моделі сушарки передбачено можливість зміни кута нахилу β напрямної полички 5 до горизонту, заміну лопаток 6 щодо їх геометричних розмірів (висоти l та радіуса заокруглення r) та заданої їх кількості z . Зміна частоти обертання барабана n здійснювалася частотним регулятором живлення електродвигуна Барс-Зад.

Обробка експериментальних даних проводилася за стандартною методикою планування та обробки результатів багатofакторних експериментів, за допомогою розроблених програм із використанням табличного процесора Excel. Перевірка адекватності отриманих експериментальних моделей проводилася за критеріями Фішера та Стьюдента.

У **четвертому розділі** «*Результати експериментальних досліджень та їх аналіз*» наведено результати лабораторних досліджень, виконано їх математичну обробку та аналіз.

Проведена апроксимація експериментальних даних дала змогу отримати емпіричну залежність коефіцієнта тертя ковзання цикорію кореневого поверхнею сталевому матеріалу від вологості цикорію W із значенням коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,98$:

$$f_2 = 0,00009W^2 + 0,0002W + 0,28. \quad (9)$$

З огляду на отриману емпіричну залежність, стало можливим отримання залежності раціональних значень кута β нахилу напрямної полицки від вологості матеріалу. Виходячи з того, що для забезпечення руху матеріалу поверхнею полицки величина кута її нахилу β має бути більшою за кут тертя матеріалу $\beta = \arctg f_2$, отримано:

$$\beta \geq \arctg(0,00009W^2 + 0,0002W + 0,28). \quad (10)$$

З аналізу експериментальних даних дослідження впливу геометричних параметрів лопатки (висоти l та радіуса заокруглення r) на кут підйому α частинки матеріалу над горизонтальною віссю барабана отримано рівняння регресії (11), (12) для початкової ($W = 75\%$) та кінцевої ($W = 14\%$) вологості цикорію відповідно:

$$\alpha = 72,5 + 3,3l - 2,65r + 0,02l^2 - 0,07lr + 0,045r^2, \quad (11)$$

$$\alpha = 18,43 + 5,43l - 2,4r - 0,058l^2 - 0,078lr + 0,048r^2 \quad (12)$$

та окреслено відповідні поверхні відгуку (рис. 6). Із сумісного аналізу рівнянь (11), (12) та контурів поверхонь (рис. 6), встановлено, що гарантований підйом частинок матеріалу на кут $\alpha = 20...50^\circ$ забезпечується при довжині лопатки $l = 0,15 \text{ м}$ та радіусі її заокруглення $r = (0,35...0,4) \text{ м}$.

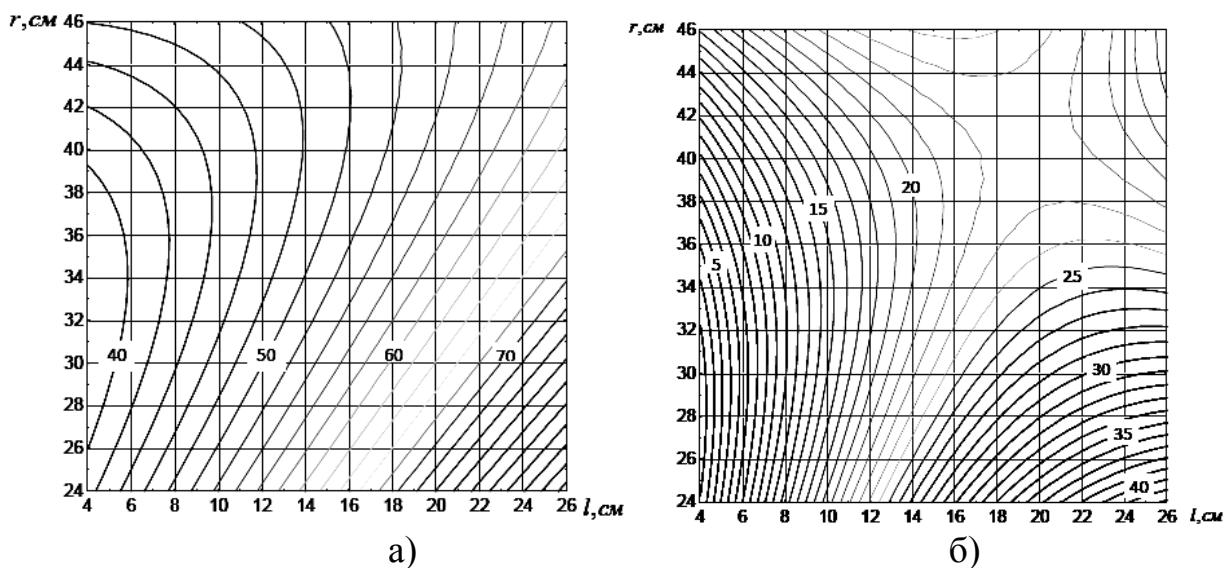


Рис. 6. Контурні поверхні відгуку залежності кута підйому α частинки матеріалу над горизонтальною віссю барабана від висоти l та радіуса заокруглення r лопатки: а) для вологості цикорію 75 %; б) для вологості цикорію 14 %

За експериментальним дослідженням визначено залежність тривалості інтервалу опромінювання $t_{оп}$ від частоти обертання барабана n та кількості лопаток z , що встановлено периметром барабана, при фіксованому діаметрі барабана експериментальної установки ($D_6 = 0,6 \text{ м}$), за аналізом яких отримано рівняння регресії з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,98$:

$$t_{оп} = 212,3 - 295,24n - 9,05z + 140,1n^2 + 3,03nz + 0,2z^2. \quad (13)$$

Визначені коефіцієнти рівняння регресії (13) дали змогу графічно окреслити поверхню відгуку (рис. 7). Аналіз отриманих даних свідчить, що раціональні значення тривалості періоду опромінювання $t_{opr} = (30...50) c$ забезпечуються при таких параметрах сушарки: при кількості лопаток $z = 12 шт.$ частота обертання барабана має становити $n = 0,4...0,6 хв^{-1}$; при кількості лопаток $z = 8 шт.$ частота обертання барабана має становити $n = 0,5...0,7 хв^{-1}$.

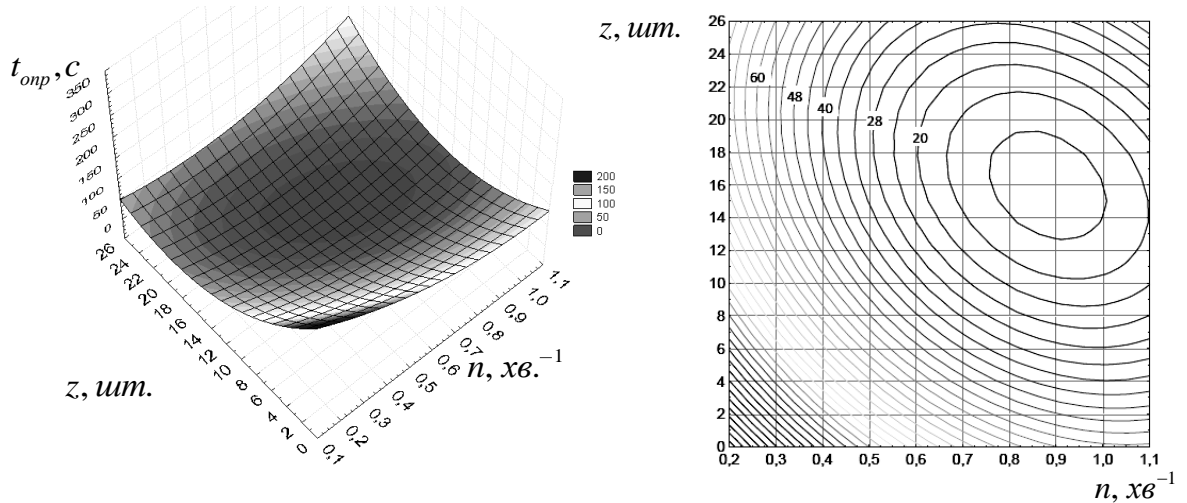


Рис. 7. Поверхня відгуку залежності часу опромінювання матеріалу t_{opr} від кількості лопаток z та частоти обертання барабана n

Обробка експериментальних даних із дослідження тривалості періоду відлежування від кута β нахилу напрямної полицки та частоти обертання барабана n , дала змогу отримати рівняння регресії (14) та поверхню відгуку (рис. 8):

$$t_{відл} = 204,4 - 309,4n + 0,047\beta + 192,9n^2 - 0,11n\beta + 0,001\beta^2. \quad (14)$$

Із аналізу отриманих даних походить, що при значеннях кута нахилу напрямної полицки β від 18° до 44° , технологічно рекомендована тривалість періоду відлежування $t_{відл} = (90...120) c$ забезпечується при частоті обертання барабана $n = 0,4...0,5 хв^{-1}$.

Обробка результатів дослідження залежності швидкості сушіння $(\frac{\Delta W}{\tau}, \xi \frac{\partial \alpha}{\partial \dot{a}})$ матеріалу цикорію кореневого, вмісту в ньому інуліну $(In, \%/сух.реч.)$ та питомої енергомісткості процесу сушіння $(N_{пит}, кВт \cdot год / (кг \cdot \%))$ від технологічних параметрів процесу (температури поверхні випромінювача T , швидкості подачі повітря u , температури повітря $T_{нов}$, періодів опромінювання t_{opr} та відлежування $t_{відл}$) дала змогу отримати коефіцієнти відповідних рівнянь із показником рівня значущості 0,05.

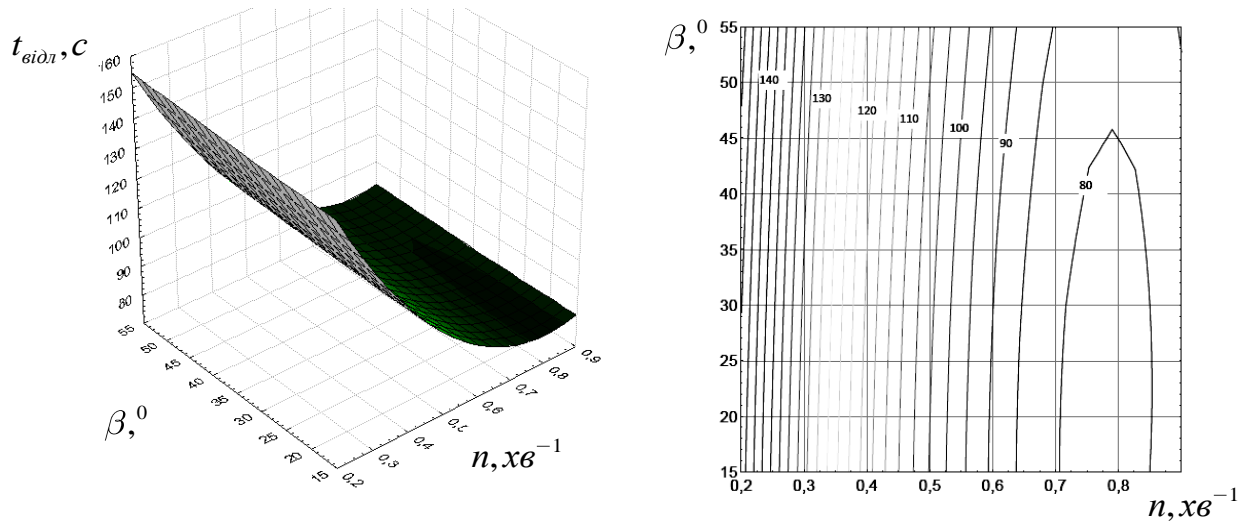


Рис. 8. Поверхня відгуку залежності тривалості відлежування матеріалу $t_{відл}$ від кута нахилу напрямної полицки β та частоти обертання барабана n

Отже, для випромінювачів з температурою поверхні в межах $T=1177\text{ }^{\circ}\text{C}$ отримано регресійні залежності швидкості сушіння (15), вмісту інуліну (16) та питомої енергомосткості (17):

$$\frac{\Delta W}{\tau} = 0,4 + 0,056 u + 0,001 T_{нов} + 0,001 t_{онп} - 0,0005 t_{відл} ; \quad (15)$$

$$In = 60,05 - 0,064 u - 0,195 T_{нов} - 0,06 t_{онп} + 0,007 t_{відл} ; \quad (16)$$

$$N_{нум} = 0,049 + 0,000012 T_{нов}^2 - 0,0006 T_{нов} + 0,0001 t_{онп}^2 + 0,003 u . \quad (17)$$

Для випромінювачів з температурою поверхні в межах $T=887\text{ }^{\circ}\text{C}$ отримано регресійні залежності швидкості сушіння (18), вмісту інуліну (19) та питомої енергомосткості (20):

$$\frac{\Delta W}{\tau} = 0,41 + 0,067 u + 0,002 T_{нов} + 0,0005 t_{онп} - 0,0006 t_{відл} ; \quad (18)$$

$$In = 66,75 - 0,09 u - 0,197 T_{нов} - 0,09 t_{онп} + 0,012 t_{відл} ; \quad (19)$$

$$N_{нум} = 0,048 + 0,000014 T_{нов}^2 - 0,0008 T_{нов} + 0,000122 t_{онп} - 0,0019 u . \quad (20)$$

За аналізом отриманих залежностей встановлено, що найбільший вплив на показники якості коренів цикорію, при періодичному впливі теплової енергії при сушінні, має температура повітря $T_{нов}$, що подається до матеріалу під час його відлежування. Із аналізу рівнянь походить, що для забезпечення стандартних вимог щодо вмісту інуліну в коренях цикорію ($In > 45\%$) температура повітря не повинна перевищувати $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найбільший вплив на зростання швидкості випаровування вологи $\frac{\Delta W}{\tau}$, виходячи із значень

коефіцієнтів регресії рівнянь (15), (18), мають швидкість подачі повітря u та його температура $T_{нов}$. Проте з огляду на показники енергомосткості процесу, збільшення цих параметрів обмежується, що визначено коефіцієнтами регресії у рівняннях (17), (18). Повна оцінка техніко-технологічних показників процесу сушіння, проведена за аналізом рівнянь (15–20) та їх графічної інтерпретації,

дала змогу визначити раціональні технологічні параметри процесу сушіння (табл. 2), при яких забезпечуються мінімальні показники енергомосткості сушарки за відношенням до бажаного вмісту інуліну в сушених коренях цикорію.

Таблиця 2

Раціональні значення технологічних параметрів процесу сушіння коренів цикорію при періодичній дії теплової енергії на матеріал

Швидкість повітря, u , м/с	Температура повітря, $T_{пов}$, °С	Час опромінювання, $t_{опр}$, с	Час відвід відвід, $t_{відл}$, с	Значення показників якості процесу		
				$\frac{\Delta W}{\tau} \cdot 10^{-2}$, кг/год	I_n , %/сух.реч.	N_{sum} , кВт·год/(кг·%)
1. Температура поверхні випромінювача $T = 1177$ °С						
0,7...0,8	25...30	30...35	90...100	3,2...3,3	54...56	0,044
2. Температура поверхні випромінювача $T = 887$ °С						
0,9...1,1	30...35	45...50	100...120	3,43...3,44	54...58	0,042

При дослідженні залежності сумарних енерговитрат сушарки $N_{заг}$ від частоти обертання барабана n отримано експериментальні дані, апроксимація яких дала змогу побудувати графічну залежність (рис. 9). Проведення аналогічних експериментів для кута нахилу напрямної полицки $\beta = 35^\circ$ та $\beta = 45^\circ$ свідчить про збіг значень сумарних енерговитрат сушарки $N_{заг}$ залежно від частоти обертання барабана на 98...99 %.

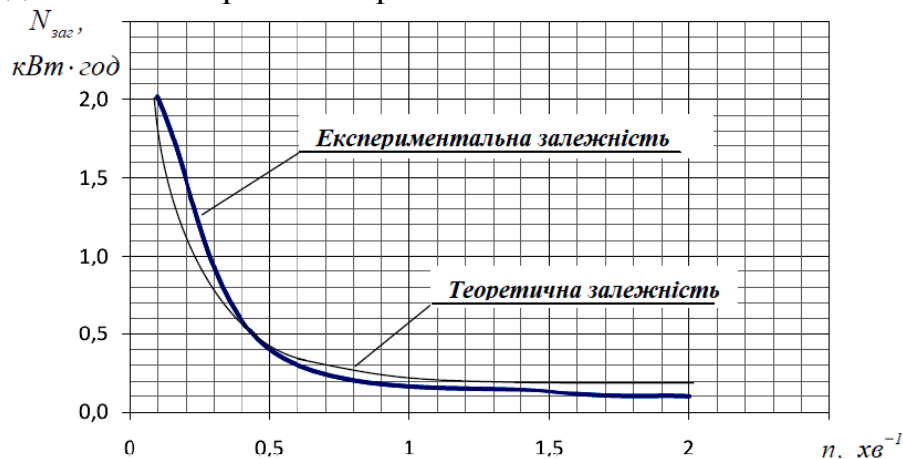


Рис. 9. Залежність загальних енерговитрат сушарки $N_{заг}$ від частоти обертання барабана n при $\beta = 25^\circ$

Математичний аналіз експериментальних даних дав змогу отримати рівняння регресії залежності сумарних енерговитрат сушарки від частоти обертання барабана:

$$N_{заг} = 1,46n^4 - 7,19n^3 + 12,55n^2 - 9,22n + 2,62. \quad (21)$$

Проте при проведенні експериментальних досліджень продуктивності сушарки за видаленою вологою залежно від частоти обертання барабана

(рис. 10), встановлено, що продуктивність зростає і набуває максимуму при частоті обертання барабана $n = (0,3...0,7)$ хв^{-1} , подальше зростання частоти обертання барабана обумовлює повільне зниження продуктивності сушарки за видаленою вологою, яке пояснюється відхиленням технологічних періодів опромінювання та відлежування матеріалу від раціональних значень.

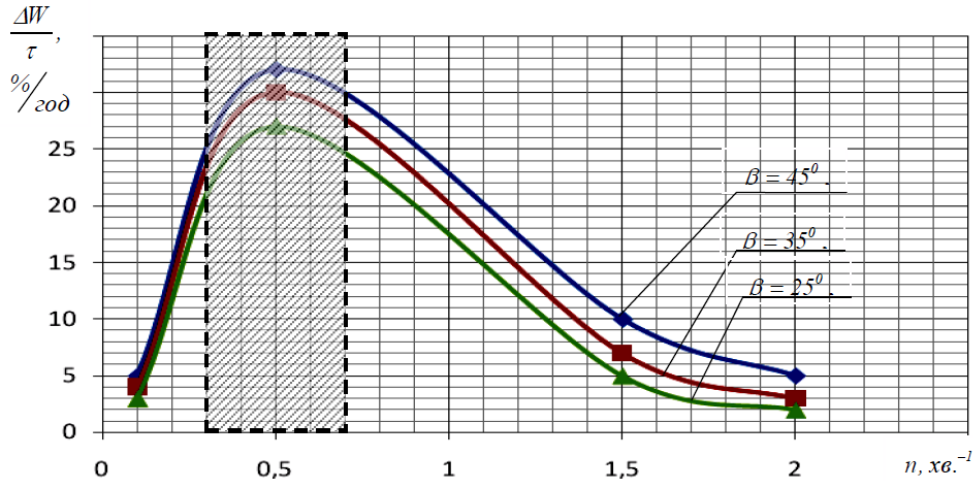


Рис. 10. Експериментальна залежність продуктивності сушарки за випареною вологою $\frac{W}{\tau}$ залежно від частоти обертання барабана n

За викладеним вище аналізом результатів модельного експерименту максимальні показники продуктивності за видаленою вологою при мінімальних показниках сумарних енерговитрат спостерігаються при частоті обертання барабана $n = (0,4...0,6)$ об^{-1} .

Результати лабораторних випробувань довели адекватність проведеного математичного моделювання, що дає змогу рекомендувати розроблені моделі для використання при проектуванні технічних засобів галузі механізації переробки і зберігання продукції рослинництва.

У п'ятому розділі «Техніко-економічна оцінка застосування барабанних сушильних установок з ІЧ-енергопідведенням» наведено результати виробничих випробувань запропонованої сушарки, та виконано техніко-економічний розрахунок.

Встановлено, що робота нового обладнання щодо реалізації технологічного процесу сушіння коренів цикорію за критерієм вмісту інуліну в кінцевому продукті, забезпечувала за відношенням до сухих речовин вміст інуліну від 54,38 до 57,56 %, що на 17...23 % більше порівняно із зразками цикорію, висушеного на базовому сушильному обладнанні (ПАТ «Цикорій»). Дослідження фізико-хімічних показників одержаної продукції проводилося в лабораторних умовах мініцукрозаводу Житомирського національного агроекологічного університету та ПАТ «Цикорій» Чуднівського району Житомирської області.

Розрахунковий економічний ефект від впровадження запропонованої сушильної установки становить 1660 грн/т виробленої продукції. Затрати на енергоносії при цьому зменшуються на 65 % порівняно із базовим варіантом.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування і нове вирішення науково-прикладної задачі підвищення ефективності процесу сушіння цикорію кореневого в сушарках барабанного типу із забезпеченням періодичної дії теплової енергії на матеріал, що дало змогу отримати збільшення показників вмісту інуліну у висушеному матеріалі та знизити питомі енерговитрати обладнання за випареною вологою.

1. За результатами аналізу наукових досліджень та практичного досвіду щодо сушіння сипких рослинних матеріалів, і коренів цикорію зокрема, встановлено, що техніко-технологічне забезпечення сучасних сушильних виробництв залишається матеріало- та енергомістким, а якість об'єктів сушіння не відповідає вимогам до органолептичних та фізико-хімічних показників з боку споживачів. Визначено, що перспективним напрямом розв'язання цієї проблеми є розробка обладнання із періодичною дією терморадіаційного енергопідведення на матеріал у сушарках барабанного типу, де стає можливою реалізація поставлених вимог.

2. Розроблено структурно-логічну модель процесу сушіння цикорію кореневого в сушарках з терморадіаційним енергопідведенням. Внаслідок побудови взаємозв'язків вхідних та вихідних змінних нечіткої логічної системи технологічного процесу сушіння, з урахуванням вимог ресурсоощадності, енергоефективності та високих якісних показників матеріалу, обґрунтовано технологічні параметри, що забезпечують мінімізацію питомих енерговитрат процесу сушіння цикорію кореневого у сушарках барабанного типу з періодичною дією на матеріал електромагнітної енергії ІЧ-діапазону. Встановлено, що раціональна тривалість опромінювання матеріалу має знаходитись у межах $t_{опр} = (30...50) \text{ с}$, тривалість відлежування – у межах $t_{відл} = (90...150) \text{ с}$; відстань між джерелом опромінювання і об'єктом сушіння – $h = (15...25) \text{ см}$; лінійний розмір частинок матеріалу – $S = (10...15) \text{ мм}$.

3. На основі отриманих рівнянь динаміки руху, аналітично встановлено зв'язок кута нахилу напрямної полицки до горизонтальної осі барабана та тривалості періоду відлежування цикорію. Визначено, що для забезпечення заданої тривалості відлежування кут нахилу напрямної полицки має становити $\beta = 18...44^\circ$, при вологості цикорію від 14 до 75 % відповідно і бути більшим за кут зовнішнього тертя між цикорієм і сталеву поверхню полицки.

4. Експериментальними дослідженнями встановлено фізико-механічні характеристики цикорію кореневого, а саме коефіцієнт тертя ковзання похилою сталеву площиною $f_2 = 0,3...0,68$ та кут природного ухилу $\varphi = 25...44^\circ$ при вологості цикорію від 14 до 75 % відповідно, які раніше в такому контексті не визначалися, що дало змогу з'ясувати динамічну специфіку руху подрібненої маси цикорію в середині сушильного барабана та межі регулювання величини кута нахилу напрямної полицки.

5. Виходячи із умов забезпечення транспортування матеріалу на похилу напрямну полицку, за аналізом динаміки руху частинки матеріалу аналітично

обґрунтовано та експериментально встановлено раціональні значення конструкційних параметрів лопаток: радіус заокруглення $r=(0,35...0,4)$ м; висота лопатки барабана $l=0,15$ м, що забезпечує необхідні технологічні значення періоду відлежування матеріалу.

6. Комплексний аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень переміщення сипкого матеріалу в сушильному барабані, з огляду на час його перебування у зонах опромінювання та відлежування, та впливу частоти обертання барабана на питомі енерговитрати щодо продуктивності процесу сушіння, що було проведено на основі графоаналітичного та кінематичного дослідження та підтверджено результатами математичної обробки багатофакторних експериментів, дав змогу визначити частоту обертання барабана $n=(0,4...0,5)\text{хв}^{-1}$ та кількість лопаток, встановлених на його внутрішньому периметрі $z=8-12$ шт., при яких забезпечуються раціональні тривалості періодів опромінювання та відлежування матеріалу коренів цикорію.

7. У результаті аналітичних досліджень визначено і проведенням багатофакторних експериментів підтверджено та рекомендовано оптимальні значення технологічних параметрів, що мають найбільший вплив на питому енергомісткість за відношенням до продуктивності обладнання та якості кінцевого матеріалу:

– для випромінювачів за температури поверхні $T=(1200\pm 50)^{\circ}\text{C}$ швидкість повітря становить $0,7...0,8$ м/с, температура повітря – $25...30^{\circ}\text{C}$, тривалість періоду опромінювання – $30...35$ с, тривалість періоду відлежування – $90...100$ с;

– для випромінювачів за температури поверхні $T=(900\pm 50)^{\circ}\text{C}$ швидкість повітря становить $0,9...1,1$ м/с, температура повітря – $30...35^{\circ}\text{C}$, тривалість періоду опромінювання – $45...50$ с, тривалість періоду відлежування – $100...120$ с.

8. Виробничою перевіркою технологічного процесу сушіння коренів цикорію, що було реалізовано у сушарці барабанного типу, встановлено, що застосування пропонованого обладнання порівняно з базовою установкою, зменшує витрати на енергоносії на 65 % та гарантує поліпшення якісних характеристик об'єкта сушіння за вмістом інуліну на 17...23 %. Питомий економічний ефект від застосування сушильної установки запропонованої конструкції становить 1660 грн/т виробленої продукції.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Нездвєцька І. В. Оптимізація сушіння коренів цикорію / І. В. Нездвєцька, С. М. Кухарець, О. Д. Муляр // Вісник ЖНАЕУ. – 2010. – № 1. – С. 319–326. (Здобувачем складено класифікацію технологічних процесів сушіння сільськогосподарської сировини та проведено їх аналіз; зроблено аналіз проникання ІЧ-випромінювань у корені цикорію)

2. Нездвєцька І. В. Формалізація параметрів ІЧ-сушильних установок

імпульсної дії при моделюванні технологічних процесів сушіння / І. В. Нездвєцька, С. М. Кухарець, С. С. Бучик, Л. А. Сидорчук // Вісник ЖДТУ. – 2012. – № 1. – С. 47–52. (*Здобувачем визначено задачі досліджень та взаємозв'язки вхідних та вихідних даних, отримано функції належності*)

3. Нездвєцька І. В. Використання методів нечіткого моделювання при проектуванні сушильного обладнання / І. В. Нездвєцька, С. М. Кухарець // Науковий вісник НУБіП України. – 2012. – Вип. 170, Ч. 1. – С. 376–383. – Серія: Техніка та енергетика АПК. (*Здобувачем розроблено структурно-логічну модель процесу терморадіаційного сушіння на прикладі цикорію кореневого та визначено раціональні технологічні параметри процесу*)

4. Нездвєцька І. В. Теоретичні передумови визначення залежності технологічних параметрів процесу сушіння від конструкційних параметрів сушильного барабана / І. В. Нездвєцька // Науковий вісник НУБіП України. – 2012. – Вип. 170, Ч. 2. – С. 95–101. – Серія: Техніка та енергетика АПК.

Матеріали конференцій:

5. Нездвєцька І. В. Обґрунтування параметрів сушильних барабанів з терморадіаційним енергопідведенням сушильного агенту при сушінні коренів цикорію / І. В. Нездвєцька // Зб. наук. праць ПДАТУ: спец. вип. до V наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми збалансованого природокористування». – Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2010. – С. 170–172.

6. Нездвєцька І. В. Визначення раціональних температурних параметрів ІЧ-випромінювача при сушінні коренів цикорію / І. В. Нездвєцька, С. М. Кухарець // Зб. наук. праць ПДАТУ : спец. вип. до VI наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми збалансованого природокористування». – Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2011. – С. 166–168.

7. Нездвєцька І. В. Оцінка ефективності роботи обладнання для сушіння біомаси / І. В. Нездвєцька // Збірник доповідей науково-технічної конференції, присвяченої 90-річчю ЖНАЕУ «Передові технології сільськогосподарської продукції, енергозбереження та забезпечення тепловою й електричною енергіями. Перспективи та проблеми впровадження в сільське господарство Полісся». – Житомир, ЖНАЕУ, 2012. – С. 93–96.

Патенти:

8. Патент України на КМ 61189U, МПК А23N12/00. Установа для сушіння сипких харчових продуктів рослинного походження / Лось Л. В., Кухарець С. М., Нездвєцька І. В., Шубенко В. О. (Україна); заявник і патентовласник Житомирський національний агроекологічний університет. – №U201015714; заявл. 27.12.2010; опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13.

9. Патент України (Винахід) 96243A, МПК 23N 12/08 (2006.01), А23L 3/54 (2006.01), А23В 7/02 (2006.01), F26B 3/30 (2006.01). Установа для сушіння сипких харчових продуктів рослинного походження / Лось Л. В., Кухарець С. М., Нездвєцька І. В., Шубенко В. О. (Україна); заявник і патентовласник Житомирський національний агроекологічний університет. – № А201014874, заявл. 25.12.2010; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.

АНОТАЦІЯ

Нездвецька І. В. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів сушарки для цикорію кореневого. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2013.

Дисертацію присвячено проблемі підвищення ефективності сушіння коренів цикорію кореневого шляхом встановлення раціональних конструкційно-технологічних параметрів і режимів роботи сушарки барабанного типу з дією на матеріал енергії ІЧ-випромінювання.

Аналітично обґрунтовано раціональні конструкційно-технологічні параметри сушарки барабанного типу, призначеної для сушіння сипких матеріалів рослинного походження, з періодичною дією на матеріал енергії ІЧ-випромінювання. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено вплив конструкційних параметрів сушарки на технологічні параметри процесу сушіння та вплив технологічних параметрів роботи сушарки на продуктивність процесу і якісні показники об'єкта сушіння при умові зведення до мінімуму питомих енерговитрат за випареною вологою. Проведено виробничо-господарські випробування пропонованої сушарки та розраховано економічний ефект від її використання.

Ключові слова: конструкційні параметри, напрямна полицка, сушіння, сушильний барабан, технологічні параметри, технологічні періоди, цикорій кореневий, якісні показники матеріалу.

АННОТАЦИЯ

Нездвецкая И. В. Обоснование конструкционно-технологических параметров сушилки для цикория корневого. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2013.

Диссертационная работа посвящена вопросу увеличения качественных и количественных показателей работы сушилки для корней цикория при обеспечении её минимальных энергозатрат. В ходе исследований проведен анализ существующих способов сушки материалов растительного происхождения, а также комплексный анализ конструктивного обеспечения сушильного оборудования отечественных и зарубежных производителей. Результаты аналитических исследований свидетельствуют, что минимальные показатели удельного объёма оборудования по отношению к его массе, минимальные показатели удельных энергозатрат на 1 кг испарённой влаги при максимальных показателях производительности сухого материала имеют сушилки барабанного типа. Исходя из этого, целесообразным для сушки сыпучих материалов растительного происхождения, и цикория корневого в том

числе, является применение барабанных сушилок с терморadiационным воздействием на высушиваемый материал. Однако в сушилках таких конструкций не предусмотрено периодическое воздействие тепловой энергии на материал, что согласно анализу литературных источников, позволяет увеличить производительность процесса сушки на 30–40 % без потерь показателей качества материала. Исходя из этого, важной задачей данного исследования стало изменение конструкции сушильного барабана с целью увеличения производительности процесса сушки без потерь показателей качества обрабатываемого материала при минимальных энергозатратах.

На основе правил и положений теории нечётких множеств разработана структурно-логическая модель процесса сушки сыпучих растительных материалов в сушилках терморadiационного воздействия. При помощи разработанной модели, учитывающей структурно-логическую связь параметров, влияющих на производительность процесса и изменение качественных показателей высушиваемого материала, получены рациональные значения технологических параметров процесса сушки цикория, позволяющие получить готовый материал с максимальными показателями качества при возможных минимальных показателях энергоёмкости процесса. Таким образом, содержание инулина в корнях цикория на максимальном уровне по отношению к массе сухих веществ достигается при: температуре поверхности теплоизлучателя в пределах (800...1300) °С; продолжительности периода облучения – (30...50) с, периода отлёжки – (90...150) с; скорости потоков подогретого воздуха во время отлёжки – (0,8...1,3) м/с; температуры подаваемого воздуха – (20...30) °С; расстоянии между источником теплового излучения и объектом сушки – (15...25) см; линейных размерах частичек корней цикория – (10...15) мм.

Доказана и установлена связь технологических параметров процесса сушки цикория в данной сушилке с конструктивными параметрами сушильного барабана. Анализ динамики движения частичек корней цикория в камере сушильного барабана позволил детально определить распределение в ней частичек цикория корневого. На основе анализа взаимодействия частичек материала с элементами внутренней конструкции барабана получены уравнения динамики, решение которых дало возможность получить математические зависимости, описывающие взаимосвязь технологических параметров процесса терморadiационной сушки (времени облучения и отлёжки) и конструктивно-кинематических параметров барабана (геометрических параметров лопаток, их количества, размеров самого барабана и его наклона к горизонтали по его длине, а так же частоты вращения барабана).

В соответствии с результатами теоретических исследований разработана и изготовлена опытная установка, при помощи которой проведена экспериментальная проверка определённых при помощи аналитических исследований рациональных режимов работы сушилки, при которых достигаются максимальные показатели качества высушенного материала при

минимальных энергозатратах оборудования. Таким образом, обеспечение рациональных технологических параметров процесса сушки цикория корневого становится возможным при следующих конструктивных параметрах сушильного барабана: диаметр – 1 м; радиус скругления и длина лопаток – (0,35...0,4) м и 0,15 м соответственно; количество лопаток – (8–12) шт.; угол наклона направляющей полочки – $(18...44)^{\circ}$, угол продольного наклона барабана $(3...8)^{\circ}$.

На основании проведенного многофакторного эксперимента получены регрессионные зависимости, анализ которых показал соответствие теоретических предпосылок и экспериментальных данных. Экспериментальная энергетическая оценка предложенной сушилки показала средние затраты энергии на 1 кг испарённой из материала влаги в пределах 1,2...1,5 кВт·ч.

Проведена экономическая оценка эффективности использования сушилки предложенной конструкции. Ожидаемый экономический эффект от внедрения сушильной установки оценивается в пределах 1660 грн/т произведённой продукции.

Ключевые слова: конструкционные параметры, направляющая полочка, показатели качества материала, сушильный барабан, сушка, технологические параметры, технологические периоды, цикорий корневой.

ANNOTATION

Nezdvetska I. V. The substantiation the structural and technological parameters of drier for root chicory. - Manuscript.

The thesis on Candidate degree in Engineering, in specialty 05.05.11 – Machines and Means of Mechanization of Agricultural Production. - National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2013.

The thesis highlights the problems related to enhancing the efficiency of drying roots of root chicory through determining the rational structural and technological parameters and regimes of operation of drum drier under the effects of IR – irradiation energy on material.

The author substantiates analytically the rational structural and technological parameters of drum driers, which is meant for drying plant origin dry substances under the recurring effects of IR – irradiation energy on the material.

Theoretically and experimentally determined were: the effects of the structural parameters of drier is on the technological parameters of process of drying; of influence of technological parameters of process of drying; the effects of technological parameters of the drier operation on the process productivity and the quality indices of the object of drying under minimizing the specific energy consumption of moisture evaporated. The industrial and economic tests of the drier suggested are conducted and the economic effect of its use is calculated.

Key words: drying, drying drum, root chicory, technological parameters, quality indices of material, sending shelf, technological periods.