

Моделиране сушенето на зърно в дебел слой с кинетичната функция на Сабах

Владимир Демирев, Божидар Колев

Modelling of thick layer grain drying by means of Sabah kinetic function: *In previous studies low temperature drying processes have been modelled by means of Sabah kinetic function. The obtained results are good, but its validity for drying processes remains indefinite. The present work studies the modelling of a drying experiment, carried out in 1998, in the University of Nanjing, China, which considerably differs from the modelling in the previous studies. The obtained results prove the modelling is possible, but the Sabah kinetic function describes drying processes in a certain regime interval only.*

Key words: *drying, grain, thick layer, modelling.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Моделирането на сушилни процеси е неразделна част от проектирането на сушилни уредби и процеси, изследването им и обучението. Възможни са и се прилагат различни подходи и варианти на моделни зависимости, но емпирично получените тънкослойни уравнения са едни от най-точните и най-често прилаганите. За съжаление, както е отбелязано в [3, 5], не съществуват универсални модели, които да описват пълния комплекс от естествените топло- и масообменни процеси при конвективното сушене на зърно. Това обстоятелство налага частично моделиране в предварително известен диапазон на режимните параметри. Някои автори [2] са на мнение, че е необходимо създаването на комплексни модели, които да включват всички елементарни процеси или опростяване и сближаване на известните зависимости [3].

В настоящата работа е моделиран сушилнен експеримент, проведен от учени в Китай, при който скоростта на сушилният агент е 10 пъти по-ниска от тая, при предходните експерименти и модели, а времетраенето на процеса - 48 пъти по-голямо. Базовата моделна зависимост (на Сабах), подхода към моделиране в дебел слой зърно, симулационната програма и съпоставката на получените резултати са описани в [1] и въпросът е, доколко те са приложими в новите условия.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Обект на изследването. Обектът на настоящото моделиране е нискотемпературен сушилнен процес за сушене на царевича, проведен през 1998 година от университета в Нанджинг, Китай [4]. Опитната уредба (фиг.1) се състои от сушилна тръба с височина 2 m и диаметър 0,3 m. Въздух, подгрят от 8 до 32 °C филтрира зърното в тръбата в продължение на 24 часа, а дебитът му е 5,69 m³/(m³.min). Получените експериментални и моделни (чрез модела на Топсън) резултати са показани в табл.1 и табл.2.

Таблица 1.

Експериментални резултати

Time of test	Time of dry	Moisture(% , w b)					Temperature of maize °C										Temperature indoors °C		
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	D bulb	W bulb	
22 00	initial	17 4	17 4	17 4	17 4	17 4	7	8	8	8	8	8	8	9	7	9	8	7 6	4 2
01 00	3	14	16	16 8	18 6	19 2	32	30	24	19	18	15	15	14	15	14	7 4	5 0	
04 00	6	13 4	14 8	16 3	18 6	19 0	32	31	28	24	23	23	17	15	16	15	8 8	6 0	
07 00	9	12 4	14 1	15 7	17 2	18 5	32	31	30	26	26	26	20	18	17	15	9 2	6 4	
10 00	12	11 6	12 2	13 0	16 0	18 2	32	31	30	27	27	27	24	19	17	15	8 0	5 0	
13 00	15	11 2	11 8	12 4	14 4	17 7	32	32	31	28	28	28	25	22	18	14	8 7	4 7	
16 00	18	11 1	11 4	12 0	13 8	17 2	32	32	31	29	29	28	26	24	22	16	9 0	5 0	
19 00	21	10 8	10 8	11 2	12 8	15 4	32	32	31	29	29	29	28	26	24	19	9 0	5 6	
22 00	24	10 2	10 6	11 0	11 8	14 0	32	32	31	29	29	29	28	27	25	21	8 4	4 8	

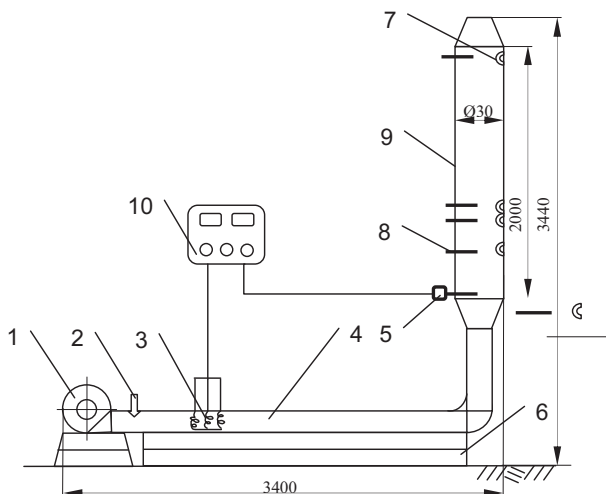
Temperature of drying air 32°C, Moisture content 0 005kg/kg dry air; Air volume 5 69m³/m³ min

Таблица 2.

Моделни (с модела на Томпсън) резултати

Time of dry	Moisture(%, w b)					Temperature of maize °C									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
zero	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
3	15.3	16.1	16.8	17.4	18.2	27.8	22.8	19.4	16.9	14.6	13.0	14.9	12.8	12.2	9.0
6	13.8	14.6	15.4	16.2	19.2	31.0	29.7	28.2	26.4	24.5	22.3	19.9	13.2	14.0	12.4
9	12.9	13.6	14.4	15.2	17.1	31.3	30.4	29.3	28.0	26.4	24.7	22.8	20.7	17.8	12.1
12	12.3	12.9	13.6	14.5	16.2	31.4	30.7	29.7	29.6	27.2	25.7	23.9	22.0	19.9	17.4
15	11.7	12.3	13.3	13.9	15.6	31.5	30.8	30.0	29.9	27.7	26.2	24.6	22.8	20.7	18.5
18	11.3	11.8	12.2	13.4	15.1	31.6	31.1	30.1	29.1	27.9	26.6	25.5	23.2	21.3	19.2
21	10.9	11.4	12.1	12.9	14.6	31.6	31.1	30.3	29.3	28.2	26.8	25.3	23.6	21.7	19.6
24	10.6	11.0	11.7	12.6	14.3	31.6	31.1	30.3	29.4	28.3	27.7	25.1	23.8	22.0	20.0
27	10.3	10.8	11.4	12.2	13.9	31.7	31.1	30.4	29.5	28.4	28.1	25.7	24.4	22.0	20.2

Temperature of drying air 32°C, Moisture content 0.005kg/kg dry air, Air volume 5.69m³/m³ min



Фиг.1. Схема на опитната уредба:

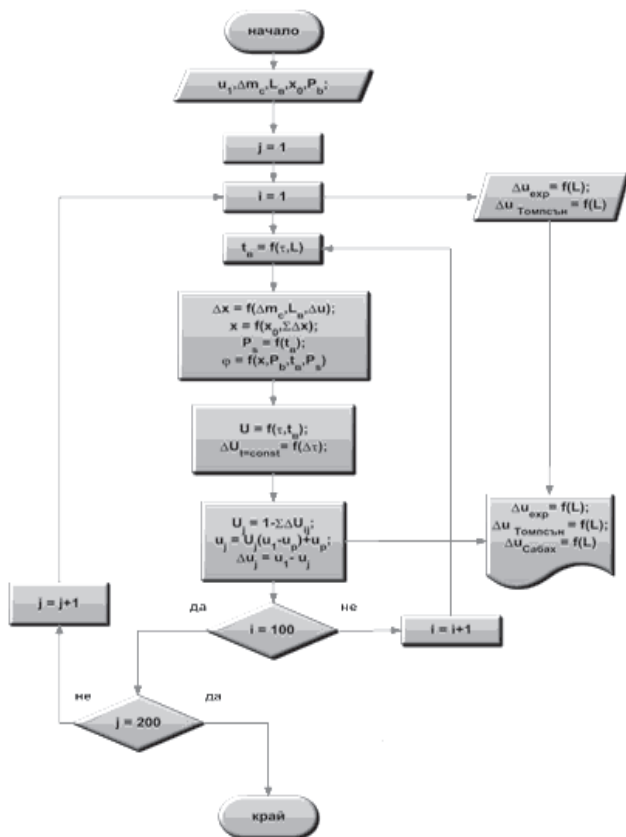
- 1 - вентилатор, 2 - регулатор на дебита, 3 - нагревател,
4 - тръба, 5 - термометър, 6 - основа, 7 - отвори за проби,
8 - термометри, 9 - сушилна тръба, 10 - терморегулатор

Метод на модела. Входни величини за симулационните изчисления са влагосъдържанието, скоростта и температурата на въздуха и началното влагосъдържание на царевичата. Времето и височината на сушилната тръба са дискретизирани съответно на по 100 и 200 стъпки, като една стъпка време отговаря на 14,4 min, а по височина на тръбата - на 1 cm. Моделните изчисления са изпълнени по алгоритъма, показан на фиг.2.

Като се има предвид, че кинетичната функция на Сабах се отнася само за процеса сушене, са въведени ограниченията: относителна влажност на въздуха от 1 % до 90 % и игнориране на изчисленото овлажняване (само за допълнителните изчисления).

В обща координатна система се сравняват експерименталното изсушаване, моделното чрез модела на Томпсън и моделното чрез модела на Сабах.

Стойностите за влажността на царевичата са преизчислени във влагосъдържание, а стойностите на температурите са линейно интерполирани.



Фиг.2. Алгоритъм на моделните изчисления:

u_1 - начално влагосъдържание и Δm , сухата част на продукта; L_s , t_n , ϕ и x_0 - дебит, температура, относителна влажност и начално влагосъдържание на въздуха; P_s и P_s - атмосферно налягане и налягане на насищане; $U = (u - u_p) / (u_1 - u_p)$ - обобщено влагосъдържание; u_p - равновесно влагосъдържание на продукта, $\tau = 100 \cdot i$ и $L = 200 \cdot j$ - времето и височината на сушилната тръба.

Резултати и анализ. Съставената симулационна програма позволява различни варианти за изчисляване на изсушаването. Някои от тях са категорично неправилни [4], а други извеждат нереален резултат, поради излизане от обхвата на зависимостите или недостатъци на програмата. Избраният подход: изчисляване на скоковете в обобщеното влагосъдържание при константни температури; сумиране и получаване на крайното обобщено влагосъдържание за всеки срез; изчисляване изсушаването на среза в края на експеримента, дава правдоподобни резултати и е оценен като правилен, въпреки че по този начин не се отчита директно „историята“ на сушенето, а косвено - чрез температурите и достигнатото равновесно влагосъдържание в края на процеса.

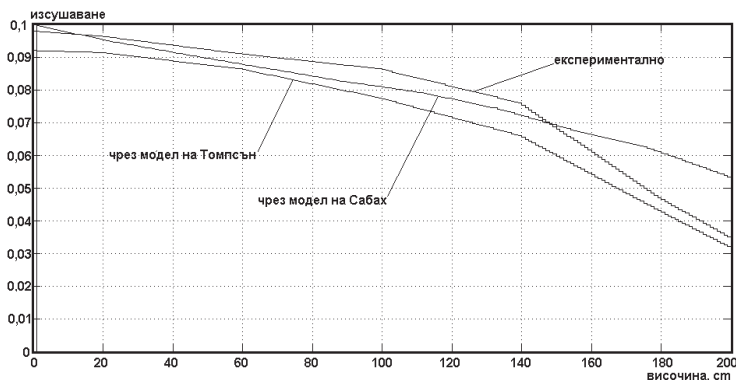
На фиг.3 са показани графиките на експерименталното и двете моделни изсушавания по височина на сушилната тръба.

Трябва да се отбележи, че:

- характерът на кривите в доклада на китайските колеги е много сходен. Това обстоятелство навежда на мисълта, че моделът (по Томпсън) добре описва естествените топло- и масообменни процеси, въпреки значителните отклонения. Кривата, получена при настоящото моделиране, е по-плавна и по-точна;

- като стойности, изсушаването, получено чрез модела на Томпсън е по-ниско, което според авторите се дължи на температурния обхват, препоръчван за тънкослойния модел на Томпсън - от 50 °C до 150 °C;

- въпреки изключването на сорбционните процеси, моделът със зависимостта на Сабах показва много точни резултат в началните слоеве и едва в последната четвърт от височината на тръбата се регистрират отклонения.



Фиг.3. Експериментално и моделни изсушавания по височина на сушилната тръба за 24 часа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение може да се формулират следните изводи:

- Моделирането на сушилни процеси в дебел слой зърно е отговорна и трудна дейност и успехът ѝ зависи от правилното моделиране, проверката чрез алтернативни модели и не на последно място, наличието на известен опит;

- Моделирането на бавен сушилен процес с ниски скорости на сушилния агент чрез тънкослойния модел на Сабах дава задоволителни резултати при настоящите модел и експеримент;

- Необходима са допълнителни изследвания на комбинирани зависимости, описващи всички топло- и масообменни процеси при моделирането на сушене в дебел слой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. 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
- [2]. Alonso, D. MODELING OF GRAIN DRYERS: THIN LAYERS TO DEEP BEDS. Canada: Bioresource Engineering Department, McGill University, Montreal, 2011
- [3]. Đaković, D., G. Vujić, Đ. Bašić, M. Dimić. Several models of grain drying theory – principles and obstacles. Thailand: Prince of Songkla University, May 2007
- [4]. Guofeng, Y., Y. Jm, W. Zhongming. Mathematical simulation of grain drying through ventilation and the test findings. China: Department of Grain Engineering, Nanjing University of Economic, 1998
- [5]. Jayas, D., S. Cenkowski, S. Pabis, W. Muir. Review of thin-layer drying and wetting equations. Canada: Agricultural Engineering University of Manitoba, 1991

За контакти:

Гл. ас. Владимир Демирев, ДТК- Добрич, ТУ- Варна, e-mail: vl.demirev@abv.bg
 Доц. д-р Божидар Колев, Катедра „Земеделска техника“, Русенски университет “Ангел Кънчев”, e-mail: bkolev@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.