

Influence of the parameters of environment on drying of grain

Igor Gaponyuk

National University of food technologies, Kyiv, Ukraine

ABSTRACT

Keywords:

Grain
Humidity
Warmth
Diffusion
Moisture

Article history:

Received 02.06.2013
Received in revised form
15.07.2013
Accepted 26.09.2013

Corresponding author:

Igor Gaponyuk
E-mail:
igor@nuft.edu.ua

Introduction. While processing grain 85% of the energy is consumed for drying. Pressing issue is the reduction energy consumption and improve productivity of drying aggregates. Heat efficiency coefficient in the dryer varies from 0.3 to 0.7. The parameters of environment during the period of drying are changed: the temperature of air changes from -10 to +45°C, and his dryness – from 2 to 16 g/kg dry air. The parameters of layer of grain change too. It substantially influence on the modes and power-hungriness of drying.

Materials and methods. Experimental investigation of drying corn is made on the existing grain drying installation DSP-32ot.

Results. Influence of parameters of environment by drying of grain is defined. The recommendation for improvement of the modes of drying is justified for different seasonal character of dryers work. For different tasks of quality of drying, specific expenses of the energy of drying, speed of drying and providing of ecological requirements, we t justified individual modes and methods. The technological solutions provide less expenses of the energy on 25 - 35 %, the large productivity on 35 - 45 %, and less extras of contaminants to environment on 40 - 60 %. The worked out technologies are approved in productive terms on the mine drying aggregates.

Conclusion. Energy consumption for drying grain is reduced by increasing the capacity of the exhaust gases. The research results are recommended for the design and determining modes of mine drying aggregates.

УДК 664.72.047,54:005.591.6

Вплив параметрів довкілля на сушіння зерна

Ігор Гапонюк

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ

Зерно сушать впродовж всього періоду збиральних робіт і цей період охоплює три пори року, за яких суттєво змінюються параметри повітря довкілля і зерна зібраного урожаю. Параметри довкілля можуть змінюватися від 30 – 45 °С, в літню пору року, до мінус 5 – 10 °С, осінньо-зимову. А вологовміст повітря від 2 – 4 г/кг_{с.п.} в холодну пору року, до 12 – 16 г/кг_{с.п.} в теплу.

За питомих витрат робочих газів на сушіння 1 планової тони зерна біля 3,8 т.м³, різниця вологовмісту цих газів у різні пори року становить $3800 \cdot (16 - 2) \cdot 1,24 / 1000 = 66,0$ кг. А це якраз та кількість вологи, що вилучається із однієї планової тони зерна.

Крім зазначеного, існуючими режимами сушіння не враховано вплив різної температури шару зерна, що може змінюватися від 25 – 35 °С, в літню пору, до 0 – (-10) °С, в осінньо-зимову на пошарову в зернині однорідність сушіння.

Для дослідження впливу перемінних факторів впливу температури довкілля та зерна на кількісно-якісні показники перебігу зневоднення малорухомого шару зерна, встановлення залежності вхідних параметрів $PG(t_1, d_1, v_1)$ на вихідні параметри відпрацьованих РГ (температура t_2 , вологовміст d_2 , швидкість v_2), параметри шару зерна (температура θ_2 , вологість W_2 , швидкість сушіння $\frac{\partial W}{\partial \tau}$), нами були виконані дослідження технології сушіння малорухомого шару зерна в різні пори року у виробничих умовах на найбільш розповсюдженій конструкції зерносушильного агрегату типу ДСП-32от.

Відомими дослідженнями вітчизняних та зарубіжних науковців досліджено кінетику сушіння шарів зерна різних станів рухомості, математично описано процеси сушіння в найбільш розповсюджених конструкція сушарок та встановлено явище зростання опору дифузії внутрішньокапілярного переміщення вологи швидкісних способів сушіння зерна [Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С. Зерносушение и зерносушилки – М.:Колос, 1982. – 239 с].

Досліджено особливості кінетики та енергоємності процесу зневоднення нерухомого шару зерна.

Описано явище тепловологопровідності на різних етапах сушіння та різних станів рухомості шару зерна.

Проте, на нашу думку, причина зростання енерговитрат сушіння зерна на основному та завершальному етапах зневоднення математично не узгоджується із кількісним співвідношенням балансу сил внутрішньо капілярної дифузії вологи від 1,2 МДж/1 кг вологи, для зневоднення зернин невеликих за розміром, до 4,5 – 7,0 МДж/1 кг вологи, для зневоднення зернин великих розмірів і наближенням їх відносної вологості до критичного вологовмісту.

Матеріали і методи

Застосовано Матеріали та методи аналітичні, математичні і прикладні.

Технологічну схему сушіння зерна на досліджуваних зерносушарках представлено на рис.1.

В пізню пору року дослідження проводили із зерном кукурудзи, для якого недостатньо досліджено особливості пошарового в зернині та шару зерна тепловологообміну, впливу питомих витрат енергії на пошарову однорідність та потенціал використання робочих газів з урахуванням перемінних параметрів довкілля.

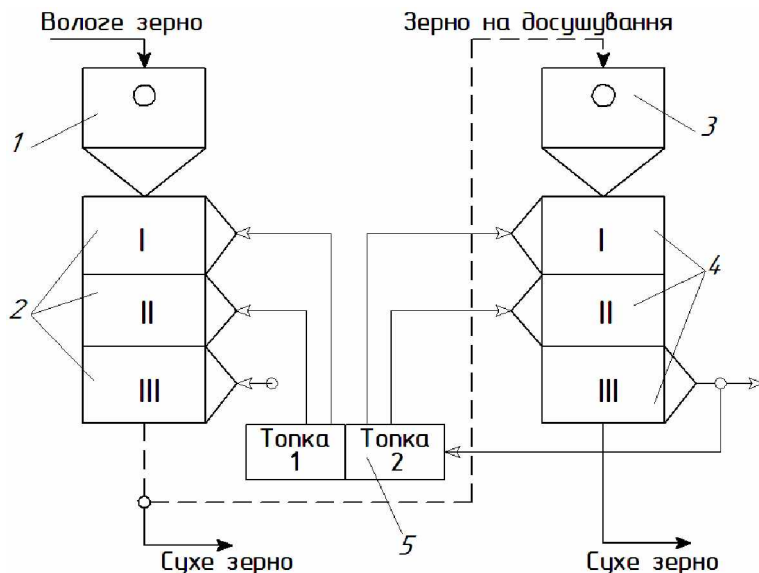


Рис. 1. Технологічна схема сушіння зерна на зерносушильному комплексі ДСП-320Т×2:
1, 3 – надсушильні ємності; 2, 4 – зони зерносушарок; 5 – топкові відділення.

Для проведення цих досліджень тепломасообмінні камери сушарки були оснащені приладами для вимірювання вологості зерна W і його температури θ , а також температури робочих газів t , його вологовмісту d та фіктивних швидкостей течії робочих газів v на вході і виході із шару зерна тепломасообмінної камери.

Заміри параметрів тепломасообміну сушильних установок здійснювали:

термоанемометром ТТМ-2 та термопарами з електронним перетворювачем ТМ-914С – температуру довкілля t_0 (°С) і вологовміст повітря d_0 (г/кг_{с.п.});

портативним вимірювачем вологи ІВТМ-7 – температуру робочих газів t_1 і t_2 (°С) і атмосферний тиск H (Па);

термометрами лабораторними та термопарами з електронним перетворювачем ТМ-914С – температуру зерна до θ_0 (°С) та після сушильних камер θ_1 ;

експрес-аналізатором “Wile DIGITAL-55” (Calibrated 156, 552904) – вологість зерна до W_0 (%) та після сушильних камер W_1 (%);

в сушильній шафі СЕШ-3 - контрольні заміри вологості зерна;

регулятором зерносушарки КЕП - продуктивність сушарки (витрати зерна);

платформовими тензOMETричними вагами - контрольні заміри ваги зразків зерна;

автоматичним комплексом зерносушарки (блок управління «Альфа-М» із датчиками термоопору), лабораторними термометрами «Промел» та термопарами з електронним перетворювачем ТМ-914С – температуру робочих газів на вході t_1 (°С) й виході із сушильної зони t_2 (°С), а також по сушильних і охолоджувальній зонах;

термоанемометром ТТМ-2 та портативним вимірювачем вологи і температури газів ІВТМ-7) – швидкість течії робочих газів v (м/с), а також вологовміст робочих газів на вході d_0 (г/кг_{с.п.}) та виході з зерносушильної зони d_1 та по сушильних і охолоджувальній зонах;

термоанемометром ТТМ-2 та мановакууметром цифровим ММЦ-200 з трубками напірними конструкції НДЮГАЗ і ПИТО – швидкість руху відпрацьованих робочих газів у газовідвідних коробах сушильних і охолоджувальній зонах сушарки v_2 (м/с);

на розбірній дошці й набором сит – вміст зернової та смітної домішок зерна, пошкодження та тріщинуватість зерен.

Розрахунковим способом встановлювали:

питомі витрати теплоносія q із співвідношення продуктивності робочих газів L до продуктивності сушарки $G(q = L/G)$, кг/кг;

питомі витрати теплоти на нагрівання та сушіння зерна, q (Дж/(кг·°C) та Дж/(кг·%);

показники ККД сушарки, %.

Дослідження кінетики процесу сушіння здійснювали із двома партіями зерна кукурудзи різної вологості і температури № 1 (об'ємна маса 755 кг/м^3 , $W=27,5\%$, $\theta=23^\circ\text{C}$) та № 2 (об'ємна маса – 760 кг/м^3 , $W=24\%$, $\theta=11^\circ\text{C}$).

Температура повітря довколишнього середовища впродовж досліджень змінювалась:

у вересні – жовтні від 16°C , на 18^{00} годину, до 12°C , на 23^{00} ;

у січні від 2°C , на 8^{00} ранку, до 3°C , із 9^{30} до 15^{30} .

Вологовміст повітря довкілля d_0 (г/кг_{с.п.}) впродовж досліджень змінювався:

від $10,4 \text{ г/кг}_{\text{с.п.}}$ до $8,5 \text{ г/кг}_{\text{с.п.}}$ – у вересні;

від $5,9 \text{ г/кг}_{\text{с.п.}}$ ($\varphi = 72\%$) до $6,0 \text{ г/кг}_{\text{с.п.}}$ ($\varphi = 61\%$) – у січні.

Швидкість вітру довкілля в обох випадках не перевищувала 5 м/с .

Вид теплоносія – природний газ.

Для збільшення продуктивності зерносушильного комплексу третю охолоджуючу зону зерносушарки № 1 переведено на сушильну і сушіння зерна здійснювали у всіх трьох сушильних зонах цієї сушарки, а в сушарці № 2 – за традиційною схемою – в двох сушильних камерах [Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна, насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок. Одеса-Київ, 1997.]

Заміри параметрів відпрацьованого сушильного агента (температура, вологовміст, швидкість течії) здійснювали у газовідвідних коробах кожного ряду (15 коробів в 1 ряді) по всім секціям (3 ряди секцій – в першій сушильній зоні, по два – в другій та третій).

Температуру та вологість зерна також визначали по кожній із сушильних зон з інтервалом замірів 50 хв. (за виключенням перших замірів), а також після випускних сушильних бункерів (в місці виведення сухого зерна із сушарки на транспортер ЛТ-100/10).

Автоматизований випускний механізм зерносушильного агрегату КЕП було встановлено на 40 с, імпульс спрацювання механічної засувки встановлено на 2,2 с.

Температурний режим сушіння встановлювали згідно рекомендацій НУХТ (кафедра ТЗПЗ). Тобто температуру робочих газів першої сушильної зони встановлювали такою, щоб кількість підведенаї теплоти цими газами перевищувала розрахунково необхідну для фазових перетворень вологи в периферійних шарах зернин. Температуру робочих газів в другій та третій сушильних зонах встановлювали меншою від першої.

Для досліджуваної виробничої зерносушарки з сушіння зерна кукурудзи вологістю 24% і 28% та температури зерна 11 і 23°C , температура робочих газів першої сушильної зони становила 155 і 165°C відповідно, за фіктивної швидкості течії цих газів $0,55\dots 0,6 \text{ м/с}$. Температуру робочих газів подальших зон сушіння

встановлювали на 13...18 °С меншою від попередньої. Температуру робочих газів сушильної зони після темперування шару зерна в ємності 3 встановлювали на 15...25 °С меншою від температури цих газів першої сушильної зони.

Відповідно до вибраного режиму температуру сушильних газів сушильних зон встановлювали заданим спалюванням в топковому відділенні перемінної кількості теплоносія та узгоджували із температурою цих газів першої сушильної зони. Для наступних сушильних зон після першої, температуру сушильних газів понижували додатковим підмішуванням до них повітря доквілля за допомогою дефлекторів.

Результати та обговорення

У виробничих умовах нами були виконані дослідження теплокінетичної характеристики сушіння зерна різних культур, різних режимів та швидкості течії робочих газів в прямотечійній шахтній зерносушарці ДСП-32от.

На рис. 2, 3, 6 і 7 представлено кінетику сушіння зерна кукурудзи в зимову пору за паспортних параметрів течії робочих газів пронизування малорухомого шару зерна в сушильних і охолоджувальній шахтах зерносушарки ($v=0,43$ м/с), а на рис. 4, 5, 7 і 8 – при уповільненій швидкості течії робочих газів в шахтах зерносушильних агрегатів ($v=0,09$ м/с).

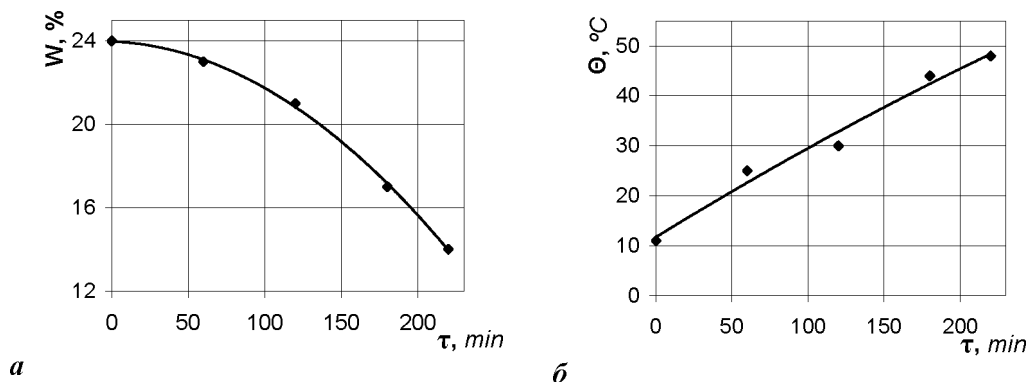


Рис. 2. Зміна вологості (а) та температури (б) зерна за паспортних режимів сушіння

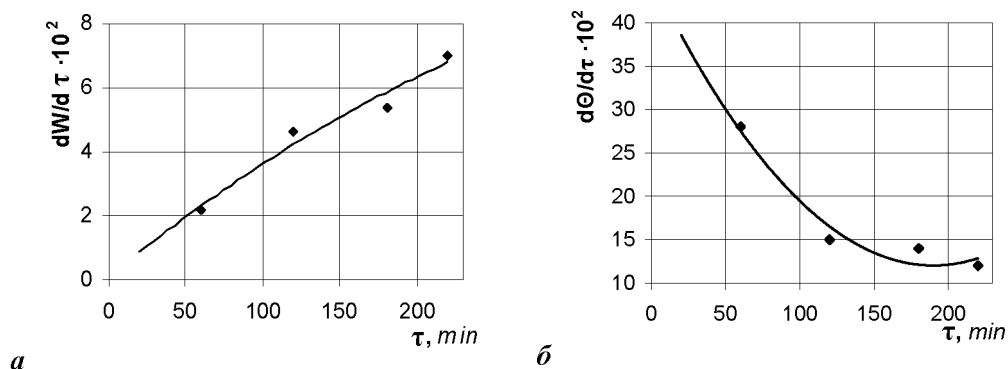


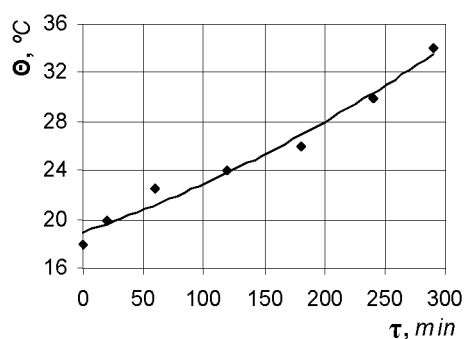
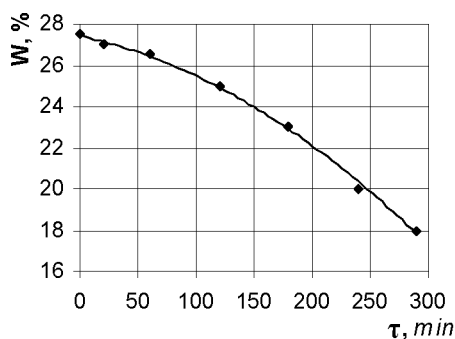
Рис.3. Швидкість зміни вологості (а) та температури (б) зерна за паспортних режимів сушіння

За показниками експрес-аналізатора вологості зерна, що знімали кожні 60 хв. сушіння зерна, та показників лабораторних (контрольних) аналізів, виконуваних в сушильній шафі СЭШ-3, оцінювали достовірність отриманих показників експрес-аналізатора та будували криві сушіння.

Показники експрес-аналізатора, що відрізнялися від контрольних, отриманих лабораторними вимірами, більше від 5 % - вважалися нікчемними, ігнорувалися та повторно замірялися.

Дані експериментальних досліджень у виробничих умовах добре корелюються із теоретичними розрахунками. За показником швидкості сушіння, найбільші її значення отримано в перші 25 – 30 хв., тобто за умов зневоднення вологи поверхневих шарів зернини. Інтенсивність міжфазового вологообміну прямо пов'язана не лише із різницею температур взаємодіючих фаз, а також із швидкістю течії робочих газів

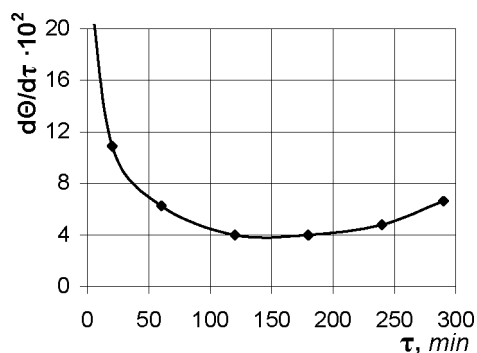
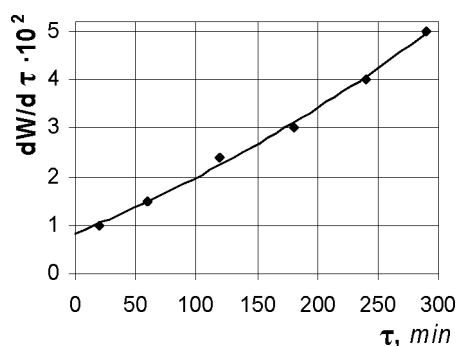
Для сушіння зерна згідно паспортних режимів швидкість зневоднення становила $(6,0 - 6,5) \cdot 10^{-3} \%/\text{хв.}$, а зі зменшенням швидкості робочих газів в 4,8 разів від 0,43 до 0,09 м/с швидкість сушіння зменшувалася в 1,5 рази і становила $(3,0 - 3,5) \cdot 10^{-3} \%/\text{хв.}$



a

б

Рис. 4. Зміна вологості (а) та температури (б) зерна за уповільнених режимів сушіння



a

б

Рис. 5. Швидкість зміни вологості (а) та температури (б) зерна за уповільнених режимів сушіння

В рамках цих досліджень виконано аналіз енерго-ефективності сушіння за величиною невикористаного потенціалу робочих газів.

Параметри відпрацьованих робочих газів (t_2 і d_2) за різних значень швидкості їх течії, перемінних температури ($dT/d\tau$) і вологості фазових середовищ ($dW/d\tau$), градієнтів вологості й температури цих середовищ ($\nabla T \uparrow \downarrow \nabla W$) у виробничих умовах сушіння зерна кукурудзи представлено на рис. 6, 7 і 8.

Із наведених досліджень нами встановлено, що вже на початковому етапі міжфазової взаємодії, за умов зустрічних градієнтів температури і вологи фазових середовищ ($\nabla T \uparrow \downarrow \nabla W$), має місце інтенсивний вологообмін, спостерігається значне пониження температури та підвищення вологовмісту відпрацьованих робочих газів в перетині шару зерна першої сушильної зони.

Тобто на початковому етапі конвективного нагрівання малорухомого шару зерна має місце дифузії вологи від шару зерна до робочих газів.

Отже явище термовологопереміщення для між фазової взаємодії різних за вологістю і температурою фазових середовищ – не спостерігалось.

До цього слід також додати, що на самому початковому етапі нагрівання-сушіння шару зерна відпрацьовані робочі гази мають порівняно найбільші значення відносної вологості (ϕ_2) та найменшої температури (t_2) (фактичні значення залежності 1 перевищують максимально можливі залежності 2 на рис.6 і 7).

За цих умов має місце конденсації крапельної вологи на поверхні тіла зернини та тепловологообмінної камери.

З огляду на доцільність рекуперації теплоти відпрацьованих газів такі гази є найменш придатними, а процес – технологічно і економічно недоцільним.

В подальшому, із поглибленням зони сушіння у внутрішні шари тіла зернин зменшується вологовміст периферійних шарів і одночасно із цим зростає їх температура.

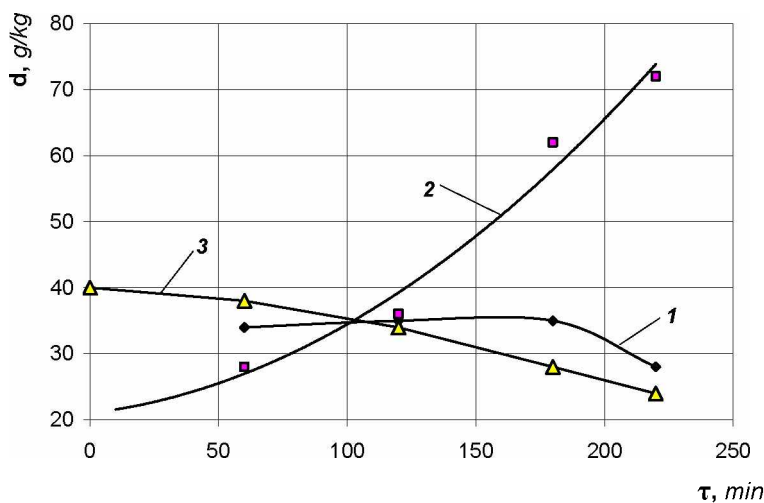


Рис. 6. Зміна параметрів відпрацьованих газів сушарки (зима, кукурудза, $v_{\text{р.г.}}=0,43\text{м/с}$):

- 1 – фактичний вологовміст відпрацьованих газів, $d_{\text{ф}}$;
- 2 – максимально можливий вологовміст відпрацьованих газів $d_{\text{макс}}$;
- 3 – вологість зерна, W .

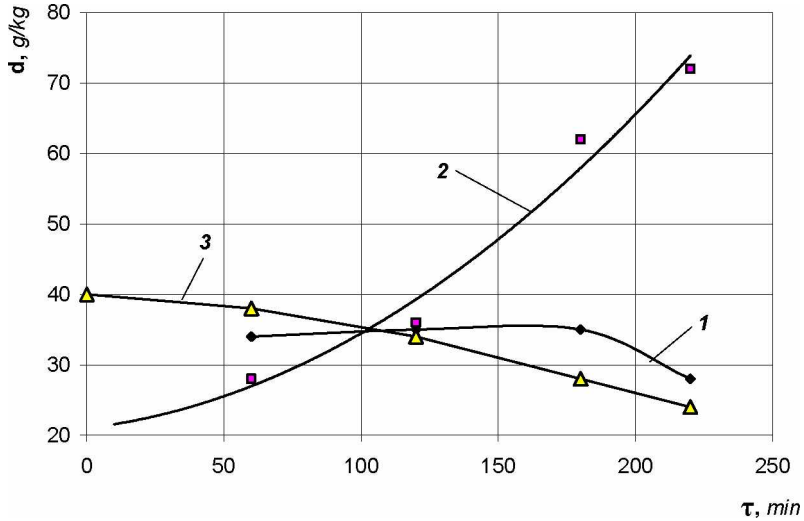
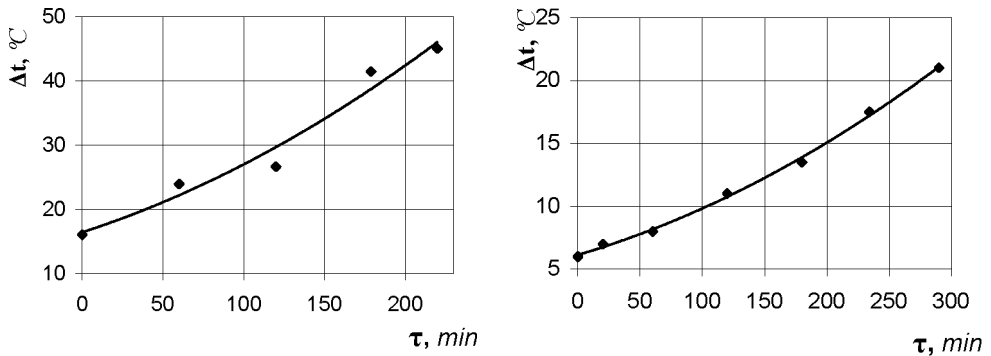


Рис. 7. Зміна параметрів відпрацьованих газів сушарки (осінь, кукурудза, $v_{p.r.}=0,09$ м/с):
 1 – фактичний вологовміст відпрацьованих газів, d_f ;
 2 – максимально можливий вологовміст відпрацьованих газів d_{max} ;
 3 – вологість зерна, W .



а

б

Рис. 9. Перевищення температури відпрацьованих газів над температурою довкілля в зерносушарці ДСП-320т за звичайних (а) та уповільнених (б) режимів сушіння

Температура відпрацьованих робочих газів на цьому етапі поглиблення сушильної зони поступово зростає і ризик конденсації вологи на поверхневих шарах зерна зменшується.

Для встановлення можливості управління критичним вологовмістом і запобігання конденсації крапельної вологи на поверхні зернин, нами були виконані дослідження впливу на ці процеси швидкості течії робочих газів. У виробничих умовах нами встановлено, що із збільшенням фіктивної швидкості течії робочих газів до $v=0,4 \dots 0,48$ м/с вологовміст відпрацьованих газів суттєво, до 50%, зменшується і не перевищує граничних значень (залежність 1 розташована нижче залежності 3

рис.4). А із зменшенням їх швидкості до $v=0,04...0,02$ м/с вологовміст відпрацьованих газів суттєво зростає і може перевищувати граничні значення, що видно із рис. 5, на якому залежність 1 (вологовміст відпрацьованих газів) розташована вище залежності 3 (граничний вологовміст газів за фактичних значень їх температури).

Висновки

1. За зустрічних градієнтів температури і вологи фазових середовищ явище термовологопереміщення, що встановлено Ликовим для різних масоємних капілярно-пористих тіл, для одних і тих же масоємних тіл не спостерігається.
2. Із зростанням температури в шарах тіла зернини зростає енергія вологи в них і переміщення вологи здійснюється в сторону менших значень її енергії.
3. Із поглибленням зони сушіння у внутрішні шари тіла зернини, градієнт енергії вологи в шарах тіла зернини сприяє процесам подальшого зневоднення зернини. Поте градієнт внутрішньо пористого тиску – перешкоджає.
4. За умов перевищення значень енергії пошарового в зернині розрідження над пошаровою вологою, може бути призупинено зневоднення зерна.
5. У пізні періоди зернозбиральних робіт, зі зменшенням температури повітря доквілля на 30 – 40 °С, температури шару зерна на 15 – 30 °С та зростання різниці температур поверхні теплообмінної камери сушарки й шару зерна до 40 °С, зростають енерговитрати з сушіння зерна на 25 – 35 %.
6. Зі зменшенням швидкості робочих газів в 4,8 разів (від 0,43 до 0,09 м/с) швидкість сушіння зменшується в 1,5 рази, одночасно із цим потенціал робочих газів на основному та завершальних етапах сушіння використовується краще. Поте на початковому етапі між фазовою взаємодією, за таких зменшених швидкостей течії робочих газів, може спостерігатися крапельна конденсація вологи..
7. Для збільшення рушійного потенціалу сушіння зерна на етапі поглиблення зони сушіння у внутрішні шари тіла зернини, у виробничій практиці застосовують висхідні режими сушіння, підвищенням температури робочих газів, та відлежування зерна. Обидва технологічних способи є економічно невиправданими, як такі, що не відображають сутності зростання опору дифузії вологи із внутрішніх – до поверхневих шарів тіла зернини.
8. Для зменшення опору дифузії вологи на основному та завершальних етапах сушіння доцільно застосовувати технологічний спосіб вирівнювання внутрішньо капілярного тиску в порах тіла зернини. Цей спосіб, порівняно із способом зменшення різниці вологовмісту в шарах зернини відлежуванням шару зерна, є в 3 – 5 разів менш тривалим.
9. Застосування низхідних кілька ступеневих режимів малорухомого шару капілярно-пористих колоїдних тіл є енергоощаднішим, порівняно із традиційним, та менш тривалим;
10. Тепло відпрацьованих робочих газів доцільно використовувати на основному та завершальному етапах сушіння малорухомого шару зерна в шахтних зерносушильних агрегатах, а на початковому – не доцільно.
11. Для запобігання конденсації крапельної вологи на поверхні тіла зернини й тепловологообмінної камери першої сушильної зони шатного зерносушильного агрегату доцільно збільшувати швидкість течії робочих газів на 25 – 30 % порівняно із швидкістю інших сушильних зон.

Література

1. Остапчук М.В. Энергетичний та екологічний аналіз зерносушарок / *Зерно і хліб*, 2005, № 4. – с.29-30.
2. Малин Н.И. Энергосберегающая сушка зерна. – М.: Колос, 2004. – 240с.
3. Digvir S. Jayas, Noel D.G. Storage and drying of grain in Canada: low cost approaches / *Food Control*, Vol. 14, Issue 4, 2003, Pp. 255-261
4. V.K. Srivastava, J. John Deep bed grain drying modeling / *Energy Conversion and Management*, Vol. 43, Issue 13, 2002, Pp. 1689-1708
5. Chuanping Liu, Li Wang, Ping Wu, Fei Xiang. Size distribution in gas vibration bed and its application on grain drying // *Powder Technology*, Vol. 221, 2012, Pp. 192-198
6. Magdalena Zielinska, Stefan Cenkowski. Superheated steam drying characteristic and moisture diffusivity of distillers' wet grains and condensed distillers' solubles / *Journal of Food Engineering*, Vol. 109, Is. 3, 2012, Pp. 627-634
7. Andrea N. Calzetta Resio, Roberto J. Aguerre, Constantino Suarez Drying characteristics of amaranth grain / *Journal of Food Engineering*, Vol. 65, Is. 2, 2004, Pp. 197-203
8. Zhongwei Tang, Stefan Cenkowski, Marta Izydorczyk. Thin-layer drying of spent grains in superheated steam / *Journal of Food Engineering*, Vol. 67, Is. 4, 2005, Pp. 457-465
9. Yoshio Nishiyama, Wei Cao, Baoming Li. Grain intermittent drying characteristics analyzed by a simplified model / *Journal of Food Engineering*, Vol. 76, Is. 3, 2006, Pp. 272-279
10. Cherevko O., Kiptela L., Zagorulko A., Borysova A. IR-drying of non-traditional plant raw material / *Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies*, Vol. 2, Is.1, Pp.65-67.

References

1. Ostapchuk M.V. (2005), Enerhetychnyi ta ekolohichnyi analiz zemosusharok, *Zerno i khlib*, 4, s.29-30.
2. Malin N.I. (2004), *Energoberegayushchaya sushka zerna*, Kolos, Moscow.
3. Digvir S. Jayas., Noel D.G. (2003), Storage and drying of grain in Canada: low cost approaches, *Food Control*, 14(4), pp. 255-261.
4. V.K. Srivastava, J. John. (2002), Deep bed grain drying modeling, *Energy Conversion and Management*, 43(13), pp.1689-1708.
5. Chuanping Liu., Li Wang, Ping Wu, Fei Xiang. (2012), Size distribution in gas vibration bed and its application on grain drying, *Powder Technology*, 221, pp. 192-198.
6. Magdalena Zielinska, Stefan Cenkowski. (2012), Superheated steam drying characteristic and moisture diffusivity of distillers' wet grains and condensed distillers' soluble, *Journal of Food Engineering*, 109(3), pp.627-634.
7. Andrea N. Calzetta Resio, Roberto J. Aguerre, (2004), Constantino Suarez Drying characteristics of amaranth grain, *Journal of Food Engineering*, 65(2), pp. 197-203.
8. Zhongwei Tang., Stefan Cenkowski, Marta Izydorczyk. (2005), Thin-layer drying of spent grains in superheated steam, *Journal of Food Engineering*, 67(4), pp. 457-465.
9. Yoshio Nishiyama, Wei Cao, Baoming Li. (2006), Grain intermittent drying characteristics analyzed by a simplified model, *Journal of Food Engineering*, 76(3), pp. 272-279.
10. Cherevko O., Kiptela L., Zagorulko A., Borysova A. (2013), IR-drying of non-traditional plant raw material, *Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies*, 2(1), pp. 65-67.