

ІНСТИТУТ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНСЬКОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК
/ ІМЕСГ УААН /

На правах рукопису

СПІРІН АНАТОЛІЯ ВОЛОДИМИРОВИЧ

ОВІГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І РЕЖИМІВ ПРОЦЕСУ СУШКИ
НАСІННЕВОГО ВОРОХУ ЛЮЦЕРНИ

Спеціальність 05.20.01-
"Механізація сільськогосподарського виробництва"

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук



Глеваха - 1993

AB 28.275

Дисертацією є рукопис
Робота виконана в Інституті механізації та електрифікації
сільського господарства Української академії аграрних наук

Наукові керівники: - кандидат технічних наук, стар-
ший науковий співробітник
Шидловський Д.М.

- кандидат технічних наук, стар-
ший науковий співробітник
Котов Б.І.

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор,
академік УААН
Погорілий Л.В.

- кандидат технічних наук, стар-
ший науковий співробітник
Кузьміч Я.А.

Провідна організація - НВО "НДІ Фермаш"

Захист відбудеться "25" листопада 1993 р. о 16 г. на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 020.30.01 по присудженню
наукового ступеня доктора технічних наук в Інституті механізації
та електрифікації сільського господарства УААН за адресою:
255133, Київська область, Васильківський район, с.м.т. Глеваха-І,
вул. Вокзальна, 11, ІМЕСГ УААН, кімната 613.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотечі ІМЕСГ УААН.

Автореферат розісланий " 25 " 10 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої
вченої ради, к.т.н.



ГРИШИН М.І.

ЛНБ України ім.В.Стефаника
00810613 (J)



ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Однією з головних вимог вирішення проблеми забезпечення тваринництва кормовим білком є розширення площі посіву бобових трав, зокрема люцерни. Розширення площі, яка зайнята люцерною, вимагає інтенсифікації насінництва цієї культури. Однак необхідної кількості насіння поки що не вдається зібрати, в основному через значні втрати при збиранні.

В наш час найбільш поширеним являється комбайнове збирання насінників трав з використанням для цих цілей різних пристосувань. Проте при несприятливих погодних умовах застосування комбайнових технологій супроводжується значними втратами насіння. Уникнути цих негативних явищ можливо і доцільно шляхом застосування стаціонарних способів збирання, які включають збір всієї біологічної маси або насінневої частини в полі, транспортування та обробку її на стаціонарі.

Ширше впровадження стаціонарних технологій стримується декількома причинами, в тому числі і нестачею високопродуктивних засобів для сушіння насінневого вороху. Усунути дану перепону можна, якщо застосувати для сушки насінневого вороху високопродуктивні пневмобарабанні сушарки. Проте до теперішнього часу не розроблені режимні параметри сушки насінневого вороху люцерни на таких сушарках, немає конструктивних рішень, які б дозволили здійснити цей процес без зниження якості матеріалу. Це і визначило актуальність дослідження процесу сушки насінневого вороху люцерни.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес сушки насінневого вороху люцерни та технічні засоби для його здійснення.

Ціль роботи. Підвищення якості насінневого матеріалу і ефективності роботи сушильного обладнання шляхом обґрунтування параметрів режиму сушки і розробки конструктивних рішень які дозволяють реалізувати раціональні параметри процесу.

Методи досліджень та апаратура. Методика теоретичних досліджень базувалася на основних положеннях теорії нестационарної теплопроводності і теорії сушки. Експериментальні дослідження виконувались в лабораторно-польових умовах за допомогою спеціально розроблених стендів і установок та застосування аналізу проб матеріалу на вологість і якість насінневого матеріалу на схожість по загально прийнятих методиках.

При проведенні експериментальних досліджень застосовували стандартні прилади. Отримані дані обробляли методом дисперсійного і регресивного аналізу із застосуванням ЕОМ.

Теоретичні результати і новизна. Одержана аналітична закономірність нагріву насіння люцерни в залежності від стану матеріала, що подається на сушку і режимних параметрів процесу на основі яких сформульована математична модель процесу сушки у вигляді рівняння теплопровідності з негативним внутрішнім джерелом теплоти. Запропонований комплекс параметрів, що характеризує відношення швидкості розвитку нестационарного теплового процесу в матеріалі до швидкості розвитку нестационарного теплового процесу в теплоносії, а також коефіцієнт втрати теплоти, який характеризує енергетичну оцінку режимів сушки з різною початковою вологістю матеріала.

Практичні результати і новизна. Обґрунтовані раціональні режимні параметри процесу сушки насіннєвого вороху люцерни. Запропонований спосіб зниження та регулювання початкової температури сушильного агента на серійних пневмобарабаних сушарках /на прикладі АВМ-0,65/. Запропоновано нове технічне рішення — установка для подачі листостеблевої маси яка дозволяє підвищити продуктивність стаціонарного пункту, раціонально використовувати наявне обладнання для сушки насіннєвого вороха. Новизна розробленого пристрою захищена авторським свідоцтвом СРСР № 1531914. Розроблені рекомендації по удосконаленню сушильного устаткування і процесу сушки при обробці насіннєвого вороха на стаціонарному пункті.

На захист виносяться: технологічне обґрунтування регулювання режимних параметрів процесу сушки; аналітичні залежності для визначення розподілу температури в бобові люцерни під дією режимних параметрів процесу сушки; теоретично-експериментальне обґрунтування режимних параметрів процесу сушки і параметри обладнання для його здійснення; результати перевірки процесу у виробничих умовах.

Апробація роботи. Основні положення і результати роботи докладені, обговорені і схвалені на Всесоюзній науково-практичній конференції "Проблеми механізації сільськогосподарського виробництва" /Москва, 1985 р./, обласній науково-технічній конференції /Житомир, 1987 р./, обласних науково-виробничих конференціях "Наука — виробництву" /Житомир, 1989 р./, "Агропромислового ком-

плексу Полісся - наукове забезпечення" /Житомир, 1990 р./, на об'єднаному засіданні секцій механізації НДР Держкомсільгосптехніки УРСР та Мінсільгоспу УРСР /Київ, 1984/. Матеріали дисертації опубліковані в чотирьох роботах, отримано авторське свідоцтво на винахід.

Предмет і ступінь впровадження. На основі проведених досліджень розроблена технічна документація та проведено переобладнання стаціонарного пункту в колгоспі ім. Щорса Долинського району Кіровоградської області, на якому протягом двох років перероблено 113 тонн насінневого вороху. Результати досліджень передані фірмі "Неріс" для використання в роботах по модернізації пневмобарабаних сушарок. Результати досліджень використані для випуску рекомендацій "Типові технології збирання трав на насіння з обробкою урожаю на стаціонарному пункті" /Москва, 1985 р/.

Ефективність впровадження. Застосування пневмобарабаних сушарок при сушці насінневого вороху дозволяє зменшити приведені витрати в 1,16 рази в порівнянні з використанням підлогових сушарок і в 1,90 рази в порівнянні з використанням сушарок СКМ-1.

Галузь використання. Результати досліджень можуть бути використані при розробці нових машин для сушіння сільськогосподарської продукції.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох глав, основних висновків та додатків, списку використаної літератури, який включає 109 назв, в тому числі 11 на іноземних мовах. Загальний об'єм дисертації з додатками складає 162 сторінки. Основна частина дисертації містить 155 сторінок друкованого тексту, 41 рисунок, 3 таблиці.

ЗМІСТ РОБОТИ

В першій главі "Стан питання і задачі досліджень" приведено аналіз існуючих технологій збирання насінників багаторічних трав, сушарок, які застосовуються в сільському господарстві та режимів сушки насіння і вороху насінників трав.

Відзначено, що основним видом збирання насінників трав є збирання їх зерновими комбайнами з відповідними пристроями. Однак при несприятливих погодних умовах /підвищена вологість/ втрати насіння значно підвищуються і можуть сягати 15-40%.

Практично єдиним способом закінчити збирання з мінімальними втратами в цьому випадку є збір всієї біологічної маси /або її насінневої частини/ і обробка її на стаціонарі. Обробка на стаціонарі потребує виконання такої технологічної операції як сушка насінневого вороху. Проведений аналіз сушарок, які застосовуються в сільському господарстві показує, що найбільш підходящими для цієї цілі є пневмобарабанні сушарки, зокрема сушарка АВМ-0, 65.

Аналітичний огляд робіт, які присвячені дослідженню процесу сушки чистого насіння і вороху /С.Д.Птіцин, Л.В.Птіцина, А.І.П. Чучолка, А.В.Валулис, І.І.Крістовська, І.Т.Штоколов/, а також робіт, які присвячені дослідженню роботи пневмобарабанних сушарок /А.П.Ворошнілов, В.Ю.Валулис, К.Ф.Терпиловський, А.М.Дравінінкас, І.І.Драмантас, Л.М.Кайріс, К.І.Ярашонас/ дозволили зробити висновок про відсутність залежностей, які дозволяють отримати значення оптимальних режимних параметрів процесу сушки насінневого вороха люцерни на пневмобарабанних сушарках.

За результатами проведеного аналізу вітчизняних і зарубіжних робіт поставлені такі задачі досліджень:

- визначити властивості насінневого вороху і його складових як об'єкта сушки;
- виявити закономірності нагріву боба насінням в процесі сушки;
- визначити раціональні режими сушки насінневого вороху люцерни при найменших затратах енергії та збереженні посівних якостей насіння;
- розробити пристрої для практичної реалізації процесу сушки насінневого вороху люцерни для діючого сушильного обладнання агрегата АВМ-0, 65;
- провести виробничу перевірку і визначити техніко-економічні показники роботи удосконаленого сушильного обладнання агрегата АВМ-0, 65.

В другій главі "Теоретичні дослідження процесу сушки боба люцерни" на основі положень теорії сушки і нестационарної теплопровідності визначені аналітичні залежності для розрахунку оптимальних параметрів процесу сушки насінневого вороху люцерни в пневмобарабанній сушарці.

В процесі сушки вологість боба зменшується, а його темпе-

ратура підвищується. При цьому недопустимо, щоб температура насіння була вища за гранично допустиму температуру нагріву $t_{z,d}$, в протилежному випадку постійні якості насіння різко знижуються. Для недопущення цього явища необхідно знати закон розподілення температури в бобі в залежності від координат, часу перебування в сушарці і режимних параметрів процесу сушки.

При розгляданні цього питання було зроблено припущення, що теплофізичні характеристики матеріалу, а також коефіцієнт теплообміну між теплоносієм і матеріалом в процесі сушки є величини постійні. Була також прийнята геометрична модель боба люцерни - куля в кулі. Зовнішня куля з радіусом R - це оболонка, а мала куля з радіусом r_1 - це насіння люцерни.

В процесі сушки теплота витрачається на нагрів каркаса матеріалу, нагрів та випаровування вологи. Цей процес іде постійно, іншими словами можна сказати, що в процесі сушки діє негативне джерело теплоти з інтенсивністю

$$q = q_0 \cdot \exp(-k_1 \tau), \quad /1/$$

де q_0 - інтенсивність негативного внутрішнього джерела теплоти в момент часу $\tau = 0$, тобто на самому початку процесу сушки;

τ - час сушки;

k_1 - коефіцієнт, що характеризує швидкість змінення інтенсивності негативного внутрішнього джерела теплоти.

Різниця між температурами сушильного агента і матеріала в процесі сушки змінюється таким чином:

$$\Delta t = (t_0 - v_0) \cdot \exp(-k_2 \tau), \quad /2/$$

де t_0 - температура сушильного агента на вході в барабан, тобто в момент часу $\tau = 0$;

v_0 - температура матеріалу в момент часу $\tau = 0$;

τ - час сушки;

k_2 - коефіцієнт, який характеризує швидкість нагріву матеріала.

Розподілення температури поля в бобі люцерни підчиняється такому закону:

$$\frac{\partial^2 v(r, \tau)}{\partial r^2} = a \left[\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right] - \frac{q_0}{c\rho} \cdot \exp(-k_1 \tau) \quad /3/$$

Початкова умова: $v(r, 0) = v_0 \quad /4/$

$$\text{Гранична умова: } \left[\frac{\partial v(t, z)}{\partial z} \right]_{z=R} = H(t_0 - v_0) \cdot \exp(-k_2 \tau) \quad /5/$$

$$\text{Умова симетрії: } \left[-\frac{\partial v(t, z)}{\partial z} \right]_{z=0} = 0, \quad /6/$$

де $v(t, z)$ - температура боба люцерни в будь-якій точці на радіусі z в момент часу τ ;

a, c, ρ - відповідно теплопровідність, теплоємність та щільність матеріала;

$H = \frac{\alpha}{\lambda}$, де α - коефіцієнт теплообміну між матеріалом та навколишнім середовищем;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріала.

Рішення рівняння /3/ ведося операційним методом.

Після вирішення рівняння /3/, математичних перетворень і позначення деяких комплексів через прийняті в теорії теплообміну критерії, вирішення рівняння /3/ можна представити у вигляді:

$$v = \frac{Bi \cdot \sin \sqrt{Pd_2} \cdot \exp(-Pd_2 Fo)}{z^* (\sqrt{Pd_2} \cdot \cos \sqrt{Pd_2} - \sin \sqrt{Pd_2})} + 2 \cdot S \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(\mu_n z^*) \cdot \exp(-\mu_n^2 Fo)}{(1 - \mu_n^2 / Pd_2) \cdot \sin \mu_n} - \quad /7/$$

$$- (P_0 / Pd_1) [1 - \exp(-Pd_1 Fo)],$$

де μ_n - корінь характеристичного рівняння

$$tg \mu_n = -\mu_n \quad /8/$$

Критерій Фур'є $Fo = a\tau/k^2$ характеризує зв'язок між швидкістю змінення температурного поля, фізичними властивостями і розмірами тіла.

Критерій Померанцева $P_0 = \frac{\rho_0 R^2}{\lambda(t_0 - v_0)}$ має зміст узагальненої інтенсивності внутрішніх джерел теплоти в умовах нестационарного температурного поля.

Критерій Біо $Bi = HR$ характеризує відношення між кількістю теплоти, яка може бути підведена до тіла, і теплотою яка відводиться від поверхні в глиб тіла.

Критерій Предводителева $Pd = \frac{KR^2}{a}$ характеризує інтенсивність змінення температури середовища.

Окрім загальноприйнятих критеріїв, що застосовуються в теорії теплообміну, в рівнянні /7/ необхідно іще виділити комплекс параметрів $S = aH/k_2 z$. Цей комплекс характеризує відношення швидкості розвитку нестационарного теплового процесу в матеріалі до швидкості розвитку нестационарного теплового процесу в теплоносії. Швидкість розвитку нестационарного теплового

процесу - це здатність частинок матеріалу при нагріванні або схолодженні вирівнювати температуру в окремих його місцях.

Окрім того, введені такі означення:

$$\nu = \frac{\nu(t, \tau) - \nu_0}{t_0 - \nu_0}; \quad Pd_1 = \frac{\kappa_1 R^2}{a}; \quad Pd_2 = \frac{\kappa_2 R^2}{a}; \quad /9/$$

$$Pd_2^* = \frac{\kappa_2 \tau^2}{a}; \quad \tau^* = \tau/R$$

Для того, щоб в процесі сушки посівні якості насіння не знижувались, необхідно, аби температура насіння в процесі сушки не перевищувала гранично допустиму температуру нагріва насіння. Із виразу для безрозмірної температури /9/ можна отримати вираз для визначення початкової температури сушильного агента t_0 якщо підставити замість $\nu(t, \tau)$ гранично допустиму температуру нагріва насіння $t_{2.a}$:

$$t_0 = \frac{t_{2.a} - \nu_0 + \nu \nu_0}{\nu} \quad /10/$$

де ν - безрозмірна відносна температура матеріала, яка визначається рівнянням /7/.

Основні величини, які входять в рівняння /7/, залежать від початкової вологості матеріала, його температури, кількості, часу проходження через сушильний барабан /залежить від швидкості обертання барабана/. Знаючи ці залежності можна визначити початкову температуру сушильного агента. Саме початкова температура сушильного агента є найбільш значимим фактором процесу сушки насінневого вороху в барабанній сумарці і вірний вибір цієї температури дозволяє, з одного боку, проводити процес сушки найбільш економічним шляхом /з найбільш можливим термічним к.к.д./, а з іншого боку, не допустити зниження посівних якостей насінневого матеріалу.

В третій главі "Експериментальні дослідження" наведені програмні питання, описано експериментальне обладнання, викладені методики, які реалізовані в процесі експериментів.

Програмою експериментальних досліджень передбачалося: визначення гранично допустимої температури нагрівання насіння в залежності від їх початкової вологості і експозиції сушки; визначення основних фізико-технологічних і теплофізичних властивостей насінневого вороху люцерни; визначення інтенсивності теплообміну при сушінні вороху; визначення часу проходження матеріалу через барабан; визначення швидкості сушіння матеріалу і інтенсивності негативних внутрішніх джерел теплоти; визначення за-

лежності критеріїв від параметрів процесу і залежності початкової температури сушильного агента від початкової вологості матеріалу та швидкості обертання барабана.

В основу досліджень по вивченню термостійкості насіння була покладена методика, яку розробили А.І.Ворошилов та Г.С.Окунь. Залежність гранично допустимої температури нагріву від початкової вологості матеріалу і експозиції нагрівання визначили для чистого насіння і насіння в бобах. Умови проведення дослідів задавали матрицею планування експериментів типу 5^2 . Початкова вологість матеріалу змінювалася від 30% до 50%, а час нагрівання від 10 до 30 хв. Перевірка значимості коефіцієнтів отриманого рівняння регресії проводилася за критерієм Ст'юдента. Для насіння в бобах отриманий такий вираз для гранично допустимої температури в залежності від початкової вологості матеріалу W_n і часу нагрівання τ /:

$$t_{2,d} = 0,0005(944 - \tau)^2 + 0,05(84,3 - W_n)^2 + 41,5 \quad /II/$$

Адекватність рівняння регресії експериментальним даним визначали за критерієм Фішера. Дане рівняння адекватне експериментальним даним в рівнем значимості 0,05.

При дослідженні фізико-технологічних та теплофізичних властивостей насінневого вороху були визначені: фракційний склад вороху; об'ємна маса вороху і щільність його компонентів; залежність середньої температури самонагрівання вороху від часу та його початкової вологості; аеродинамічні властивості вороху; теплофізичні характеристики складових частин вороху.

При дослідженні теплофізичних характеристик вороху визначались його теплоємність C [Дж/кг $^{\circ}$ С], температуропровідність a [м 2 /с] і теплопровідність λ [Вт/м $^{\circ}$ С].

Для визначення теплофізичних характеристик використовували методику, яку розробили А.В.Вержинська та Л.Н.Новіченко. Метод базується на використанні законів мірностей нестационарного нагріву двох напівобмежених стержнів, в місці дотику яких розташовано джерело теплоти постійної потужності.

Залежність величин a , λ і C від початкової вологості матеріалу W_n визначається залежностями:

$$a = 1,405 \cdot 10^{-9} \cdot W_n^{-0,00847}$$

/I2/

$$\lambda = 0,0706 \cdot W_n^{0,246} \quad /13/$$

$$C = 5,8 \cdot 10^4 \cdot W_n^{0,787} \quad /14/$$

Для вивчення процесу сушки вороху в пневмобарабанній сушарці була виготовлена лабораторна установка, схема якої наведена на рис. I. Основний конструктивний елемент лабораторної установки - сушильний барабан був подібний до сушильного барабану пневмобарабанної сушарки АВМ-0,65 і зроблений в масштабі 1:5 по відношенню до дійсного барабана.

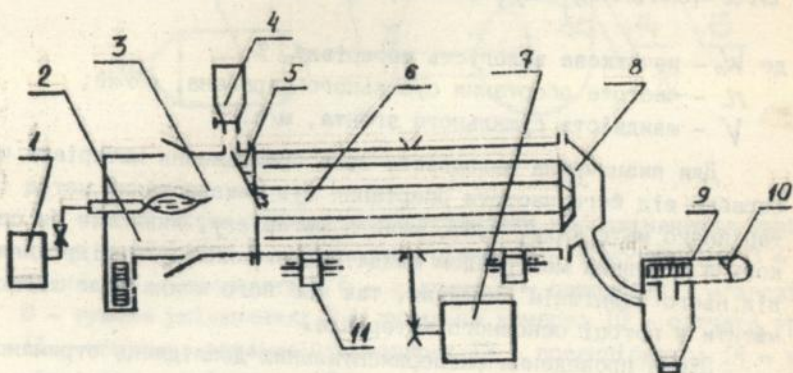


Рис. I. Схема лабораторної установки для вивчення процесу сушки. I - паливна апаратура; 2 - теплогенератор; 3 - камера змішування; 4 - завантажувальний бункер; 5 - направляючий жолоб; 6 - трьохходовий сушильний барабан; 7 - приводна станція; 8 - вивантажувальний конус; 9 - відокремлюючий циклон; 10 - регулююча заслонка; 11 - опорні ролики; 12 - термопари.

На цій лабораторній установці визначалась, зокрема, залежність коефіцієнта теплообміну від режимних параметрів процесу - початкової вологості матеріалу, швидкості обертання сушильного барабана, швидкості сушильного агента. Режимні параметри на лабораторній установці були підібрані таким чином, що критерії Re і Nu були однекові як на лабораторній установці, так і в реальній сушарці.

В результаті проведених експериментальних досліджень було отримано емпіричне рівняння для визначення коефіцієнта теплообміну:

$$\ln d = (231 \ln W_n) \cdot \exp(-0,2 \ln W_n) - 0,5 \exp(-0,35 n) + 0,003 V, /15/$$

де W_n - початкова вологість матеріалу, %;

n - частота обертання сушильного барабана, об/хв;

V - швидкість сушильного агента, м/с.

Для визначення залежності часу проходження матеріала через барабан від його частоти обертання був використаний метод імітаційного матеріалу, тобто такого матеріалу, який мав би однакову з основним матеріалом швидкість витання, але відрізнявся від нього зовнішнім виглядом, так щоб його можна було легко помітити в потоці основного матеріала.

Після проведення експериментальних досліджень отримано рівняння регресії для визначення часу перебування матеріалу в залежності від швидкості обертання барабана:

$$\tau = 2744 \exp(-2,19 n), /16/$$

де τ - час перебування матеріалу в сушарці, с;

n - швидкість обертання барабана, 1/с.

При цьому індекс детермінації складав $\eta_{\tau n}^2 = 0,945$.

Для визначення змінювання інтенсивності негативних внутрішніх джерел теплоти були проведені досліді по визначенню швид-

кості сушки матеріалу на експериментальній установці, схема якої наведена на рис. 2.

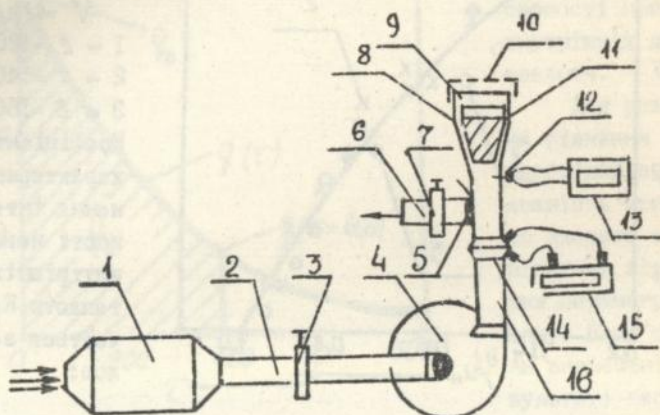


Рис. 2. Схема лабораторної установки для визначення швидкості сушки матеріалу. 1 - повітрянагрівач; 2 - трубопровід; 3 - заслінка; 4 - вентилятор; 5 - клапан; 6 - патрубок; 7 - заслінка; 8 - гумове ущільнення; 9 - сушильна камера; 10 - сітчаста кришка; 11 - конусна вставка [2 термопара; 12 - потенціометр; 13 - вимірвальна діафрагма; 14 - тягонапомір; 15 - тягонапомір; 16 - трубопровід.

Досліди проводили при початковій вологості матеріалу $W_n = 55\%$ / $U_n = 1,22$ кг/кг/, швидкість повітря була 2; 4 і 6 м/с, а його температура - 120; 140 і 160°C. Після обробітку дослідних даних були побудовані криві сушки матеріалу, визначені математичні вирази для їх опису. Була проведена обробка дослідних даних за методом В.В.Красникова і побудована узагальнена крива сушки, яка приведена на рис. 3; а також отримано математичний вираз для її опису:

$$\frac{N\tau}{U_n} = 0,4 + 0,18\left(\frac{U}{U_n}\right) - 0,55\left(\frac{U}{U_n}\right)^2, \quad (7.1)$$

де N - швидкість сушки в першому періоді;

τ - час сушки;

U_n - початковий вологовміст матеріалу;

U - поточний вологовміст матеріалу.

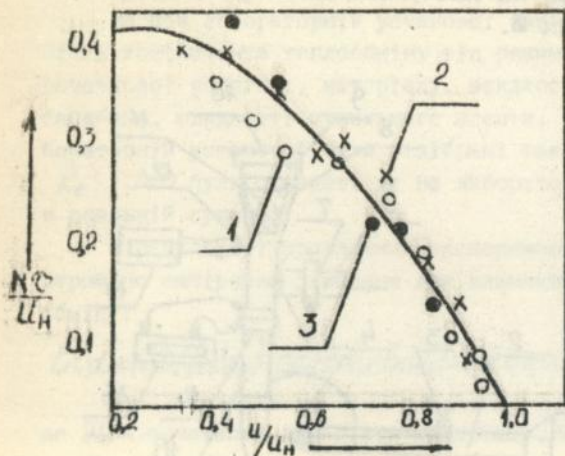


Рис. 3. Узагальнена крива сушки бобів люцерни.

$$V = 4 \text{ м/с};$$

$$1 - t = 120^\circ\text{C};$$

$$2 - t = 140^\circ\text{C};$$

$$3 - t = 160^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт, який характеризує змінення інтенсивності негативних внутрішніх джерел теплоти K_1 визначається за формулою:

$$K_1 = \frac{\ln \frac{u_{c1}/u_{c2}}{\tau_2 - \tau_1}}{\tau_2 - \tau_1} \quad \text{ЛВ/}$$

де u_{c1} і u_{c2} - вологовміст матеріалу в процесі сушки відповідно в момент часу τ_1 і τ_2 .

Зв'язок між початковою q_0 , поточною q_x і сумарною q_x інтенсивностями негативних внутрішніх джерел теплоти представлено на рис. 4, а залежність між q_x і q_0 визначається співвідношенням:

$$q_x = \int_0^{\tau_x} q_0 \exp(-k_1 \tau) d\tau = \frac{q_0}{k_1} [1 - \exp(-k_1 \tau)], \quad \text{ЛГ/}$$

де τ_x - час кінця сушки.

В результаті експериментальних досліджень були отримані емпіричні залежності для K_1 і q_0 від режимних параметрів процесу:

$$K_1 = (0,05 t_0 - 4,304) \cdot 10^{-3} \quad \text{ЛД/}$$

$$q_0 = 0,658 \cdot 10^{-10} \cdot W_H^{2,822} \cdot t_0^{1,919} \cdot n^{1,044} \quad \text{ЛЕ/}$$

де t_0 - початкова температура сушильного агента;
 W_H - початкова вологість матеріалу;
 n - швидкість обертання сушильного барабану.

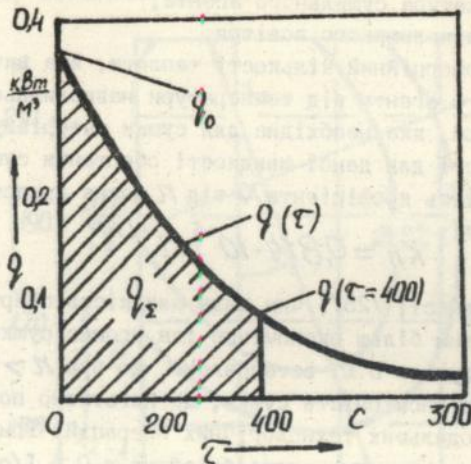


Рис. 4. Взаємозв'язок початкової q_0 , поточної $q(\tau)$ і сумарної q_2 інтенсивності негативних внутрішніх джерел теплоти.

Для розв'язання рівняння /9/ необхідно знати залежність критеріїв, що входять в це рівняння від режимних параметрів процесу. Вони також були визначені в результаті експериментальних досліджень.

В рівнянні /9/ шукана величина t_0 представлена в неявному вигляді. Рішення рівняння проводилося на ЕОМ IBM PC/AT-386. Рішення отримано для $\tau_0 = 15^\circ\text{C}$ як найбільш вірогідної для періоду збирання насіння люцери. Рівняння /9/ було вирішено для кожної пари W_n і n , причому n змінювалось від 0,25 до 0,75 1/с з інтервалом 0,1 1/с і W_n змінювалось від 25% до 60% з інтервалом в 5%. Отримані значення початкової температури сушильного агента t_0 в залежності від початкової вологості матеріалу W_n і швидкості обертання сушильного барабана n можна представити у вигляді емпіричної залежності:

$$t_0 \approx 31,47 \cdot n^{-0,159} \cdot W_n^{0,401} \quad /22/$$

Для оцінки режимів з різною швидкістю обертання сушильного барабана був введений коефіцієнт витрати теплоти

$$K_n = \frac{t_0 \tau}{\eta_t}, \quad /23/$$

де t_0 - початкова температура сушильного агента;

τ - час проходження матеріалу через сушарку;

η_t - термічний к.к.д. сушарки, який визначається за формулою:

$$\eta_t = \frac{t_0 - t_2}{t_0 - \tau_0}, \quad /24/$$

де t_2 - кінцева температура сушильного агента;

t_2^0 - температура навколишнього повітря.

Коефіцієнт K_n пропорційний кількості теплоти, яка витрачена на нагрів сушильного агента від температури навколишнього середовища до температури, яка необхідна для сушки матеріалу певної початкової вологості для даної швидкості обертання сушильного барабана. Залежність коефіцієнта K_n від n можна представити у вигляді залежності:

$$K_n = 0,814 \cdot 10^{-5} \cdot n^{-1,107} \quad /25/$$

Як видно із залежності /25/, чим вище швидкість обертання сушильного барабана, тим більш економічно іде процес сушки.

Дослідженнями Валушиса В.Ю. встановлено, що при $n > 0,5$ І/с різко підвищується нерівномірність сушки, що негативно позначається на проведенні подальших технологічних операцій. Тому оптимальною швидкістю обертання сушильного барабана є 0,5 І/с.

В четвертій главі "Оптимізація процесу сушки і його виробнича перевірка" наведені результати по оптимізації процесу сушки, результати виробничої перевірки і показники економічної ефективності сушки насінневого вроху люцерни на модернізованій сушарці АВМ-0,65.

Для знаходження оптимальних параметрів сушки використовували дані лабораторно-господарських досліджень, які були проведені на модернізованому агрегаті АВМ-0,65. За критерій оптимізації була вибрана кінцева вологість матеріалу. Було отримано рівняння регресії в кодованих факторах:

$$Y = 2,1915 + 3,457X_1 - 2,787X_2 + 1,619X_3 + 1,84X_1^2 + 0,65X_1X_2 + 0,1X_1X_3 + 11X_2^2 - 0,05X_2X_3 + 0,93X_3^2, \quad /26/$$

де Y - кінцева вологість матеріалу;

X_1 - швидкість обертання сушильного барабана;

X_2 - початкова температура сушильного агента;

X_3 - початкова вологість матеріалу.

Проведений аналіз рівняння регресії показав, що воно адекватно дослідним даним для 5% рівня значимості. Аналіз отриманого рівняння регресії проводився за допомогою двовірних перерізів.

Один із таких перерізів, що побудований для випадка $X_n = 0 / W_n$ 50%/ показаний на рис. 5.

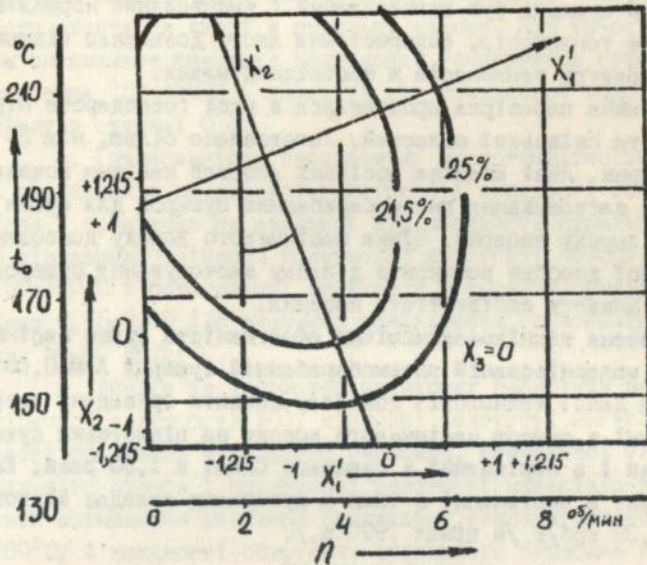


Рис. 5. Переріз поверхні відгуку для кінцевої вологості матеріалу при $W_n = 50\%$.

Оптимальна кінцева вологість матеріалу $W_k = 21,5-25\%$. Саме з такою вологістю матеріал повинен поступати для виконання наступної технологічної операції – витирання насіння.

Як було показано раніше, оптимальною швидкістю обертання сушильного барабана з точки зору витрат енергії і одержання високоякісного продукту, є швидкість $n = 0,5$ 1/с. При цьому згідно рис. 10 оптимальна початкова температура сушильного агента знаходиться в межах $t_0 = 155-175^\circ\text{C}$. Таким чином найбільш оптимальною швидкістю обертання сушильного барабана є $n = 0,5$ 1/с. При цьому початкова температура сушильного агента визначається в залежності від початкової вологості за формулою:

$$t_0 = 34,65 \cdot W_n^{0,401} \quad /27/$$

Потрібно відзначити, що у всіх випадках при проведенні лабораторно-господарських випробувань проводився відбір насіння після сушки для визначення їх посівних якостей. Після проведеного аналізу виявилось, що при оптимальних значеннях режимних параметрів посівні якості насіння не зменшувалися.

Для практичної реалізації процесу сушки насіннєвого вороху на серійній сушарці був виготовлений і змонтований нормалізатор температури теплоносія, використання якого дозволило підтримувати температуру теплоносія в необхідних межах.

Виробнича перевірка проводилася в ряді господарств Кіровоградської та Київської областей. Заготовлено більш, ніж 30 т насіння люцерни. Дані аналіза посівних якостей насіння показали можливість застосування пневмобарабаних сушарок для сушки насіннєвого вороху люцерни. Сушка насіннєвого вороху дозволяє після незначної доробки розширити ділянку застосування сушарок АВМ-0,65, знизити собівартість насіння.

Визначена техніко-економічна ефективність сушки насіннєвого вороху на модернізованій пневмобарабанній сушарці АВМ-0,65. Застосування даної технології дозволяє знизити приведені витрати в порівнянні з сушкою насіннєвого вороху на підлогових сушарках в 1,16 рази і в порівнянні з сушаркою СКМ-1 в 1,90 рази. Економічний ефект в порівнянні з тими ж сушарками складає відповідно 7,20 і 39,39 крб/т /в цінах 1990 р./.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Проведені теоретичні і експериментальні дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. Комбайнове збирання насінників трав супроводжується значними втратами насіння, особливо при несприятливих погодних умовах. Широке застосування стаціонарних засобів збирання, які дозволяють знизити втрати насіння, можливе при застосуванні високпродуктивних сушильних агрегатів продуктивністю 1000-2000 кг/г по випареній волозі після їх незначної доробки.

2. Отримана аналітична залежність τ / для визначення розподілення температурного поля в матеріалі яка дозволяє зробити висновок, що основними факторами які впливають на температуру матеріалу є початкова температура сушильного агента, властивості матеріалу, характер теплообміну між сушильним агентом і матеріалом та час перебування матеріалу в сушарці.

3. Отримана емпірична залежність t_{II} / гранично допустимої температури нагріва насіння в бобах від їх початкової вологості і експозиції нагріва яка дозволяє якісно проаналізувати і кількісно оцінити величину гранично допустимої температури нагріва. В досліджуваних діапазонах ця величина складала 48-60°C, причому

для чистого насіння ця величина на 10°C нижче.

4. Посівні якості насіння і енергетичні показники процесу сушки в значній мірі визначаються величиною температури сушильного агента на вході в сушильну камеру. Для трьохходового барабана оптимальне значення початкової температури сушильного агента дорівнює $150\text{--}180^{\circ}\text{C}$ і залежить від початкової вологості матеріалу в ступені 0,4.

5. Інтенсивність теплообміну експоненційно збільшується з підвищенням початкової вологості і швидкості обертання барабана і практично не залежить від швидкості сушильного агента. В діапазонах змінення початкової вологості $45\text{--}60\%$, температури $150\text{--}180^{\circ}\text{C}$ і оптимальної швидкості обертання сушильного барабана $0,45\text{--}0,55$ л/с значення коефіцієнта теплообміна лежить в межах $50\text{--}80$ Вт/кг $^{\circ}\text{C}$.

6. Аналіз за допомогою двумірних перерізів отриманої емпіричної залежності $f(\delta)$ кінцевої вологості матеріалу від швидкості обертання сушильного барабана, початкової температури сушильного агента і початкової вологості матеріалу дозволяє визначити оптимальне значення початкової температури теплоносія $/150\text{--}180^{\circ}\text{C}/$ і швидкості обертання сушильного барабана $/0,45\text{--}0,55$ л/с/ для отримання готового продукту з вологістю $21,5\text{--}25\%$ яка необхідна для успішного проведення наступної за сушкою технологічної операції – витирання бороху.

7. Для кількісної енергетичної оцінки режимів сушки з рівном початковою вологістю матеріалу які потребують змінення швидкості обертання сушильного барабана, введено коефіцієнт витрати теплоти; аналізом залежності цього коефіцієнта від швидкості обертання барабана визначено, що теплова економічність процесу підвищується із збільшенням швидкості обертання барабана.

8. В результаті експериментальних досліджень в широкому діапазоні змінення режимів сушки виявлена інваріантність комплексу $N\tau/U_n$ від параметрів процесу, що дало змогу узагальнити всі режими сушки у вигляді єдиної кривої і апроксимувати її аналітичною залежністю.

9. Технічні рішення по вдосконаленню робочих органів обладнання для сушки насінневого бороху які реалізовані у виробництві, захищені авторським свідоцтвом на винахід /а.с. СРСР № 1631914/. Економічна ефективність від впровадження вдосконаленої технології і устаткування, що її реалізує, склала 160 тис. крб./рік на один

комплект устаткування / в цінах 1990 року/.

Основні положення дисертації викладені в таких роботах:

1. Спірін А.В., Шидловський Ю.М. Сушка насінневого вороху люцерни на сушарці АВМ-0,65. Тези доп. Всесоюз. наук.-техн. конф. /Проблеми механізації сільськогосподарського виробництва/ /на рос. мові/ Москва, 1985.- С.84.

2. Спірін А.В., Шидловський Ю.М. Застосування агрегата АВМ-0,65 для сушки насінневого вороху люцерни /Інформаційний листок Житомирського ЦНПІ/ /на рос. мові/ Житомир, 1987.

3. Спірін А.В. Теоретичне визначення температури нагріву бобів люцерни при сушці вороху на пневмобарабанній сушарці. Тез. доп. обл. наук.-вироб. конф. /Наука виробництву/ /на рос. мові/ Житомир, 1989. С.78.

4. А.с. № ІГ²1914, СРСР, МКІ АОІ F 29/00. Пристрій для подачі листостеблевого матеріала /Спірін А.В., Ткач В.В., Шидловський Ю.М. та ін./ /на рос. мові/.

5. Спірін А.В. Визначення гранично допустимої температури нагріву насіння. Тези наук.-вироб. конф. /Агропромислового комплексу Полісся - наукове забезпечення/ /на рос. мові/ Житомир, 1990.- С.152.

463414

AB 28.275

AB 28.275