

## Оценка на адекватността на симулационните модели, описващи температурно - влажностните процеси в експериментален стенд с електронно управление

Анелия Манукова

*Assessment of the simulation models adequacy describing the temperature-moisture processes in an experimental stand controlled by an electronic system. The aim of the paper is investigation and assessment of the simulation models adequacy characterizing the dynamics of temperature-moisture regime of grain. The grain mass is processed in an experimental stand-dryer, working with cross flow. The developed model is built into an electronic system for control of the drying process.*

**Key words:** assessment, modeling, algorithm, drying, corn, temperature, moisture, corn mass

### ВЪВЕДЕНИЕ

Непрекъснатото икономическо развитие на човечеството е съпроводено с увеличаване на потреблението на енергийни ресурси както в промишлеността, така и селскостопанските обекти. Нарастването на дела на енергийните разходи в себестойността на единица продукция налага необходимостта от промяна в икономическата активност и икономичността на енергийните източници. Все по чувствителна е нуждата от прилагането на енергийно-ефективни производства, което изисква създаването на подходящи модели и електронни системи за оценка на енергийната ефективност на процеси и обекти.

Моделирането и симулационното изследване на различни по характер реални системи е необходим и основен дял в съвременното развитие на науката. Натрупаният в него опит позволява създаването на нови модели на обекти, представляващи интерес за многообразните научни и стопански дейности.

Анализът на процесите в селскостопанските обекти е свързан с оценка на свойствата на системата и може да бъде реализиран чрез съвременни методи за изследване на процесите и технологичните системи. Развитието и създаването на модели за симулационно изследване е от съществено значение за постигане на качествена продукция при минимални разходи на енергия. Изграждането на концепция за търсене на енергийно-ефективни методи и модели за техническо описание, симулация на даден процес и оценка на състоянието на обекта чрез помощта и средствата на електрониката гарантира обективност и достоверност на получените резултати.

Целта на статията е да се изследва и оцени адекватността на предложените модели [3,4,5], описващи динамиката на температурно-влажностния режим на зърно при сушене на зърно в експериментален стенд-сушилня, работещ с кръстосан поток. Разработеният модел е част от електронна система за управление на процеса сушене.

### ИЗСЛЕДВАНЕ И ОЦЕНКА ЗА АДЕКВАТНОСТТА НА РАЗРАБОТЕНИЯ МОДЕЛ

Задачата на модела е да представи процеса на нагряване на зърното в дълбочина във функцията от времето въз основа на обобщените изследвания на сушенето. Оценката на адекватността на предложените софтуерни модели позволява да се определи точността на работата на електронната система..

За целта се провежда последователност от изследвания с експерименталния стенд при различни входни данни – начална температура на зърното и на сушилния агент, начална влажност на зърното, различни видове зърна. За всеки от основните параметри се изследват работните диапазони и се определят най-добрите от тях за постигане на малък разход на енергия при необходимото качество на зърното [2]. Изследваният обект е царевица сорт „Кнежа 622” със средна големина на зърното.

Комбинацията от входни данни за експерименталния стенд се симулира с разработения модел и програмна среда. Получените резултати се сравняват с измерените и се оценява тяхната значимост.

За да се прецени адекватността на разработената софтуерна среда за сушене е направена сравнителна оценка спрямо лабораторните изследвания от работата на стенда. Входните данни и за двете система са идентични.

**▪ Точност на постигнатата изходна влажност спрямо зададената в модела и експерименталния стенд**

Получените опитни данни от експерименталния стенд и програмната среда **FINE\_MORE** за изходната влажност на зърното са систематизирани в табл.1 и табл.2.

Таблица 1.

Опитни данни от експериментален стенд и програмна среда **FINE\_MORE**

| СТЕНД<br>$t_{board} = 55^{\circ}\text{C}$ | $m_{grain}$ ,<br>kg | $t_{air}$ ,<br>$^{\circ}\text{C}$ | $t_{grain}$ ,<br>$^{\circ}\text{C}$ | $M_i$ , % | $M_o$ , %<br>измерена<br>след<br>охлаждане |
|-------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------------------------------------|
| A Corn 1                                  | 6,735               | 96                                | 18                                  | 21,0      | 17,2                                       |
| B Corn 2                                  | 6,885               | 96                                | 20                                  | 17,8      | 14,1                                       |
| C Corn 4                                  | 7,060               | 95                                | 19                                  | 20,5      | 16,6                                       |
| D Wheat 5                                 | 6,655               | 98                                | 19                                  | 19,8      | 15,2                                       |
| E Wheat 8                                 | 6,585               | 99                                | 21                                  | 21,0      | 14,6                                       |

| ПРОГРАМНА<br>СИМУЛАЦИЯ<br>$t_{board} = 55^{\circ}\text{C}$ | $m_{grain}$ ,<br>kg | $t_{air}$ ,<br>$^{\circ}\text{C}$ | $t_{grain}$ ,<br>$^{\circ}\text{C}$ | $M_i$ , %<br>начална | $M_{out}$ , %<br>определена<br>преди<br>охлаждане | $F_M$ , %<br>изчислен | $M_o$ , %<br>очаквана<br>след<br>охлаждане |
|------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
| A Corn 1                                                   | 6,735               | 96                                | 18                                  | 21,0                 | 19,2                                              | 1,9                   | 17,3                                       |
| B Corn 2                                                   | 6,885               | 96                                | 20                                  | 17,8                 | 15,3                                              | 1,1                   | 14,2                                       |
| C Corn 4                                                   | 7,060               | 95                                | 19                                  | 20,5                 | 18,6                                              | 1,8                   | 16,8                                       |
| D Wheat 5                                                  | 6,655               | 98                                | 19                                  | 19,8                 | 16,6                                              | 1,6                   | 15,0                                       |
| E Wheat 8                                                  | 6,585               | 99                                | 21                                  | 21,0                 | 17,0                                              | 2,1                   | 14,9                                       |

където  $M_{out} = (M_o + F_M)$ , %

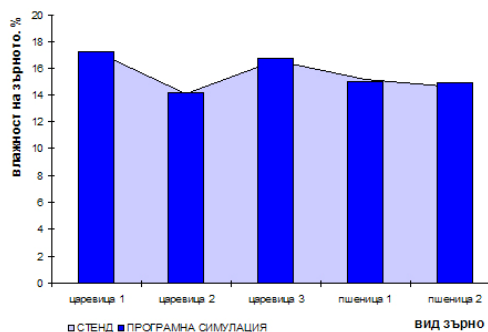
Таблица 2.

Определяне на относителната и абсолютната грешка при сравняване на влажността на зърното при използване на данните от разработените модели и експерименталния стенд

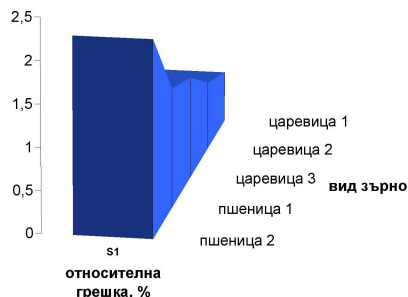
| ГРЕШКИ    | $M_o$ , % |                        | ГРЕШКИ, % |             |
|-----------|-----------|------------------------|-----------|-------------|
|           | СТЕНД     | ПРОГРАМНА<br>СИМУЛАЦИЯ | АБСОЛЮТНА | ОТНОСИТЕЛНА |
| A Corn 1  | 17,2      | 17,3                   | 0,1       | 0,6         |
| B Corn 2  | 14,1      | 14,2                   | 0,1       | 0,8         |
| C Corn 4  | 16,6      | 16,8                   | 0,2       | 1,2         |
| D Wheat 5 | 15,2      | 15,0                   | 0,2       | 1,4         |
| E Wheat 8 | 14,6      | 14,9                   | 0,3       | 2,3         |
|           |           |                        |           |             |

Графичното представяне на измерените стойности за влажността на зърното и относителната грешка при сравняването на експерименталните и симулационните данни са дадени на фиг. 1. и фиг.2. Получена е средна относителна грешка под 1,3%,

което с достатъчна точност определя разработения програмен модел за сушене за адекватен.



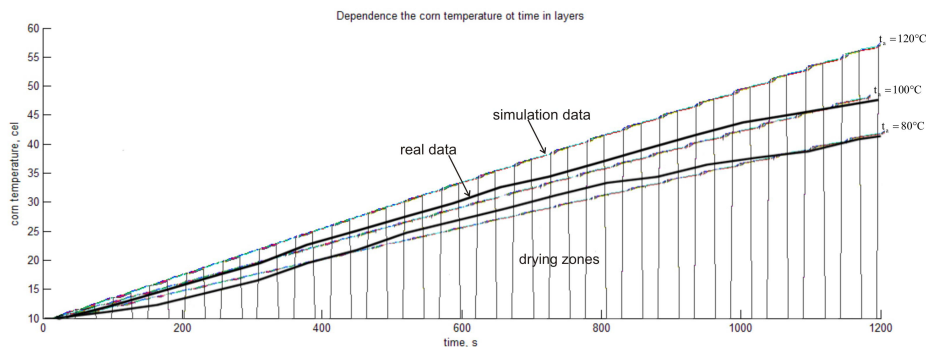
Фиг.1. Графично преставяне на измерените и симулирани стойности на влажността при различни типове зърна



Фиг.2. Графично преставяне на относителната грешка на влажността при разработените модели и стенда

#### ■ сравнение на кривите във функция на времето

Разработената програмна среда за сушене **FINE\_MORE** определя границите на влияние на отделните параметри и задава препоръчителните такива при работа на сушилната-стенд. Проведеното изследване и сравнение на резултатите показва, фиг.3, че получените експериментални криви попадат в определените граници от симулационната среда при еднакви входни данни.



Фиг.3. Графично преставяне на сравнението на кривите във времето при различни температури на сушилния агент

#### ■ Точност на постигнатата температура на зърното, определена в модела и стенда.

В табл.3 е определена относителната грешка за характерни моменти от време, а средната грешка за проведеното изследване е 1,7%. Съвпадението на кривите е определено за един слой при температура на сушилния агент  $t_a = 90^\circ\text{C}$ , фиг.4.

Таблица 3.

Относителна грешка от сравняването на зависимостите на температурата при експерименталния стенд и програмната среда

| време<br>$\tau$ , min       | 60   | 120  | 300  | 420  | 540  | 660  | 780  | 900  | 1020 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $t_{\text{стенд}}$ , °C     | 20   | 20   | 28,5 | 32   | 38   | 42   | 45   | 48   | 50   |
| $t_{\text{симуляция}}$ , °C | 20   | 20   | 28   | 31   | 36,7 | 41   | 44   | 47   | 49   |
| относителна грешка, %       | 0,00 | 0,00 | 1,75 | 3,13 | 3,42 | 2,38 | 2,22 | 2,08 | 2,00 |

Показател за адекватността на разработените модели спрямо измерените реални стойности е средно сумарно отклонение на променливите, получени от модела и реалния процес. Необходимо е средното отклонение за измерванията да клони към нула и между двете променливи, от модела и реалния процес, да има положителна корелация. В табл.4 са представени средните стойности на стандартното отклонение, а на фиг.5 на средното отклонение на моделните резултати от реалния процес във времето.

Таблица 4.

Оценка на адекватността на разработения модел чрез средното отклонение на температурата на зърното от модела и реалния процес

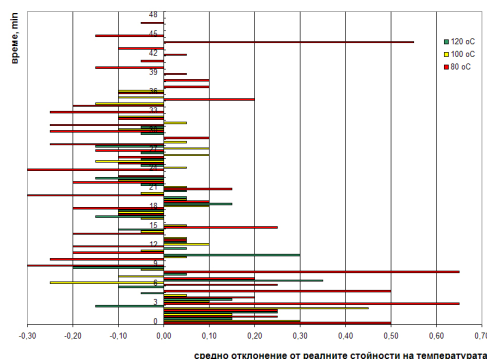
| $t_a$ , °C | стандартна грешка за оценка |        |        | коэффициент на корелация |         |         | средно отклонение на температурата от модела и реалния процес |           |           |
|------------|-----------------------------|--------|--------|--------------------------|---------|---------|---------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
|            | 80 °C                       | 100 °C | 120 °C | 80 °C                    | 100 °C  | 120 °C  | 80 °C                                                         | 100 °C    | 120 °C    |
|            | 0,4992                      | 0,2499 | 0,2541 | 0,99992                  | 0,99998 | 0,99998 | 0,0112245                                                     | 0,0094595 | 0,0045455 |



Фиг.4. Графично преставяне на съвпадението на кривите във времето при температура на сушилният агент  $t_a = 90^\circ \text{C}$  за един слой зърно

#### ■ Оценка на температура на сушилният агент, преди и след сушене

Температурата и относителната влажност на отработения сушилен агент са показатели за правилния избор на режим на сушене и служат като критерий за икономичност на процеса. Приближаването на температурата на отработения



Фиг.5. Графично преставяне на средното отклонение на моделните резултати от реалния процес

сушилен агент към температурата на въздуха на околната среда е показател за повишена степен на използване на топлината на агента. В табл.5 са систематизирани получените температури на отработения сушилен агент при проведените опити.

Таблица 5.

| Температура на отработения сушилен агент |                                                 |                                                 |                                                 |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| работен сушилен агент                    | температура на сушилният агент                  |                                                 |                                                 |
|                                          | $t_a = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$              | $t_a = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$             | $t_a = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$             |
| отработен сушилен агент                  | $t_a = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ - зона 2 и 3 | $t_a = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ - зона 2 и 3 | $t_a = 41\text{ }^{\circ}\text{C}$ - зона 2 и 3 |
|                                          | $t_a = 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ - зона 1     | $t_a = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$ - зона 1     | $t_a = 39\text{ }^{\circ}\text{C}$ - зона 1     |

## ИЗВОДИ

1. Развитите различни варианти на изменение на управляващите фактори чрез експерименталния стенд определят избора на най-добрите от тях за запазване на хранителните и структурните качества на зърното.

2. Оценена и доказана е адекватността на изведените обобщени математически модели на зависимостите на изменение на температурата и влажността във времето при различни видове зърна и температури на сушилният агент.

3. Проведеното изследване и сравнение на резултатите от работата на експерименталния стенд-сушилня и разработения модел показват, че получените експериментални криви попадат в определените граници от разработената програмна среда при еднакви входни данни. като се следи да не се нарушат технологичните норми, определящи качеството на продукцията

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Джиев Ст. Моделиране и оптимизация на процеси, Технически университет – София, 2003

[2] Манукова А. Синтез и изследване на критерии за оценка на качеството на зърно при електронно управление на сушенето в мобилна сушилна. София, Селскостопанска техника, бр. 4, 2008, с.8-15.

[3] Манукова А. Алгоритъм за моделиране на температурно-влажностните процеси в мобилна сушилна за зърно. Трудове на научна конференция на РУ"Ан.Кънчев" – 2007, стр. 48-53.

[4] Манукова А., В.Димов. Приложение на методи на физическо подобие за изследване на електронни системи за управление на сушилни за зърно. Списание „Електротехника и електроника“, брой 3-4, 2007, стр. 84-89.

[5] Manukova A., I.Evstatiev, N.Mihailov, G.Georgiev. Modeling of temperature processes of grain under drying. World Congress: Agricultural Engineering for a Better World, 2006, Bonn, Germany

[6] Maier D.E. and F.W. Bakker-Arkema,. Grain Drying Systems , 2002 Facility Design Conference of the Grain Elevator & Processing Society, July 28-31, 2002, St. Charles, Illinois, U.S.A

## За контакти:

гл.ас. д-р инж. Анелия Манукова, катедра "Електроника", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082/ 888 366, E-mail: amanukova@ecs.ru.acad.bg

**Докладът е рецензиран.**