

Специфични особености при моделирането на нискотемпературно сушене на зърно в дебел слой

Владимир Демирев, Божидар Колев, Радко Михайлов

Specific peculiarities in the modelling of low temperature grain drying in thick layer. Modeling of drying processes there are cognitive in nature, saves time and money. On drying of grain in a thick layer warm and mass exchange processes are in a complex correlation and this makes it difficult to obtain accurate and stable model results. In this work are exposed part of the reasons for the difficulty and uncertainty of modelling. It is to conclude that this stage in the detailed modelling is possible significant deviations from the actual values of the heat. It is possible checking obtained values by the help of simple formulas. That way we are preventing some possible mistakes and inaccuracies in the model.

Key words: drying, crop, thick layer, modelling

ВЪВЕДЕНИЕ

Емпиричното изследване на сушилни процеси е свързано със скъпа и сложна техника, продължителност на експериментите, сезонност или непреодолими трудности за провеждането им. С развитието на изчислителната техника и при наличието на богатата база аналитични и експериментални данни, симулационното моделиране на сушенето се превърна в незаменим инструмент на изследователи, конструктори и технолози.

В резултат на труда на редица от тях, през последните няколко десетилетия се формираха стройни хипотези за миграция на влагата в и около сушените материали, което доведе до създаването на точни математични модели на поведение при сушене [6, 7, 10, 11], с успех прилагани в широк кръг сфери. Независимо от постигнатите резултати трябва да се отчете, че при моделиране сушенето на зърно в дебел слой елементарните топло- и масообменни процеси са в сложна взаимнообвързаност и, ако се приложат сравнително точните тънкослойни сушилни модели се постигат двусмислени резултати. Наред с общите въпроси при моделирането по стъпки (като дискретизацията на интервалите, например), при сушилните модели се явяват въпроси, свързани със спецификата на сушилните величини и процеси.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Обект на настоящата работа е нискотемпературното сушене на зърно в дебел слой и разбира се, моделирането на процеса.

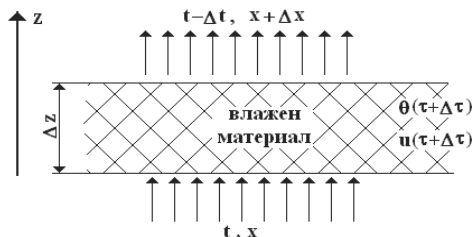
Голяма част от тънкослойните сушилни модели, които най-често се прилагат в практиката, са функция на температурата на сушилния агент t и времето τ и имат вида:

$$U = f(t, \tau), \quad (1)$$

където обобщеното влагосъдържание U е свързано с началното u_1 , равновесното u_p и текущото u влагосъдържания на продукта [10]:

$$U = \frac{u - u_p}{u_1 - u_p}. \quad (2)$$

Наличието на точни тънкослойни сушилни модели дава основание дебелият слой продукт да се раздели на срезове [11], в които сушилните величини да се приемат за параметри и така за всеки срез да се изчисли отделеното количество влага $\Delta u(\Delta z, \Delta \tau)$, (Фиг. 1).



Фиг.1. Сушене на материал в слой с дебелина z при постоянни параметри в слоя Δz . [1]

Първият въпрос при моделиране на процеса възниква при избора на тънкослоен кинетичен модел (1), а именно: според температурен, скоростен, влажностен и т.н. обхват. По подобен начин стои и въпросът с избора на моделите за: относителна влажност, равновесна влажност, налягане на насищане. На определен етап от симулацията моделните изчисления показват стойности извън обхвата на зависимостите или дори невъзможни стойности, например относителна влажност по-голяма от 100 %.

На второ място трябва да се постави изчислението на функцията (1) в подходящия времеви интервал Δt (при слой Δz), с което се отчита историята на сушенето [3]. Прецизното задаване на температурното поле, както и апроксимацията на стойностите му се оказват важен фактор за адекватността на получените резултати.

Скоростта на сушилният агент е друг важен фактор в сушилният процес и рядко фигурира в явен вид в сушилните модели. Имайки предвид, че при високи скорости (около 2 m/s) сушилният агент трудно се насища с влага, сорбционните процеси при не дебел слой продукт могат успешно да се игнорират и обратно, при скорост от порядъка на 0,2 m/s овлажняването на слоевете веднага след първите един два слоя е доминиращ факт през голяма част от сушилното време. Също така, високите скорости на сушилният агент водят до градиент във влагосъдържанието на продукта, докато при ниските, вътрешния влагообмен е достатъчно висок и може да се приеме, че влагата е хомогенно разпределена.

Анализирайки зависимост (2) може да се заключи, че знаменателят в израза от дясно на равенството има смисъл на потенциал на сушенето, а числителят - достигнатия етап. Според схемата на фиг.1, редно би било за начално влагосъдържание на продукта u_1 да се избере влагосъдържанието от предходната стъпка по време, но според казаното по-горе изчисленията на (1) са за целия сушилен период, което определя u_1 като изходното влагосъдържание. Трябва да се има предвид и факта, че изчисленията на текущото влагосъдържание u се отнасят за средната му стойност, което до известна степен би било оправдано при липсата на градиент във влагосъдържанието в продукта.

При конвективно сушене в дебел слой, отработеният сушилен агент от предходния срез отнема влага от текущия срез (а и се охлажда), което води до пълното му насищане с влага, а това означава, че при влажност над равновесната ще започнат сорбционни процеси. Предвид на това, че десорбционната и сорбционната криви са огледални [5], тънкослойният сушилен модел може да се приложи и за овлажняване, поне в близката до равновесната влажност област [9]. Това дава възможност за създаване на комбиниран сушилно-овлажняващ модел, но е и предпоставка за объркване, а именно:

- разглеждайки едностранно функцията (2), при сушене стойностите на обобщеното влагосъдържание U се променят от единица до нула (поне теоретично);

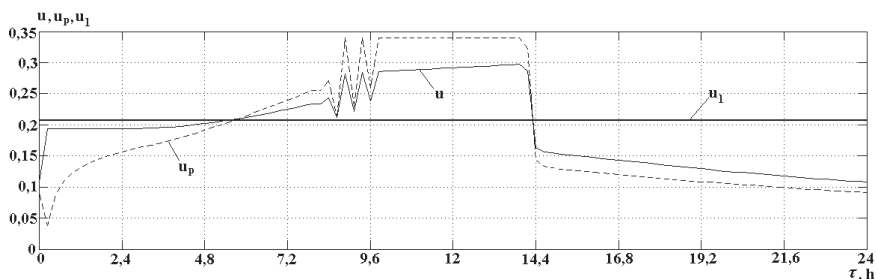
- при сорбционни процеси U има отрицателни стойности, но при отрицателни числител и знаменател на (2) едновременно, U ще е положително, т.е. по-голямо от нула и;
- това, че при сорбционни процеси U може да има стойности над ± 1 (при $u > u_1$).

Предпоставките направени по-горе трябва да се имат предвид, но не бива да се забравя, че изчисленията са в последователност от U към u , т.е.:

$$U(u_1 - u_p) + u_p = u \quad (3)$$

и високите стойности на u_p при овлажняване се сумират с фактора, характеризиращ процеса $U(u_1 - u_p)$ от фиг.2.

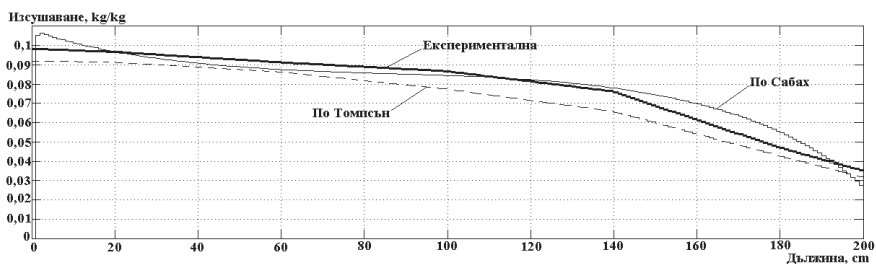
На фиг.2 се открояват три периода: начален (до 5-тия час), характеризиращ се с ниска стойност на равновесната влажност, но и ниска температура на сушилния агент (от 8°C до 15 °C [8]), а от там и слабо сушене; период на овлажняване (5 – 14 час), характерен с преходен процес и период на сушене (14 – 24 час) при високи температури 22 до 27 °C. Скокът на равновесната влажност u_p около 14-тия час е продиктуван от постоянно нарастващите температури, все по-слабото изпарение в предходните слоеве и моменти, както и от забавените сорбционни процеси, в следствие на малката разлика $u - u_p$. В същност, реалната продължителност на този скок е около един час [2], което се явява значителен период от експерименталното време.



Фиг.2. Влагосъдържание u и равновесна влажност u_p по време на сушенето за срез на 144 см от входа на сушилнята.

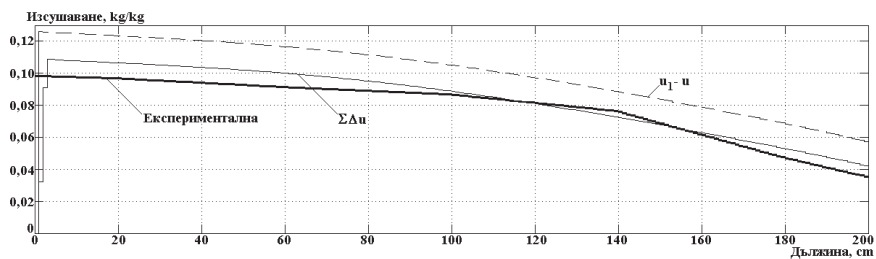
Въпреки прецизната работа, резултатите от няколкогодишното моделиране на сушилни процеси на зърно в дебел слой показват, че моделите имат преди всичко познавателен характер и по-малко прогнозен такъв. Към причините, изтъкнати по-горе трябва да се добавят неизбежните отклонения от действителните стойности на входните величини: температури и влагосъдържания на въздуха и продукта, масов дебит на сушилния агент, структурни особености на зърното и зърнената маса, неточности от апроксимация и опростяване на процесите, неточности с програмен и изчислителен характер.

На фиг.3 са представени експерименталната зависимост от проведен експеримент [8] и две моделни, чрез модел на Томпсън и чрез модел на Сабах, базиран на експерименталните температури. В случая може да се заключи, че точността на моделирането е добра, но по-съществена е разликата във формата на кривите, което говори за различна интерпретация на естествените процеси.



Фиг.3. Експериментална и моделни зависимости на изсушаването.

На фиг.4 са представени експерименталната зависимост на изсушаването по дължина на сушилната [8] и две моделни, изчислени чрез разликата в началното и крайното влагосъдържание u_1-u и сумираните отделени количества влага във времето $\Sigma \Delta u$ за всеки срез. Докато графиката на $\Sigma \Delta u$ може да се приеме за добра, зависимостта u_1-u показва системно почти 30% отклонение по дължина на сушилната. Част от причините за това отклонение са споменати по-горе и предстои задълбочен анализ, с цел точност и стабилност на моделните резултати. Гинсбург е установил, че най-съществен за процеса на сушене е началния импулс [5] и проверката за изсушаването в началните слоеве би локализираща проблема.



Фиг.4. Експерименталната зависимост на изсушаването по дължина на сушилната [2] и моделни, изчислени чрез разликата в началното и крайното влагосъдържание u_1-u и сумираните отделени количества влага във времето $\Sigma \Delta u$ за всеки срез.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При конвективно сушене на зърно в дебел слой са на лице сложни топло- и масообменни процеси, които успешно могат да бъдат моделирани. Детайлното познаване и предвиждане на тия процеси е гаранция за адекватност и точност на моделирането, а проверката на получените стойности чрез прости изчисления и зависимости е превантивна мярка срещу груби грешки.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Демирев, Вл., Изследване процеса на нискотемпературно конвективно сушене на царевично зърно, Дисертация за присъждане на образователната и научна степен „доктор”, РУ «А. Кънчев», Русе, 2014 г.

[2] Демирев, Вл., Б. Колев, Приложение на кинетичната функция на сабах за моделиране сушенето на зърно в дебел слой, //Селскостопанска техника, бр. 1, 2014

[3] Демирев, Вл., Р. Михайлов. Математично моделиране на топло и масообменните процеси при конвективно сушене на зърнени продукти - II част. ТУ-Варна, //Топлотехника, година 2, книга 1, 2011. ISSN 1314-2550

[4] Лыков, А.В. Теория сушки. - Москва: Энергия, 1968

[5] Невенкин, С.Л. Сушене и сушилна техника. - София: Техника, 1987

[6] ASAE S448 DEC98. Thin-layer drying of grains and crops

[7] Đaković, D., G. Vujić, Đ. Bašić, M. Dimić. Several models of grain drying theory-principles and obstacles. -Thailand: PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment - ICEE-2007, Phuket: Prince of Songkla University, Faculty of Engineering, 10-11 May, 2007, pp. 614- 617

[8] Guofeng, Y., Y. Jin, W. Zhongming. Mathematical simulation of grain drying through ventilation and the test findings. - China: 7th International working conference on stored product protection, Vol. 2, 1999: URL:

spiru.cgahr.ksu.edu/proj/iwccspp/pdf2/7/1040.pdf

[9] Igathinathane, C, L. O. Pordesimo, A. R. Womac, S. Sokhansanj. Hygroscopic moisture sorption kinetics modeling of corn stover and its fractions. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009, ISSN 0883-8542

[10] Jayas, D.S., S. Cenkowski, S. Pabis, W.E.Muir. Review of thin-layer drying and wetting equations. - Canada: Univ. of Manitoba, Drying Technology, vol. 9, no. 3, pp. 551–588, 1991

[11] Thompson, J.L., R.M. Peart, G.H. Foster. Mathematical simulation of corn drying new model. ASAE: vol.11, no. 4, 1968

За контакти:

Гл. ас. д-р Владимир Демирев, Добруджански технологичен колеж, ТУ-Варна, тел. 0894 651789, e-mail: vl.demirev@abv.bg

Благодарности: Резултатите, получени в настоящата разработка са финансирани от субсидията за научни изследвания на ТУ Варна по проект НП22/2015.

Докладът е рецензиран.