

Вплив основних параметрів зерносушарки каскадного типу на процес сушіння зернових культур у псевдорозрідженому стані

В статті наведено експериментальні дослідження і встановлені основні закономірності впливу параметрів зерносушарки каскадного типу на якісні показники роботи під час сушіння насіння в киплячому шарі.

каскад, зерносушарка, киплячий шар насіння

Сушіння зерна та насіння є основною технологічною операцією з приведення його в стійкий стан. Необхідність і своєчасність штучного сушіння зернових культур викликана підвищеною післязбиральною вологістю. До 80% врожаю усіх зернових культур, що поступають на хлібозбиральні підприємства або на господарські токи, мають підвищену вологість під час збирання до 35-45% і обов'язково потребують додаткового сушіння. Тому забезпечення стійкого збереження і стабілізація якості насіння можуть бути досягнуті тільки своєчасним, якісним та інтенсивним сушінням [1].

На сьогодні запропоновано багато технічних рішень для сушіння насіння за фізико-механічними властивостями. Але слід відзначити, що більшість з них не забезпечують агротехнічні вимоги або економічно не ефективні [2].

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету розроблено конструкцію зерносушарки каскадного типу з попереднім прогріванням зерна [3].

Мета дослідження полягає у визначенні основних закономірностей впливу параметрів зерносушарки каскадного типу на якісні показники роботи під час сушіння насіння в киплячому шарі з попереднім прогріванням.

Для дослідження впливу окремих факторів на цільові функції та знаходження оптимальних значень факторів було виготовлено експериментальну установку (рис. 1).

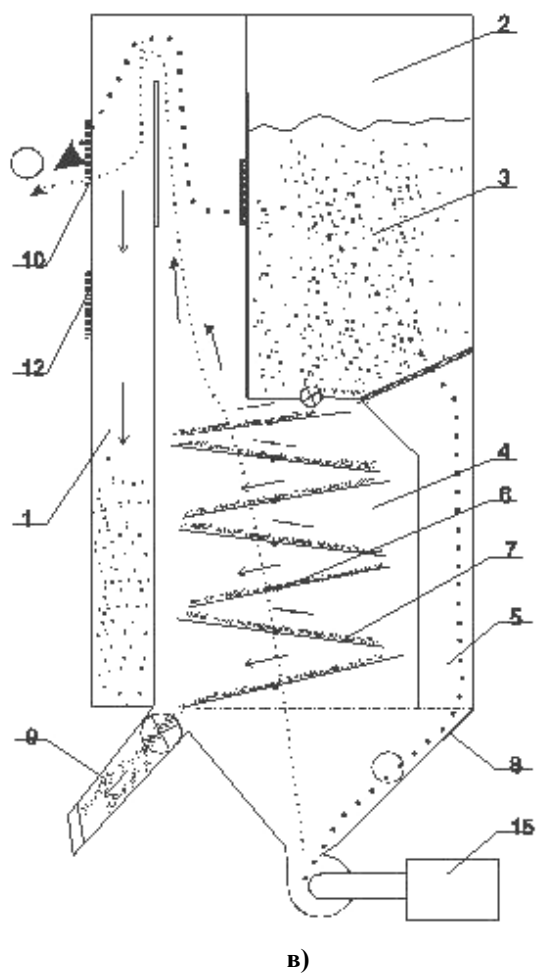
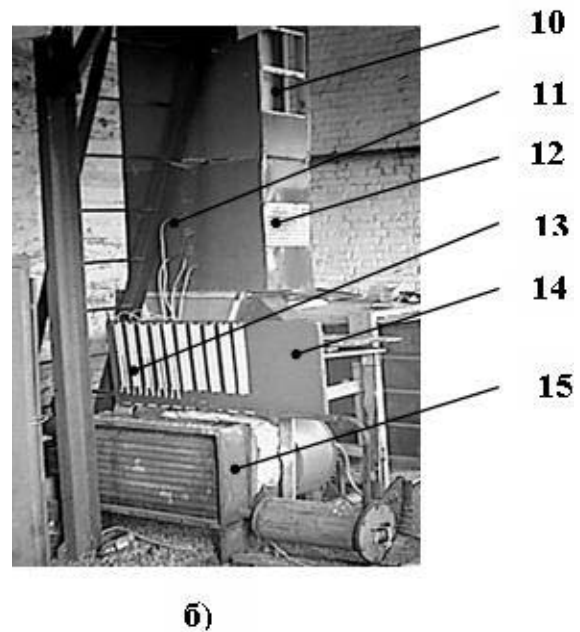
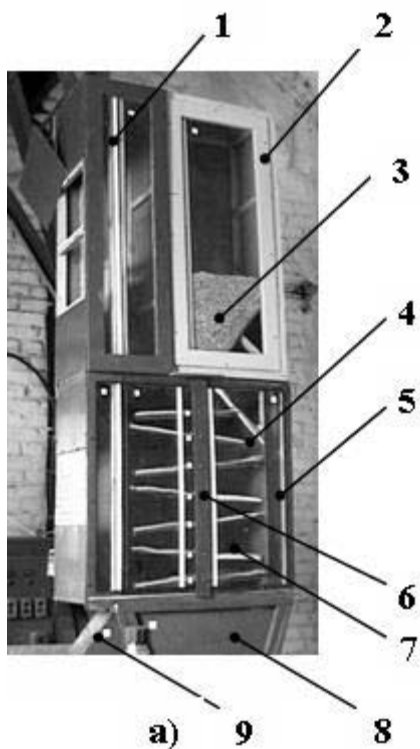
Виходячи з теоретичних досліджень, визначено, що чинниками, які впливають на параметри оптимізації, є:

- геометричні параметри: кут нахилу каскадів α ; товщина шару матеріалу h ;
- технологічні параметри: температура в сушарці t_1 і температура в трубі попереднього прогріву зерна t_2 ; тиск в сушарці P_1 і тиск в трубі попереднього прогріву P_2 .

Параметричні обмеження, які є рівнями варіювання факторів, наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Рівні варіювання факторів

№ п.п.	Фактори		Рівні варіювання		Нульовий
	Найменування	Позначення	Верхній (+)	Нижній (-)	
1	Тиск в конфузори P_1 , кПа	X_1	60	50	55
2	Тиск в трубопроводі попереднього прогрівання, P_2 , кПа	X_2	25	0	12,5
3	Температура агента сушки в конфузори t_1 , $^{\circ}\text{C}$	X_3	130	110	120
4	Температура агента сушки в трубопроводі попереднього прогрівання, t_2 , $^{\circ}\text{C}$	X_4	50	0	25
5	Товщина шару матеріалу H , м	X_5	20	10	10
6	Кут нахилу касет (каскадів) α , град	X_6	9	3	6,0



а) вигляд спереду; б) вигляд ззаду; в) схема лабораторної установки;
 1-осадова камера; 2-бункер; 3-матеріал; 4-сушильна камера; 5-труба для попереднього нагріву; 6-шарніри для регулювання каскадів; 7-каскади; 8-дифузор; 9-труба для вивантаження матеріалу; 10, 12-сітка для відводу відпрацьованого теплоносія; 11-термометри опору; 13-U-подібні рідинні манометри; 14-щит з контрольно вимірювальними приладами; 15-теплогенератор

Рисунок 1 – Загальний вигляд лабораторної установки

Можливість відтворюваності даних експериментів визначали за допомогою критерію Кохрена (G), а отриману модель перевіряли на адекватність за допомогою критерію Фішера (F) табл. 2.

Параметри оптимізації в даному випадку були вибрані наступні:

Y_1 – ефект сушіння (W), %; Y_2 – продуктивність (Q), т/год.; Y_3 – енергетичні витрати (E), кДж/кг.

Таблиця 2 – Оцінка нелінійних статистичних математичних моделей

№ п/п	Параметр оптимізації	Критерій Кохрена		Критерій Фішера	
		G ^P	G ^T	F ^P	F ^T
Соя					
1	Ефекти сушіння (W)	0,112		1,05	
2	Продуктивність (Q)	0,073	0,191	1,98	2,7
3	Питомі енергетичні витрати (E)	0,09		1,6	

Для визначення взаємозв'язку між конструктивними та технологічними параметрами, визначення їх оптимального варіанту в роботі проведено математичне планування експерименту.

Процедуру планування експерименту, визначення суттєвості факторів та комплекс обчислень здійснювали, використавши модуль Design of Experiment (DOE) STATGRAPHICS plus for Windows (рис. 2).

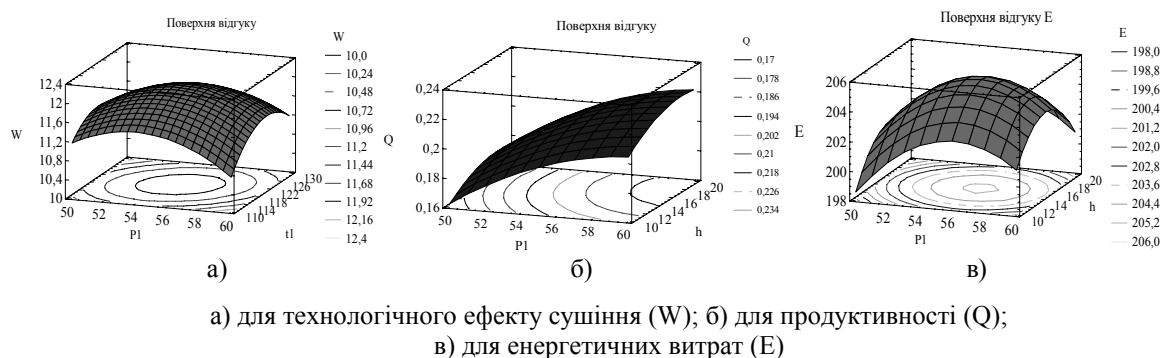


Рисунок 2 – Поверхні відгуку та лінії рівного виходу

Для визначення найбільш суттєвого впливу факторів на цільову функцію використали відображення стандартизованої Парето-карти (рис. 3).

На карті Парето наочно можна побачити фактори та їх взаємозв'язки, що мають статистично-значимі ефекти. На це вказує те, що відповідні стовпці перетинають вертикальну лінію, яка є на 95% тестом для визначення значимості, а також підтверджується графіками головних ефектів і відповідного розподілу.

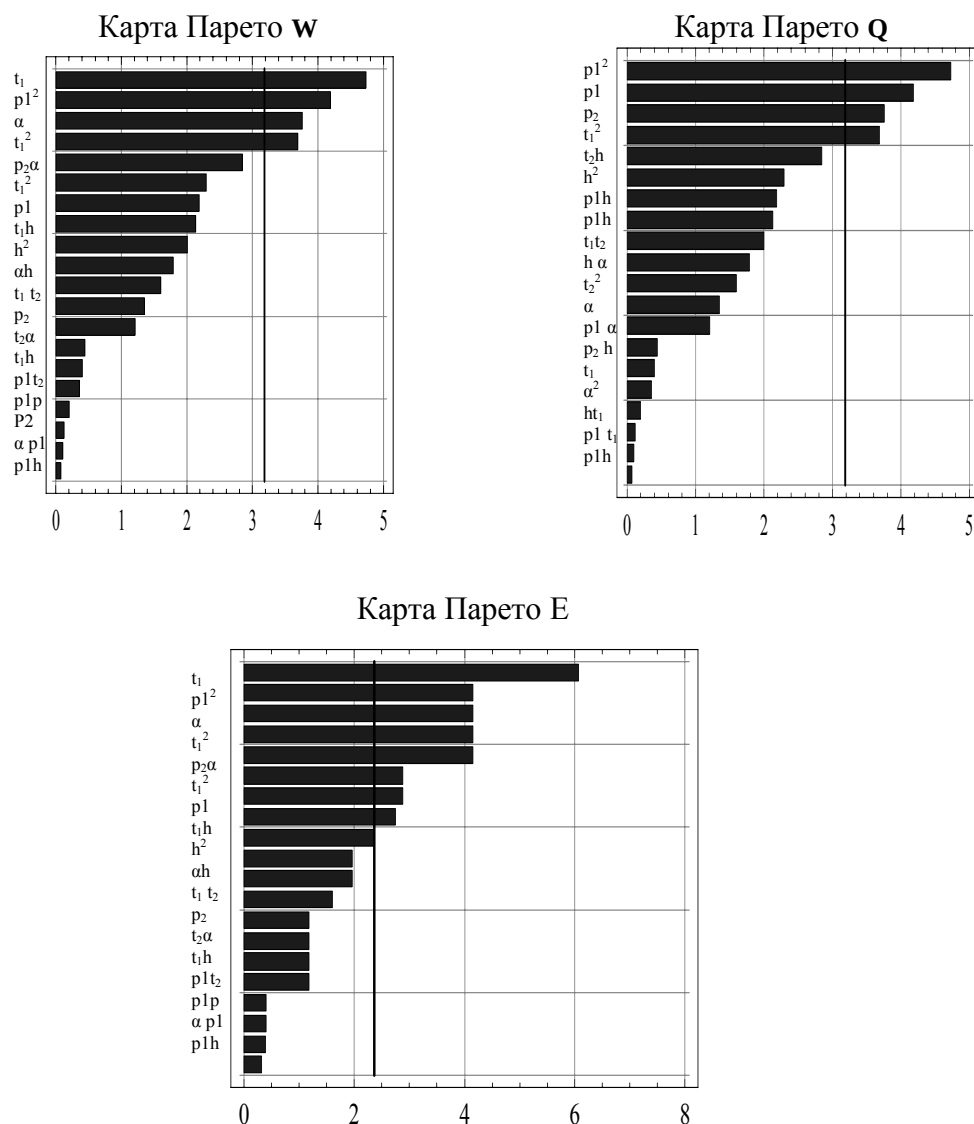


Рисунок 3 – Межа статистичного значення коефіцієнта математичного чекання

Після проведення серії дослідів, побудови Парето-карт для трьох параметрів оптимізації та побудови поверхонь відгуків були побудовані рівняння регресії в кодованих чинниках для трьох параметрів оптимізації:

$$Y_1 = 12,05 - 0,027 \cdot P_1 + 0,054 \cdot t_1 + 1,88 \cdot t_2 - 1,5 \cdot h - 0,054 \cdot \alpha - 0,53 \cdot P_1^2 + 0,182 \cdot P_1 \cdot t_1 + 0,209 \cdot P_1 \cdot t_1 - 0,344 \cdot P_1 \cdot h + 0,748 \cdot P_1 \cdot \alpha - 0,518 \cdot t_1^2 - 0,716 \cdot t_1 \cdot t_2 - 0,107 \cdot t_1 \cdot h + 0,236 \cdot t_1 \cdot \alpha - 1,5 \cdot t_2^2 + 0,39 \cdot t_2 \cdot h - 0,216 \cdot t_2 \cdot \alpha + 0,145 \cdot h^2 - 0,242688 \cdot h \cdot \alpha - 0,691625 \cdot \alpha^2;$$

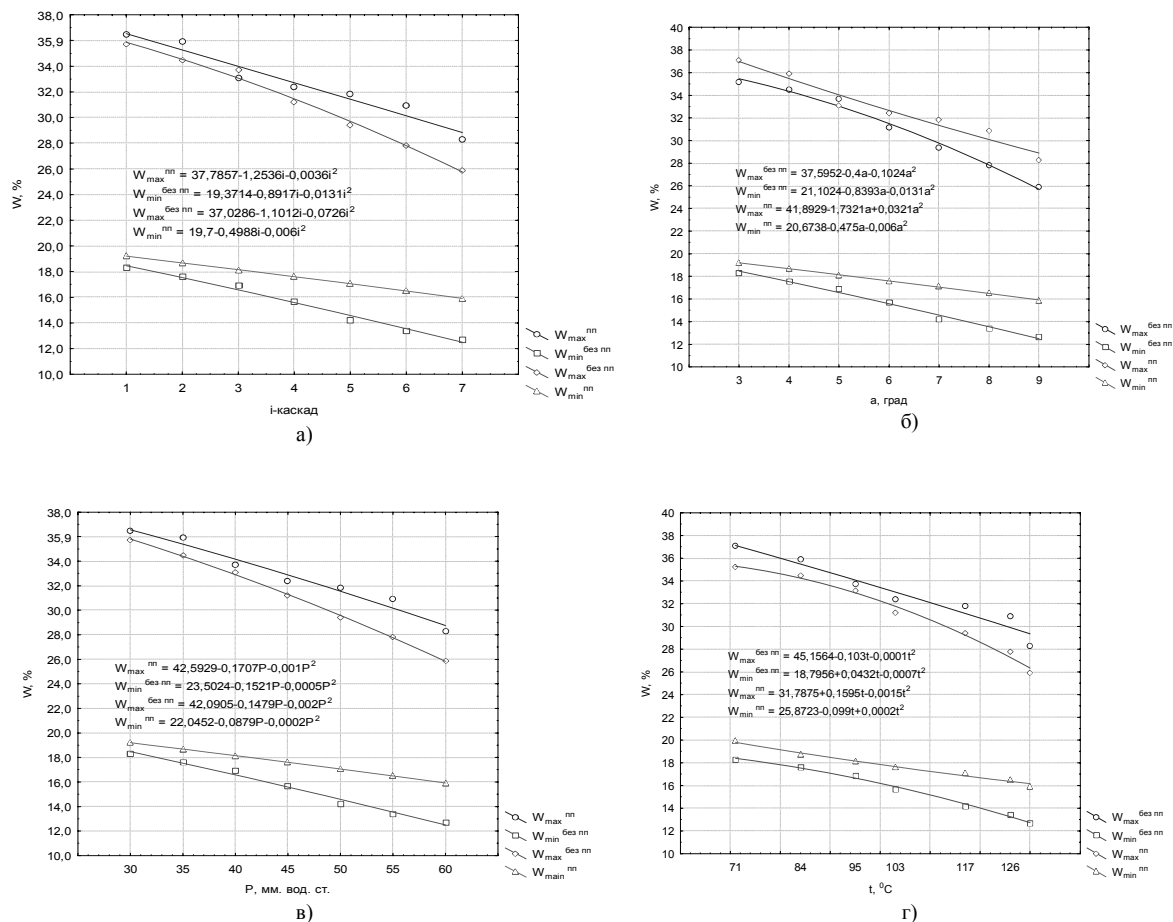
$$Y_2 = 0,206 + 0,021 \cdot P_1 - 0,007 \cdot P_2 - 0,0029 \cdot t_1 + 0,008 \cdot h - 0,008 \cdot P_1^2 - 0,008 \cdot P_1 \cdot P_2 + 0,0018 \cdot P_1 \cdot t_1 + 0,001 \cdot P_1 \cdot h - 0,00861764 \cdot P_1 \cdot \alpha - 0,004 \cdot P_2^2 + 0,004 \cdot P_2 \cdot t_1 + 0,0047 \cdot P_2 \cdot h - 0,007 \cdot P_2 \cdot \alpha - 0,003 \cdot t_1^2 - 0,002 \cdot t_1 \cdot h + 0,005 \cdot t_1 \cdot \alpha - 0,006 \cdot h^2 + 0,0008 \cdot h \cdot \alpha - 0,0006 \cdot \alpha^2;$$

$$Y_3 = 205,251 + 0,948 \cdot P_1 + 1,7 \cdot P_2 + 1,705 \cdot t_1 + 3,6 \cdot t_2 + 0,19 \cdot h - 2,62 \cdot P_1^2 + 0,853 \cdot P_1 \cdot P_2 + 0,8525 \cdot P_1 \cdot t_1 + 0,283 \cdot P_1 \cdot t_2 - 0,285 \cdot P_1 \cdot h - 2,627 \cdot P_2^2 - 1,42 \cdot P_2 \cdot t_1 - 0,85 \cdot P_2 \cdot t_2 - 0,283 \cdot P_2 \cdot h - 2,627 \cdot t_1^2 - 1,98 \cdot t_1 \cdot t_2 + 0,852 \cdot t_1 \cdot h - 1,49 \cdot t_2^2 + 1,42 \cdot t_2 \cdot h - 2,627 \cdot h^2.$$

Аналізуючи рівняння регресії та Карти Парето можна зробити висновок що на ефективність процесу сушіння значно впливають такі фактори як температура агента сушіння в установці, тиск, кут нахилу каскадів, та температура агента сушіння для попереднього прогріву зерна. На продуктивність впливає тиск агента сушіння, товщина шару насіння на каскадах, та тиск в камері для попереднього прогріву зерна. На енергетичні

витрати значно впливає температура агента сушіння в зерносушарці, температура в камері для попереднього прогріву зерна, тиск в сушарці та тиск в камері попереднього прогріву зерна, кут нахилу каскадів та товщина шару зерна на каскадах.

Після проведення експериментальних дослідів та зняття відповідних показників, котрі впливають на параметри оптимізації, були побудовані графіки вологості з попереднім прогріванням та без попереднього прогрівання (рис. 4).



а) – від кількості каскадів; б) – від кута нахилу каскаду; в) – від тиску; г) - від температури

Рисунок 4 – Графіки вологості зернової культури сої в залежності

В результаті проведення експериментальних досліджень отримані наступні раціональні значення параметрів зерносушарки каскадного типу для сушіння насіння з попереднім прогріванням, при яких підвищується ефективність сушіння (W), продуктивність (Q) і зменшуються енергетичні витрати (E). Значення чинників представлені в табл. 5-7.

Таблиця 5 – Діапазони раціональних значень параметрів зерносушальної установки каскадного типу для підвищення ефективності сушіння W, %

Тиск в сушальній камері P_1 , мм.вод.ст	Температура в сушальній камері t_1 , °C	Температура в трубі попереднього прогріву t_2 , °C	Товщина шару матеріалу h , мм	Кут нахилу робочих каскадів α , °
Соєа (W =9-10.5%)				
54-59	114-126	30-50	10-16	3-9

Таблиця 6 – Діапазони раціональних значень параметрів зерносушильної установки каскадного типу для підвищення продуктивності Q, т/год

Тиск в сушильній камері P_1 , мм.вод.ст	Тиск в трубі попереднього прогріву P_2 , мм.вод.ст	Температура в сушильній камері t_1 , °C	Товщина шару матеріалу h , мм	Кут нахилу робочих каскадів α , °
Соя (Q = 0.218-0.250 т/год)				
58-60	0-50	110-126	14-20	3-9

Таблиця 7 – Діапазони раціональних значень параметрів зерносушильної установки каскадного типу для зменшення енергетичних витрат E, кДж/кг

Тиск в сушильній камері P_1 , мм.вод.ст	Тиск в трубі попереднього прогрівання P_2 , мм.вод.ст	Температура в сушильній камері t_1 , °C	Температура в трубі попереднього прогрівання t_2 , °C	Товщина шару матеріалу h , мм
Соя (E = 206-250 кДж/кг)				
54-59	12-22	118-126	40-50	14-16

Аналізуючи табличні дані та графіки вологоз'єму видно, що сушіння насіння з попереднім прогріванням набагато ефективніше, як з точки зору ефекту сушіння, так і з точки зору часу сушіння.

Отримані вищенаведені залежності у вигляді графіків, таблиць показують, що під час процесу сушіння насіння в киплячому шарі на каскадах зерносушарки впливають як параметри сушарки (робочий тиск, кут нахилу каскадів, геометричні розміри решета та його аеродинамічний опір), так фізико-механічні властивості насіння (форма, вага, шорсткість) та шару в цілому (кут вкладання, порозність шару).

На підставі проведених експериментальних досліджень також було встановлено область раціональних значень параметрів зерносушарки каскадного типу, при яких спостерігається підвищення якісних показників роботи (ефект сушіння для зернових культур $W=9-10,5\%$, продуктивність $Q=0,250$ т/год, при енергетичних витратах $E=250$ кДж/кг):

- тиск в сушильній камері – $P_1=55-60$ мм.вод.ст.;
- температура в сушильній камері – $t_1=114-126$ °C;
- товщина шару матеріалу – $h=12-20$ мм;
- кут нахилу робочих каскадів – $\alpha=3-9^\circ$;
- температура в трубі попереднього прогрівання $t_2=45-50$ °C;
- тиск в трубі попереднього прогрівання $P_2=0-50$ мм.вод.ст.

Список літератури

1. Котов Б.І., Коваль С.М., Шустик Л.П., Цема Т.В. Технічні засоби для зберігання зерна в господарствах України // Пропозиція, 1999.-№ 11. – С. 25-27.
2. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. – М.: Колос, 1975. – 496 с.
3. Петренко М.М., Скриннік І.О. Зерносушильна установка касетного типу // Збірник наукових праць КДТУ (техніка в сільськогосподарському машинобудуванні, галузеве машинобудування, автоматизація). Випуск 15. – Кіровоград: КДТУ, 2004. – С.323 - 328.

В статье наведено експериментальные данные и определены основные закономерности влияния параметров сушки каскадного типа на качественные показатели работы во время сушки семян в кипящем слое.

In the article motion of seed is considered for to the cascades of the installation for dry grain in the boiling layer. Researches which allow in theory to define the structural parameters of dryer taking into account the features of motion of seed are resulted.