

## Кинетика на процесите в кондензационна сушилня

Пламен Цветков, Евелина Велева

***Kinetics of a condensation dryer:** The paper examines the kinetics of the temperature in a condensation dryer using a Peltier element. The measurements are in empty mode and evaporation from a free water surface in the change rate of air flow through the cooling radiator. The data are presented graphically and statistically processed.*

**Key words:** condensation dryer, Peltier element.

### ВЪВЕДЕНИЕ

В процесите на сушене на земеделска продукция се използва не малко количество топлинна енергия. Недостатък на най-често срещаните сушилни инсталации са високите стойности на специфичния разход на енергия за изпаряване на 1kg влага от изсушавания продукт. Това се дължи на значителните температура и влажност на излизания от сушилната въздух, използван, като правило, като сушилен агент. Съществуващите системи за рекуперация снижават само частично разхода на енергия. По тези причини е целесъобразно използването на кондензационни сушилни със затворен цикъл на циркулация на сушилния агент (въздух).

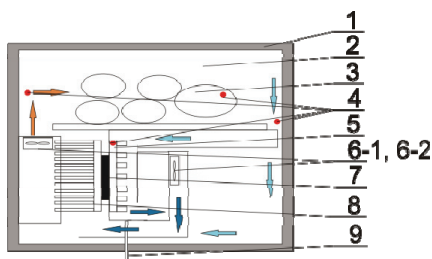
### ЦЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Изследване кинетиката на температурите в различни точки на кондензационна сушилня в зависимост от скоростта на обдухване на охлаждащия радиатор, за да се определят режимите на работа, създаващи условия за кондензация на сушилния агент и последващото му извеждане чрез денажната система.

### МЕТОД НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

За постигане на поставената цел се предлага технологична схема, представена на фиг.1.

Предлага се прилагането на кондензационна сушилня, като в ролята на охлаждаща машина се използва елемент на Пелтие, предвид неговата компактност и отсъствието на движещи се части.



**Фиг.1. Схема на експерименталната уредба:**

1 - термоизолиран корпус; 2 - сушилна камера; 3 - продукт; 4 - термо сензори; 5 - студен радиатор; 6-1, 6-2 - вентилатори; 7 - елемент на Пелтие; 8 - горещ радиатор; 9 - дренажна система.

В сушилната камера (2) чрез вентилатора (6-1) се подава осушен и нагрят в горещия радиатор (8) въздух, който отнема влагата от продукцията (3), след което част от него, продухван от вентилатор (6-2), преминава през студения радиатор (5), температурата на който се поддържа по-ниска от точката на росата, и върху който кондензира изпарената от продукта (3) влага, като кондензатът се отвежда извън сушилната чрез дренажната система (9). По-нататък осушеният въздух се насочва

отново към гроещия радиатор (8). Цикълът на циркулация на сушилния агент (въздух) е затворен.

В този случай хладилната машина работи като термопомпа, пренасяща топлинната енергия, получена при кондензацията, към гроещия радиатор.

Външната енергия, внасяна в системата, компенсирани само неизбежните топлинни загуби през външните стени на уредбата, като топлината, изразходвана за изпаряване, се връща обратно при кондензацията.

### ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ

През периода септември-октомври 2013 г. в катедра ЗТ на РУ «Ангел Кънчев» - Русе са проведени експерименти при температура 18 °С.

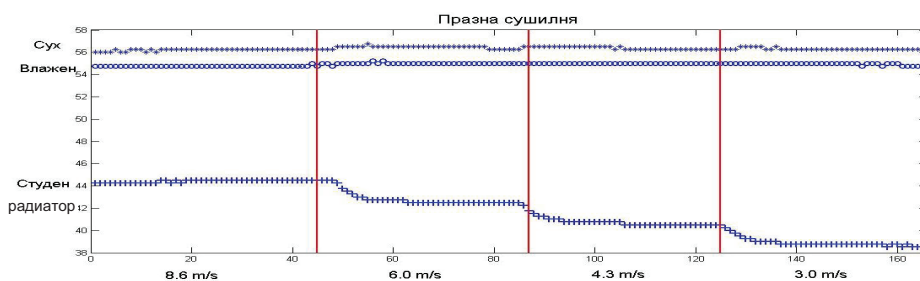
Проведени са експерименти с празна сушилня и със съд с вода, при което се наблюдава изпарението от свободна водна повърхност. Опитите са правени до достигане на динамическо равновесие на процесите.

Уредът е показан на Фиг.2.



Фиг.2. Общ вид на опитната уредба.

За празна сушилня, при скорости на въздуха съответно 8.6 m/s, 6.0 m/s, 4.3 m/s и 3.0 m/s са измервани показателите „влажен въздух“, „сух въздух“ и „студен радиатор“ в общо 165 моменти от време. Данните са представени на фигура 1 по-долу.

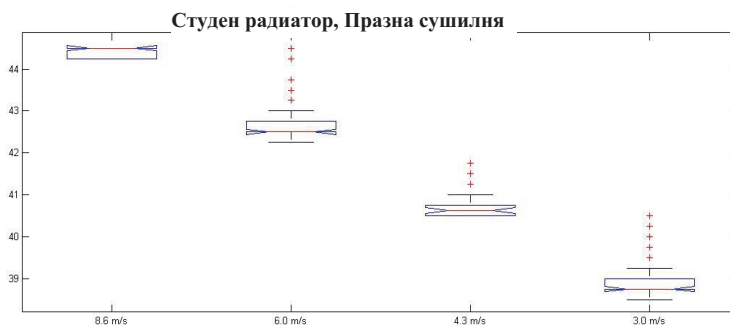


Фиг.3. Стойности на показателите при празна сушилня

Показателят „сух въздух“ се изменя в граници от 56 до 56.75 включително, със средна стойност 56.3227, стандартно отклонение 0.1408 и коефициент на вариация 0.25 %. Интервалната оценка за средната стойност при доверителна вероятност 0.95 е (56.3011, 56.3444).

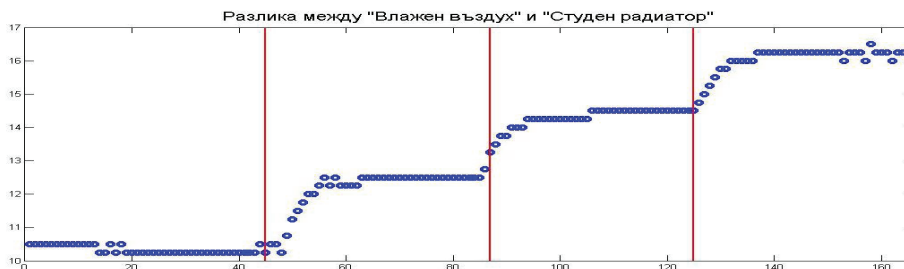
Показателят „влажен въздух“ се изменя в граници от 54.75 до 55.25 включително, със средна стойност 54.9242, стандартно отклонение 0.1217 и коефициент на вариация 0.2215 %. Интервалната оценка за средната стойност при доверителна вероятност 0.95 е (54.9055, 54.9429).

Третият показател, „студен радиатор“ показва явна обратнопропорционална зависимост от скоростта на въздуха в сушилнята. Медианата на наблюденията при скорост на въздуха 8.6 m/s е 44.50, при скорост 6.0 m/s - 42.50, при скорост 4.3 m/s - 40.625 и при скорост 3.0 m/s - 38.75 (фигура 2). След отстраняване на рязко отличаващите се измервания, които се наблюдават непосредствено след промяната на скоростта на въздуха, са изчислени интервални оценки за средните стойности за всяко от четирите нива на скоростта на въздуха в сушилнята. Използвана е доверителна вероятност 0.95. Така при скорост на въздуха 8.6 m/s са получени граници (44.3783, 44.4512), при скорост 6.0 m/s граници (42.5546, 42.7563), при скорост 4.3 m/s граници (40.5835, 40.7165) и при скорост 3.0 m/s граници (38.7179, 38.8377).



Фиг.4. Студен радиатор (празна сушилня) при различни скорости на въздуха

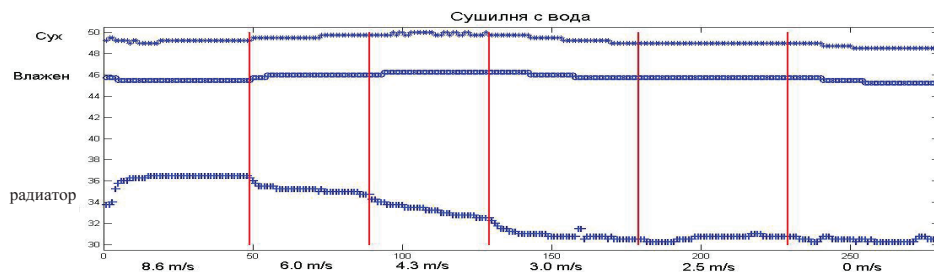
Особен интерес представлява разликата в стойностите на показателите „влажен въздух“ и „студен радиатор“ (фиг.5).



Фиг.5. Разлика между показателите „Влажен въздух“ и „Студен радиатор“

След отстраняване на рязко отличаващите се измервания, които се наблюдават непосредствено след промяната на скоростта на въздуха, са изчислени интервални оценки за разликата между средните стойности на тези два показателя, за всяко от четирите нива на скоростта на въздуха в сушилнята. Използвана е доверителна вероятност 0.95. Така при скорост на въздуха 8.6 m/s за разликата между средните стойности на двата показателя са получени граници (10.3033, 10.3786), при скорост 6.0 m/s граници (12.2483, 12.4409), при скорост 4.3 m/s граници (14.2874, 14.4126) и при скорост 3.0 m/s граници (16.1161, 16.2430).

Следващите 279 измервания са направени отново върху същите 3 показателя „влажен въздух“, „сух въздух“ и „студен радиатор“, но в сушилнята е поставена тавичка с вода. Скоростите на въздуха са съответно 8.6 m/s, 6.0 m/s, 4.3 m/s, 3.0 m/s, 2.5 m/s и 0 m/s. Данните са представени на фигура 6 по-долу.

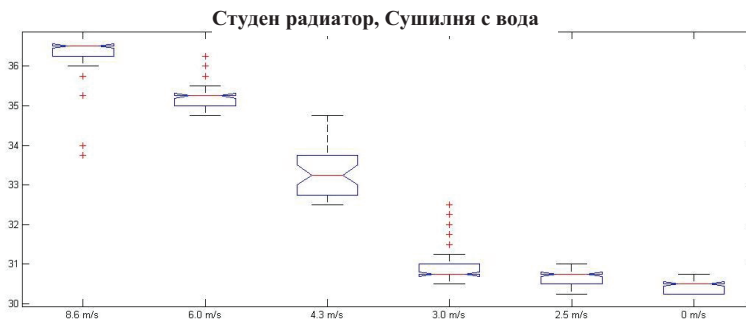


Фиг. 6. Стойности на показателите при сушилня с вода

Показателят „сух въздух“ се изменя в граници от 48.50 до 50 включително, със средна стойност 49.2572, стандартно отклонение 0.4203 и коефициент на вариация 0.8533%. Интервалната оценка за средната стойност при доверителна вероятност 0.95 е (49.2076, 49.3067). Интервалната оценка за разликата в средните стойности за този показател при празна и при сушилня с вода е (6.9991, 7.1320).

Показателят „влажен въздух“ се изменя в граници от 45.25 до 46.25 включително, със средна стойност 45.7885, стандартно отклонение 0.3008 и коефициент на вариация 0.6569%. Интервалната оценка за средната стойност при доверителна вероятност 0.95 е (45.7531, 45.8240). Интервалната оценка за разликата в средните стойности за този показател при празна и при сушилня с вода е (9.0875, 9.1839).

Третият показател, „студен радиатор“ и в този случай е чувствителен относно измененията в скоростта на въздуха в сушилнята. Медианата на наблюденията при скорост на въздуха 8.6 m/s е 36.50, при скорост 6.0 m/s - 35.25, при скорост 4.3 m/s - 33.25, при скорост 3.0 m/s - 30.75, при скорост 2.5 m/s - 30.75 и при скорост 0 m/s - 30.50 (фигура 7).



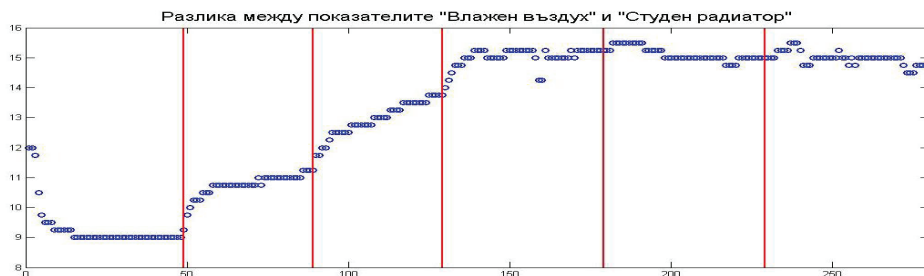
Фиг.7. Студен радиатор (сушилня с вода) при различни скорости на въздуха

След отстраняване на рязко отличаващите се измервания, които се наблюдават около промените на скоростта на въздуха, са изчислени интервални оценки за средните стойности за всяко от шесте нива на скоростта на въздуха в сушилнята. Използвана е доверителна вероятност 0.95. Така при скорост на въздуха 8.6 m/s са получени граници (36.3605, 36.4690), при скорост 6.0 m/s граници (35.0907, 35.2336), при скорост 4.3 m/s граници (33.1335, 33.4915), при скорост 3.0 m/s граници (30.7617, 30.9383), при скорост 2.5 m/s граници (30.5604, 30.6896) и при скорост 0 m/s граници (30.4038, 30.5079).

Интересна е разликата в средните стойности на показателя „студен радиатор“ измерен в празна и в сушилня с вода. След отстраняване на рязко отличаващите се

измервания, са изчислени интервални оценки за всяко от първите четири нива на скоростта на въздуха в сушилнята. Използвана е доверителна вероятност 0.95. Така при скорост на въздуха 8.6 m/s за разликата между средните стойности на показателя са получени граници (7.9356, 8.0644), при скорост 6.0 m/s граници (7.3718, 7.6147), при скорост 4.3 m/s граници (7.1392, 7.5358) и при скорост 3.0 m/s граници (7.8170, 8.0386).

Разликата в стойностите на показателите „влажен въздух“ и „студен радиатор“ за сушилня, пълна с вода е дадена на фиг.8.



Фиг.8. Разлика между показателите „Влажен въздух“ и „Студен радиатор“ (сушилня с вода)

След отстраняване на рязко отличаващите се измервания, които се наблюдават непосредствено след промяната на скоростта на въздуха, са изчислени интервални оценки за разликата между средните стойности на тези два показателя, за всяко от шестте нива на скоростта на въздуха в сушилнята. Използвана е доверителна вероятност 0.95. Така при скорост на въздуха 8.6 m/s за разликата между средните стойности на двата показателя са получени граници (9.0318, 9.1387), при скорост 6.0 m/s граници (10.7438, 10.8913), при скорост 4.3 m/s граници (12.7281, 13.0844), при скорост 3.0 m/s граници (14.9788, 15.1878), при скорост 2.5 m/s граници (15.0612, 15.1888) и при скорост 0 m/s граници (14.9036, 15.0572).

От показаните графики се вижда, че температурите в празната сушилня превишават тези, които се наблюдават в случая с вода, като разликата се обяснява с изпарението от водна повърхност. При намаляване скоростта на обдухване температурната разлика между влажния въздух и студения радиатор се увеличава до определена стойност, след което остава почти постоянна. Максималната скорост на обтичане при тази стойност е оптимална за най-добрите условия на кондензация.

## ИЗВОДИ

Изборът на елемент на Пелтие е обусловен от компактните му размери и отсъствието на необходимост от обслужване. Предложената технологична схема има принципен характер.

Получените експериментални резултати потвърждават ефективността от използването на кондензационна сушилня.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ефективността на предлаганият метод определя необходимостта от по-нататъшното му изследване и разглеждане на варианти за работа в затворен цикъл на сушилният агент.

За по-ефективната работа на кондензационната сушилня е необходимо задълбочено изучаване и оптимизация процесите на топло- и влаго обмен, както и на производителността на вентилаторите.

**ЛИТЕРАТУРА**

- [1]. Кожухаров И. Топлотехника и приложение на топлината в селското стопанство С. 1984.
- [2]. Лыков А. Теория сушки Москва 1968.
- [3]. Невенкин С. Сушене и сушилна техника. С. 1985.
- [4]. <http://www.dpva.info/Guide/GuidePhysics/Humidity/ClimateHumidity/> - абсолютна влажност.
- [5]. [http://www.kolorit-ind.ru/good\\_advice/dew\\_drop/](http://www.kolorit-ind.ru/good_advice/dew_drop/) - точка на росата.

**За контакти:**

инж. Пламен Стефанов Цветков, Катедра “Земеделска техника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 484, e-mail: [pstsvetkov@uni-ruse.bg](mailto:pstsvetkov@uni-ruse.bg).  
гл.ас.д-р Евелина Велева, Катедра “Приложна математика и статистика”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, e-mail: [eveleva@uni-ruse.bg](mailto:eveleva@uni-ruse.bg)

**Докладът е рецензиран.**