



ციტრუსოვანი ხილის მეორადი მატერიალური რესურსების თბური დამუშავების პროცესების დაგეგმვა და ოპტიმიზაცია

მიქაბერიძე მ.

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ანოტაცია: ციტრუსოვანი ხილის (მანდარინი, ფორთოხალი) მეორადი მატერიალური რესურსების ინფრაწითელი (იწ) სხივური ენერგიით თბური დამუშავების პროცესების კონტროლისა და მართვისათვის ჩვენს მიერ დადგენილია ვარიირებადი ფაქტორები და მათი დონეები, შერჩეულია რანდომიზაციის მეთოდი, შემუშავებულია მათემატიკური მოდელი, მიღებულია ოპტიმიზაციის პარამეტრების ზღვრული მნიშვნელობები (იწ ენერგიის გამოყენებით ციტრუსოვანი ხილის მეორადი მატერიალური რესურსების ბლანშირების პროცესის ოპტიმალურ პირობებში ჩასატარებლად დაცული უნდა იყოს მოქმედი ფაქტორების შემდეგი მნიშვნელობები: დასხივების სიმკვრივე $P=0,44$ კვტ/მ²; იწ გენერატორებსა და საკვლევ მასალას შორის მანძილი $H=18,4$ სმ; პროცესის ხანგრძლივობა $\tau =36$ წმ, პროცესის ტემპერატურა $T=97,15$ °C; იწ სხივების ენერგიის გამოყენებით შრომის პროცესის ოპტიმალურ პირობებში ჩასატარებლად დაცული უნდა იყოს მოქმედი ფაქტორების შემდეგი მნიშვნელობები: $P=0,28$ კვტ/მ²; $H=18,6$ სმ; $\tau =57$ წმ, $T=101,3$ °C).

საკვანძო სიტყვები: ციტრუსოვანი ხილი, თბური დამუშავება

ხეხილოვან კულტურათა შორის ციტრუსოვნები განსაკუთრებით პოპულარული ხილია. ნაყოფებს აქვთ მაღალი წვნიანობა, განსაკუთრებული არომატი და გემო; ნახშირწყლების, პექტინების, მჟავების, მინერალების და ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების მაღალი პროცენტული შემცველობა, რაც განაპირობებს მათ მაღალ კვებით, დიეტურ და სამკურნალო-პროფილაქტიკურ ღირებულებას. ქიმიური შემადგენლობით მდიდარია ასევე ციტრუსოვანი ნაყოფების ნარჩენებიც. ასე მაგალითად: კანი შეიცავს ასკორბინის მჟავას, ფლავონოიდებს, საკვებ ქსოვილბს, ხსნად პექტინს, ვიტამინებს და საუკეთესო საკვები დანამატია, კარგი მასალაა ცუკატის წარმოებისათვის, სპირტიანი არომატული სასმელების მოსამზადებლად, წარმატებით იყენებენ პარფიუმერულ წარმოებაშიც.

ცნობილია, რომ მეორადი მატერიალური რესურსების გამოყენების გაფართოება უზრუნველყოფს ნედლეულის, სათბობისა და ენერგიის ეკონომიას; ფართოვდება ნედლეულის ბაზა; მცირდება ნარჩენების მიერ უარყოფითი ზემოქმედება გარემო არეზე და სხვა.

ჩვენს ნაშრომის მიზანს შეადგენს ციტრუსოვანი ხილის (მანდარინი, ფორთოხალი) კანიდან ბიოლოგიურად აქტიური საკვების – დაბალკალორიული და დიეტური ცუკატის წარმოების პროცესის ინტენსიფიკაცია ინფრაწითელი სხივური ენერგიის (იწ) გამოყენე-

ბით. ვთავაზობთ, ციტრუსოვანი ნედლეულის – მანდარინისა და ფორთოხლის კანიდან ცუკატის წარმოების ტექნოლოგიურ სქემაში თბური პროცესების (ხარშვა, შრობა) ჩანაცვლებას (ბლანშირება, შრობა) იწ თბური ენერგიით.

კვლევები ტარდებოდა შემდეგი სქემით:

- *ექსპერიმენტის მომზადება*, რომელიც ითვალისწინებს ვარირებადი ფაქტორებისა და მათი დონეების დადგენას;
- *ექსპერიმენტის დაგეგმვა*, რომელიც მოიცავს დაკვირვებების საერთო რაოდენობის განსაზღვრას, ექსპერიმენტის ჩატარების წესის, რანდომიზაციის მეთოდის შერჩევას და მათემატიკური მოდელის და შემუშავებას;
- *ექსპერიმენტის ანალიზი*, რომელიც მოიცავს შედეგების შეგროვებას, მათ მოწესრიგებას, სტატისტიკურ გამოთვლებს და შედეგების ინტერპრეტაციას;
- *ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნა*, რომელიც ითვალისწინებს ოპტიმიზაციის მეთოდის შერჩევას, ოპტიმალური გადაწყვეტილების მისაღებად მათემატიკური მოდელის რეალიზაციას და ოპტიმალური გადაწყვეტის ანალიზს.

საკვლევი ყოველი ცალკეული ნიმუშისათვის მიღებული შედეგები დამუშავებული იქნა სტატისტიკურად. ოპტიმალური რეჟიმების დასადგენად გამოვიყენეთ ექსპერიმენტის დაგეგმვის მათემატიკური მეთოდები. ჩვენს მიზანს შეადგენდა ისეთი ტექნოლოგიური რეჟიმების ძიება, რომლის დროსაც უზრუნველყოფილი იქნება ციტრუსოვანი ნედლეულის მეორადი მატერიალური რესურსის თბური დამუშავების პროცესების სასურველ ტემპერატურამდე აყვანა შესაძლო მინიმალური ენერგო დანახარჯებით, მინიმალურ დროში.

ლაბორატორიული ექსპერიმენტებისა და მრავალწლიანი გამოცდილების გათვალისწინებით ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცაში შევიდა სამი ფაქტორი. ოპტიმიზაციის პარამეტრზე მოქმედ ძირითად ფაქტორად შერჩეული იქნა იწ სხივების დასხივების სიმკვრივე P კვტ/მ², დაშორება იწ გენერატორებსა და მასალას შორის H სმ და დასხივების პროცესის ხანგრძლივობა τ წმ.

ფაქტორები რომლებიც შევიდნენ საწარმოო ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცაში, მათი დონეები და ვარირების ინტერვალები მოყვანილია ცხრ. 1; 5-ში. ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცად გამოყენებული იქნა ცენტრალური კომპოზიციური როტატაბელური გეგმა. ცენტრალური კომპოზიციური როტატაბელური დაგეგმვის მატრიცა და ცდების შედეგები მოცემულია ცხრ. 2; 6-ში. როგორც ცხრილიდან ჩანს ექსპერიმენტი შედგება სამფაქტორიანი სრული ფაქტორული ექსპერიმენტისაგან – 8 ცდა, ვარსკვლავურ წერტილებში ცდებისაგან – 6 ცდა და ცდებისაგან ექსპერიმენტის ცენტრში – 6 ცდა. სულ ექსპერიმენტის რეალიზაციისათვის (ბლანშირება, შრობა) განხორციელდა 20-20 ცდა.

სისტემატური და შემთხვევითი ცდომილებების ნიველირებისათვის გამოყენებული იქნა რანდომიზაციის მეთოდი. ცდები ტარდებოდა შემთხვევითი რიცხვების მიმდევრობით (ცხრ. 2, 6) ერთი და იგივე მეთოდიკით იდენტურ პირობებში.

შერჩეული მატრიცის რეალიზა არაარსებითი ეფექტების გამორიცხვის შემდეგ საშუალებას იძლევა ტექნოლოგიური პროცესები „ბლანშირება“, „შრობა“ წარმოდგენილი იქნეს შემდეგი სახის ადეკვატური რეგრესიის განტოლებებით კოდირებულ მასშტაბში:

$$T = 98 + 1,0X_1 + 1,2X_2 + 1,6X_3 + 2,0X_1^2 + 4,0X_2^2 + 2,0X_3^2 - 2,4X_2X_3, \quad (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

$$T = 102 + 1,0X_1 + 1,2X_2 + 1,6X_3 + 2,0X_1^2 + 4,0X_2^2 + 2,0X_3^2 - 2,4X_2X_3, \quad (^\circ\text{C}) \quad (2)$$

ცდების დისპერსიის გაანგარიშების შედეგები მოცემულია ცხრ. 3-ში.

ცდების დისპერსიები T პარამეტრისთვის იქნება:

$$S_y = (Y_{\text{შპა}} - Y_{\text{ფორმ}})^2 / 5 = 27 : 5 = 5,4, \quad (3)$$

ცხრილი 1

ციტრუსოვანი ხილის მეორადი მატერიალური რესურსების ბლანშირების
(თბური დამუშავება) ექსპერიმენტის პირობები

ფაქტორები და მათი დონეები	დასხივების სიმკვრივე P, კვტ/მ ²	მანძილი იწ გენერატორებსა და მასალას შორის H, სმ	პროცესის ხანგრძლივობა, T, წმ
კოდირებული აღნიშვნა	X ₁	X ₂	X ₃
ძირითადი დონე	0,45	20	45
ვარიაციების ინტერვალი	0,05	5	10
ზედა დონე (+1)	0,50	25	55
ქვედა დონე (-1)	0,40	15	35
მხარი (+1,683)	0,53	26,8	62
მხარი (-1,683)	0,35	13,2	28

ცხრილი 2

ციტრუსოვანი ხილის მეორადი მატერიალური რესურსების ბლანშირების ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა და ცდების შედეგები

# რიგზე	ცდის#	X ₁	X ₂	X ₃	Y _i (T)
1	13	-1	-1	-1	93,8
2	9	1	-1	-1	95,8
3	2	-1	1	-1	101,0
4	11	1	1	-1	103,0
5	10	-1	-1	1	101,8
6	1	1	-1	1	103,8
7	12	-1	1	1	99,4
8	3	1	1	1	101,4
9	14	-1,683	0	0	96,0
10	5	1,683	0	0	99,4
11	8	0	-1,683	0	101,4
12	7	0	1,683	0	104,4
13	4	0	0	-1,683	95,0
14	6	0	0	1,683	100,4
15	15	0	0	0	97
16	16	0	0	0	100
17	17	0	0	0	101
18	18	0	0	0	98
19	19	0	0	0	96
20	20	0	0	0	97

ციტრუსოვანი ხილის მეორადი მატერიალური რესურსების ბლანშირების ცდების დისპერსიის სა-
ანგარიშო მონაცემები

#	Y ექსპ	Y ფორმ	Y ექსპ - Y ფორმ	(Y ექსპ - Y ფორმ) ²
1	99	98	1	1
2	100	98	2	4
3	101	98	3	9
4	98	98	0	0
5	96	98	2	4
6	95	98	3	9

ჯამი: 27

სადაც $f_1 = N_0 - 1 = 6 - 1 = 5$ _ თავისუფლების ხარისხი ექსპერიმენტის ცენტრში;

$f_2 = N - N_0 + 1 - m = 20 - 6 + 1 - 8 = 7$ _ ექსპერიმენტის თავისუფლების ხარისხი;

$N_0 = 6$ _ ცდების რიცხვი ექსპერიმენტის ცენტრში;

$m = 8$ _ არსებითი კოეფიციენტების რიცხვი (1) რეგრესიის განტოლებაში.

(1) განტოლების კოეფიციენტების არსებითობა შევამოწმეთ სტიუდენტის კრიტერიუმით, ხოლო მოდელების ადეკვატურობა ფიშერის კრიტერიუმით. სტატისტიკური ანალიზის შედეგები **0,95** ალბათობისათვის გვიჩვენებენ განტოლების ადეკვატურობასა და ვარგისიანობას ნაშრომში დასახული მიზნის რეალიზაციისათვის (ცხრ. 4).

რეგრესიის განტოლებების სტატისტიკური ანალიზის შედეგები

მახასიათებლები	f_1	f_2	S^2_{γ}	$F_{საანგ}$	$F_{კრიტ}$	$t_{20;0,95}$	α
T, °C	5	7	5,4	2,32	4,88	2,086	0,95

აქ გათვალისწინებულია, რომ ცდების დისპერსია $S^2_{\gamma}=16,24$; ხოლო ფიშერის კრიტერიუმის საანგარიშო მნიშვნელობა $F_{საანგ}=S^2_{\gamma}/f_2=16,24/7=2,32$ ნაკლებია ფიშერის კრიტერიუმის კრიტიკულ მნიშვნელობაზე $F_{კრიტ}=4,88$ (როცა $f_1=5, f_2=7$ და სტიუდენტის კრიტერიუმი $t=2,086, \alpha=0,95$ უტყუარობისათვის). შესაბამისად, მიღებული რეგრესიის (1) განტოლება ადეკვატურად აღწერს გამოსაკვლევ პროცესს.

(1) რეგრესიის განტოლებაში პროცესზე მოქმედი ფაქტორები კოდირებულ მასშტაბშია წარმოდგენილი. მათი ნატურალურზე გადაყვანა ცხრ.1-ის მონაცემების შესაბამისად შესაძლებელია შემდეგი ფორმულებით:

$$X_1 = (P - 0,45) / 0,05; \quad X_2 = (H - 20) / 5; \quad X_3 = (t - 35) / 10 \quad (4)$$

ფაქტორების ოპტიმალურ მნიშვნელობებს ვღებულობთ (1) რეგრესიის განტოლების კერძო წარმოებულების მოძებნითა და ნულისათვის გატოლებით ყველა ფაქტორისათვის. გვაქვს:

$$dT/dX_1 = 1 + 4 X_1 = 0; \quad dT/dX_2 = 1,2 + 8 X_2 - 2,4 X_3 = 0; \quad dT/dX_3 = 1,6 + 4 X_3 - 2,4 X_2 = 0.$$

აღნიშნულ განტოლებათა სისტემის ქვეშ მოქცევითა და ამოხსნით ვგებულობთ ფაქტორების ოპტიმალურ მნიშვნელობებს კოორდინირებულ მასშტაბში:

$$X_1 = - 0,25; \quad X_2 = - 0,33; \quad X_3 = - 0,5.$$

ნატურალურ მასშტაბში გადაყვანას ვახორციელებთ (4) ფორმულებით.

ამრიგად, იწ სხივების ენერჯის გამოყენებით ციტრუსოვანი ხილის მეორადი მატერიალური რესურსების ბლანშირების პროცესის ოპტიმალურ პირობებში ჩასატარებლად დაცული უნდა იყოს მოქმედი ფაქტორების შემდეგი მნიშვნელობები ნატურალურ მასშტაბში: დასხივების სიმკვრივე $P=0,44$ კვტ/მ²; იწ გენერატორებსა და საკვლევ მასალას შორის მანძილი $H=18,4$ სმ; პროცესის ხანგრძლივობა $T=36$ წმ. ამ დროს (1) განტოლებით ვღებულობთ ოპტიმიზაციის პარამეტრის სასურველ მნიშვნელობას: $T=97,15$ °C.

ცხრილი 5

ციტრუსოვანი ხილის მეორადი მატერიალური რესურსების შრობის ექსპერიმენტის პირობები

ფაქტორები და მათი დონეები	დასხივების სიმკვრივე P, კვტ/მ ²	მანძილი იწ გენერატორებსა და მასალას შორის H, სმ	პროცესის ხანგრძლივობა, T, წმ
კოდირებული აღნიშვნა	X ₁	X ₂	X ₃
ძირითადი დონე	0,30	20	60
ვარიაციების ინტერვალი	0,05	5	10
ზედა დონე (+1)	0,40	25	55
ქვედა დონე (-1)	0,20	15	35
მხარი (+1,683)	0,46	26,8	62
მხარი (-1,683)	0,14	13,2	28

ცხრილი 6

ციტრუსოვანი ხილის მეორადი მატერიალური რესურსების შრობის ექსპერიმენტის დაგეგმვის მატრიცა და ცდების შედეგები

# რიგზე	ცდის#	X ₁	X ₂	X ₃	Y _i (T)
1	13	-1	-1	-1	99,5
2	9	1	-1	-1	100,8
3	2	-1	1	-1	106,0
4	11	1	1	-1	101,0
5	10	-1	-1	1	106,8
6	1	1	-1	1	108,8
7	12	-1	1	1	104,4
8	3	1	1	1	106,4
9	14	-1,683	0	0	102,0
10	5	1,683	0	0	104,4
11	8	0	-1,683	0	106,4
12	7	0	1,683	0	109,4
13	4	0	0	-1,683	100,0
14	6	0	0	1,683	105,4
15	15	0	0	0	102,0
16	16	0	0	0	105,0
17	17	0	0	0	106,0
18	18	0	0	0	103,0
19	19	0	0	0	101,0
20	20	0	0	0	102,0

ცდების დისპერსიის გაანგარიშების შედეგები მოცემულია ცხრ.7-ში.

ცდების დისპერსიები T პარამეტრისთვის იქნება:

$$S_y^2 = (Y_{\text{ექსა}} - Y_{\text{ფორმ}})^2 / 5 = 5,4, \quad (5)$$

ცხრილი 7

ციტრუსოვანი ხილის მეორადი მატერიალური რესურსების შრობის ცდების დისპერსიის საანგარიშო მონაცემები

#	Y _{ექსა}	Y _{ფორმ}	Y _{ექსა} - Y _{ფორმ}	(Y _{ექსა} - Y _{ფორმ}) ²
1	103	102	1	1
2	104	102	2	4
3	105	102	3	9
4	102	102	0	0
5	100	102	2	4
6	99	102	3	9

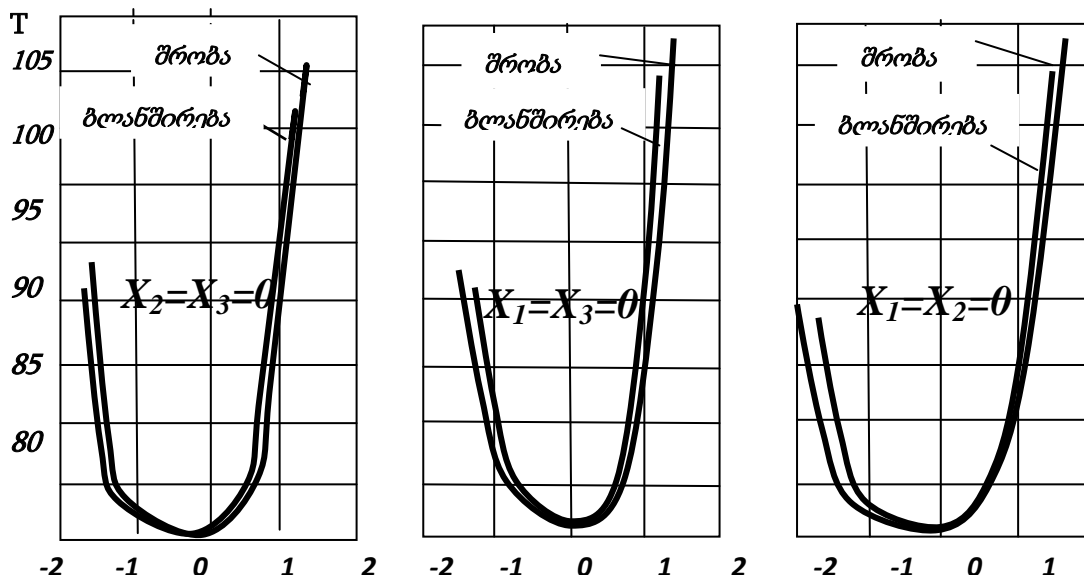
ჯამი: 27

იწ სხივების ენერჯიის გამოყენებით ციტრუსოვანი ხილის მეორადი მატერიალური რესურსების შრობის ცდების სტატისტიკური შედეგების **0,95** ალბათობის ანალიზი ანალოგიურია ნფრაწითელი სხივების ენერჯიის გამოყენებით ციტრუსოვანი ხილის მეორადი მატერიალური რესურსების ბლანშირების ცდების ადეკვატურობის და ვარგისიანობის.

(2) რეგრესიის განტოლებაში პროცესზე მოქმედი ფაქტორები კოდირებულ მასშტაბშია წარმოდგენილი. მათი ნატურალურზე გადაყვანა ცხრ. 5-ის მონაცემების შესაბამისად შესაძლებელია შემდეგი ფორმულებით:

$$X_1 = (P - 0,30) / 0,05; \quad X_2 = (H - 20) / 5; \quad X_3 = (t - 55) / 10. \quad (6)$$

მიღებული მათემატიკური მოდელის ერთზომადი კვეთები მოცემულია ნახ. 1-ზე.



ნახ. 1 ოპტიმიზაციის პარამეტრის ერთზომადი კვეთები

ამრიგად, იწ სხივების ენერჯის გამოყენებით ციტრუსოვანი ხილის მეორადი მატერიალური რესურსების შრობის პროცესის ოპტიმალურ პირობებში ჩასატარებლად დაცული უნდა იყოს მოქმედი ფაქტორების შემდეგი მნიშვნელობები ნატურალურ მასშტაბში: დასხივების სიმკვრივე $P=0,28$ კვტ/მ²; იწ გენერატორებსა და საკვლევ მასალას შორის მანძილი $H=18,6$ სმ; პროცესის ხანგრძლივობა $\tau =57$ წმ. ამ დროს (2) განტოლებით ვღებულობთ ოპტიმიზაციის პარამეტრის სასურველ მნიშვნელობას: $T=101,3$ °C.

ლიტერატურა

1. მიქაბერიძე მ. კვების საწარმოების პროცესები და მანქანა-აპარატურული სისტემები. სახელმძღვანელო. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ქ. ქუთაისი. 2015 წ. 492 გვ.;
2. მიქაბერიძე მ. თბოტექნიკისა და სამაცივრო ტექნიკის საფუძვლები. დამხმარე სახელმძღვანელო. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ქ. ქუთაისი. 2015 წ. 272 გვ.;
3. მიქაბერიძე მ., კინწურაშვილი ქ. ხილ-ბოსტნეულის შრობის ტექნოლოგია და ტექნოლოგიური მოწყობილობა. სახელმძღვანელო. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ქ. ქუთაისი. 2014 წ. 300 გვ.;
4. Микаберидзе М.Ш., Кинцурашвили К.М. Интенсификация технологических процессов производства низкокалорийных диетических цитрусовых цукатов и функциональных добавок // Аэкономика: экономика и сельское хозяйство, 2017. №6 (18). URL: <http://aeconomy.ru/science/agro/intensifikatsiya-tehnologicheskikh/>
5. Микаберидзе М.Ш., Микаберидзе Ш.Н. Интенсификация процесса бланширования овощного сырья в поле инфракрасных лучей. Аэкономика: экономика и сельское хозяйство, Электронный научный журнал. 2016. №4 (12). URL: <http://aeconomy.ru/science/agro/intensifikatsiya-protssesa-blanshir/>;

PLANNING AND OPTIMIZATION OF HEAT PROCESSING PROCESSES OF CITRUS FRUIT (MANDARIN, ORANGE)

Mikaberidze M.

Summary: To monitor and control processes of heat treatment of secondary material resources (mandarin, orange) with infrared rays in our set variable factors and their levels, selected the method of randomization, a mathematical model has been developed, the obtained parameters for optimization of limit values (for the purpose of conducting optimal conditions for the use of citrus fruit secondary material resources in the optimal conditions, the following values of the following factors should be maintained: density of irradiation $P=0,44$ kwt/m²; distance between generators and research materials $H=18,4$ sm; duration of the process $\tau =36$ sec, process temperature $T=97,15$ °C; to ensure optimum conditions for the drying process using infrared energy, the following values should be maintained: $P=0,28$ kwt/m²; $H=18,6$ sm; $\tau =57$ sec, $T=101,3$ °C).