

Дослідження дифузійних процесів та моделювання основного технологічного процесу у виробництві цукатів

Студент
Яремак Б.
О.



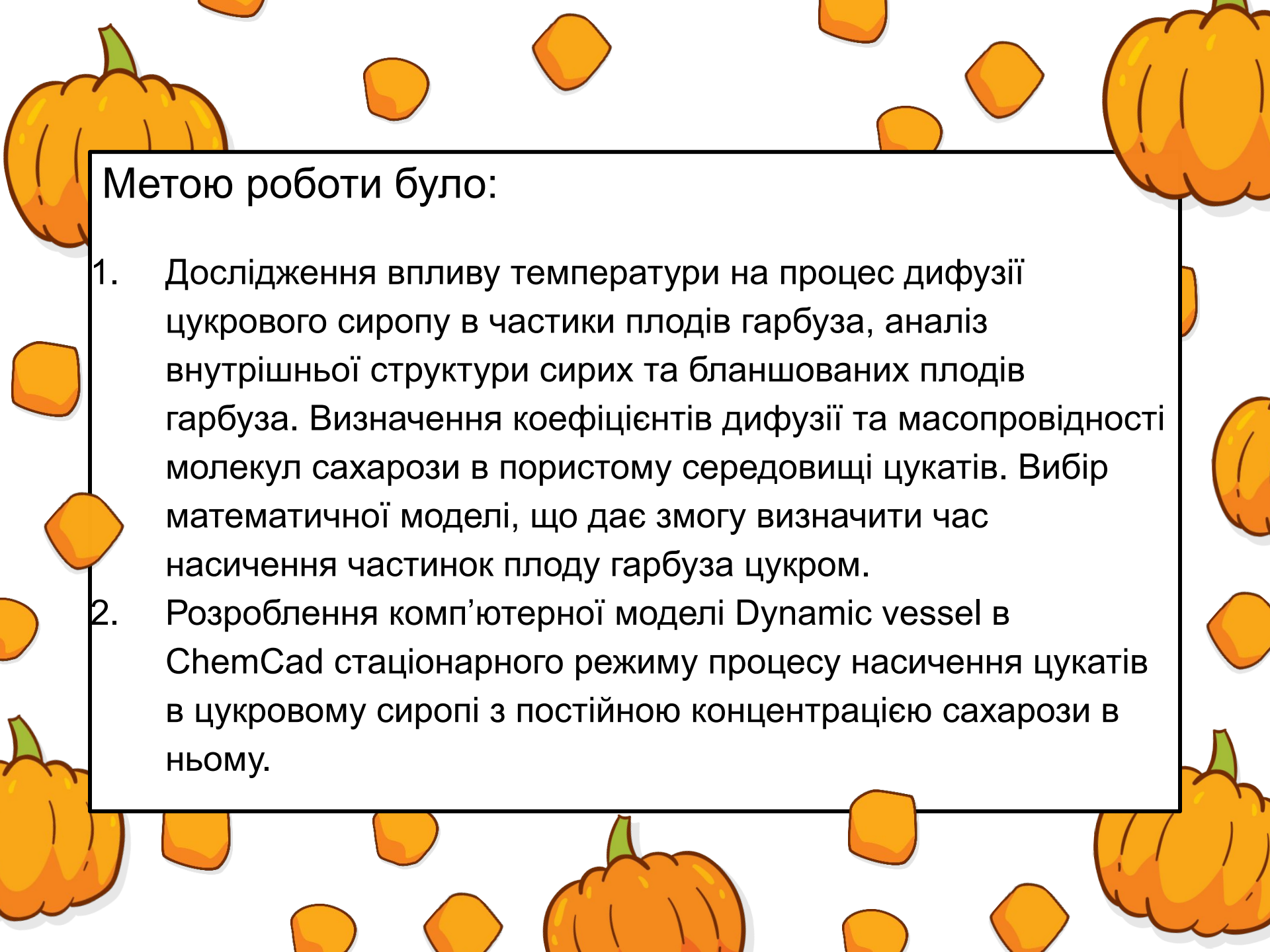
Доц. к.т.н.
Гузьова І.
О.

Сьогодні в Україні зростає інтерес до виробництва цукатів з корисної та широко доступної сировини, такої, як гарбуз.

Підвищення якості цукатів відбувається на етапі вивчення впливу різних чинників на процес дифузії цукрового сиропу в рослинну сировину. Ця сировина являє собою капілярно-пористе тіло зі складною структурою. Саме тому на значення коефіцієнтів дифузії сахарози в рослинну сировину та на перебіг дифузійного процесу в цілому будуть впливати температура цукрового сиропу, а також форма, розміри та внутрішня структура сировини.

Щоб корисні для організму людини речовини у продукті були максимально збережені необхідно удосконалювати процеси та обладнання виробництва.

Універсальна моделююча програма ChemCad дозволяє провести моделювання процесу насичення плодів гарбуза цукром. Результати моделювання дають можливість здійснення технологічного процесу з мінімальними енергозатратами та максимальним збереженням поживних речовин в готовому продукті, в якому єдиним консервантом буде цукор.



Метою роботи було:

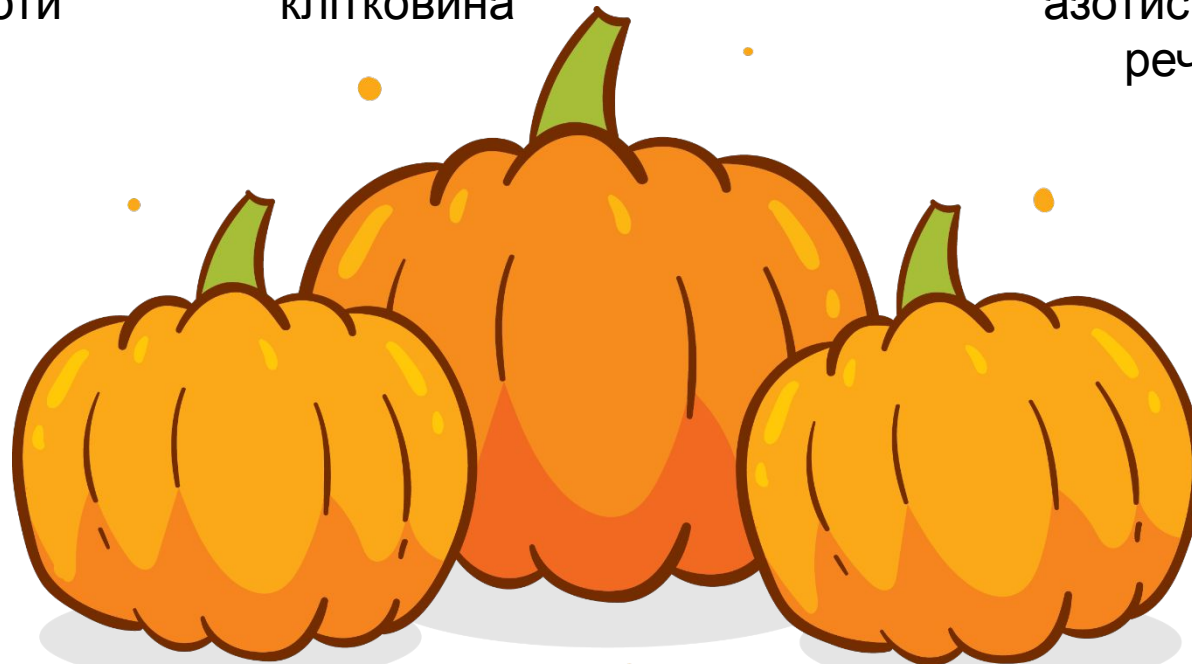
1. Дослідження впливу температури на процес дифузії цукрового сиропу в частинки плодів гарбуза, аналіз внутрішньої структури сирих та бланшованих плодів гарбуза. Визначення коефіцієнтів дифузії та масопровідності молекул сахарози в пористому середовищі цукатів. Вибір математичної моделі, що дає змогу визначити час насичення частинок плоду гарбуза цукром.
2. Розроблення комп'ютерної моделі Dynamic vessel в ChemCad стаціонарного режиму процесу насичення цукатів в цукровому сиропі з постійною концентрацією сахарози в ньому.

Хімічний склад

0,01-0,05%
кислоти

0.7-1.2%
клітковина

0,3-1,0%
азотисті
речовини

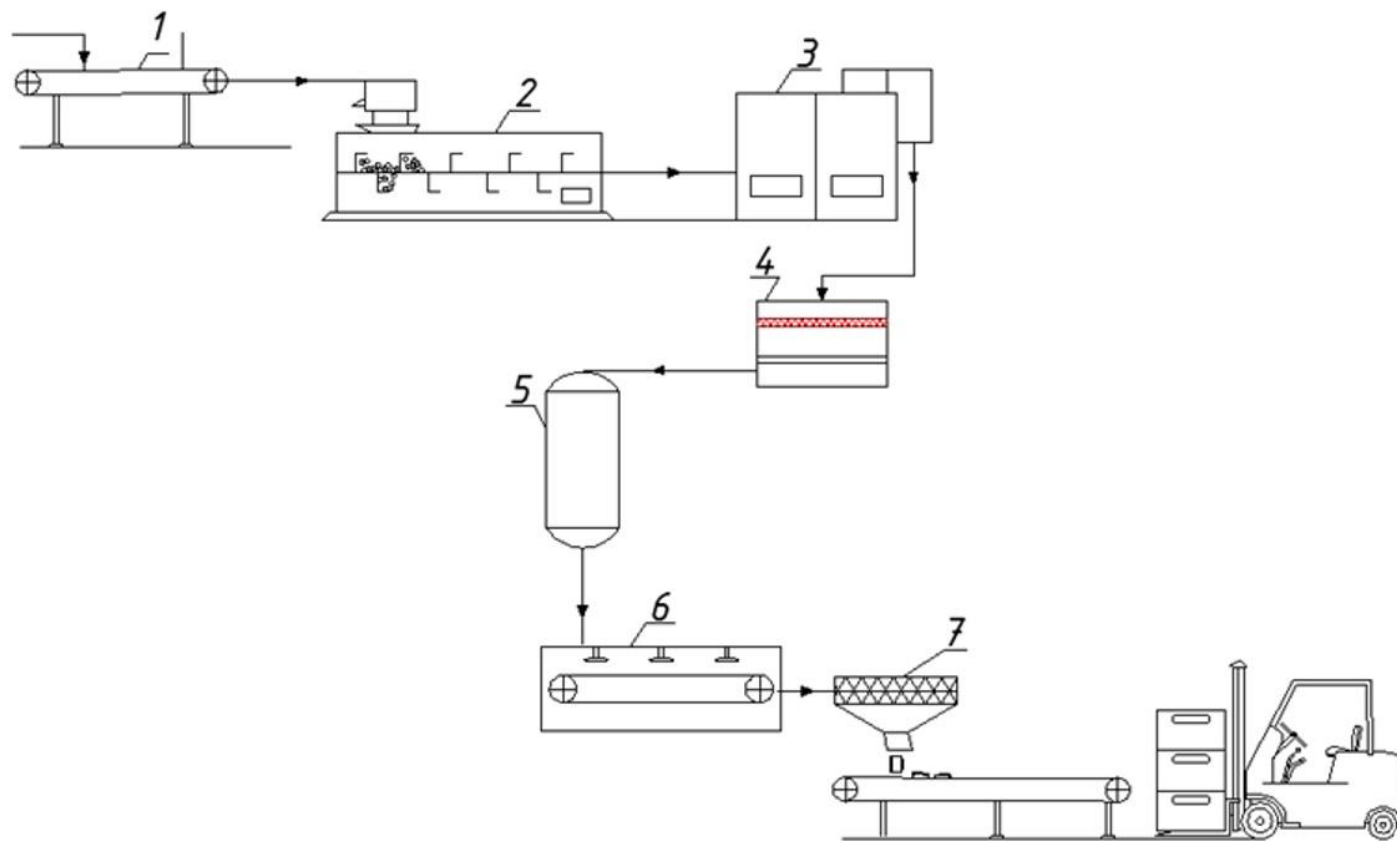


0,4-0,8 % зола

92-94%
вода

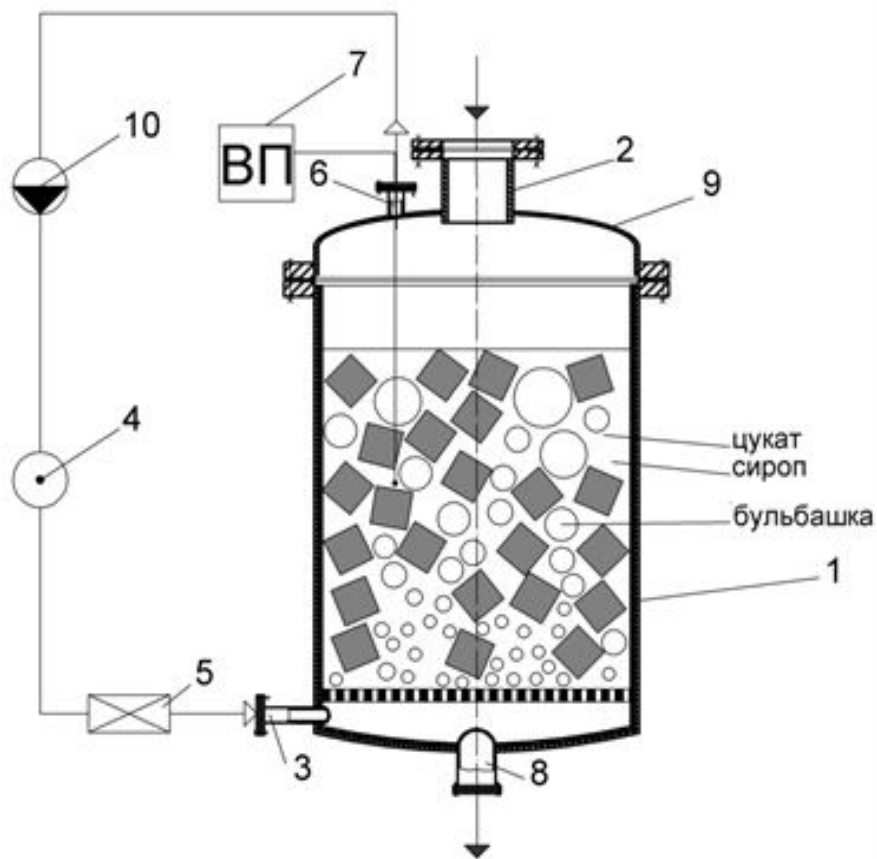
0.3-0.8% пектини

Технологічна схема виробництва цукатів



1 – конвеєрна стрічка, 2- миїно-калібрувальний комплекс
3 – машина для видалення насінного гнізда, 4 - машина для різання плодів на кубики, 5 – реактор, 6 - сушарка, 7 - фасувально-пакувальний автомат

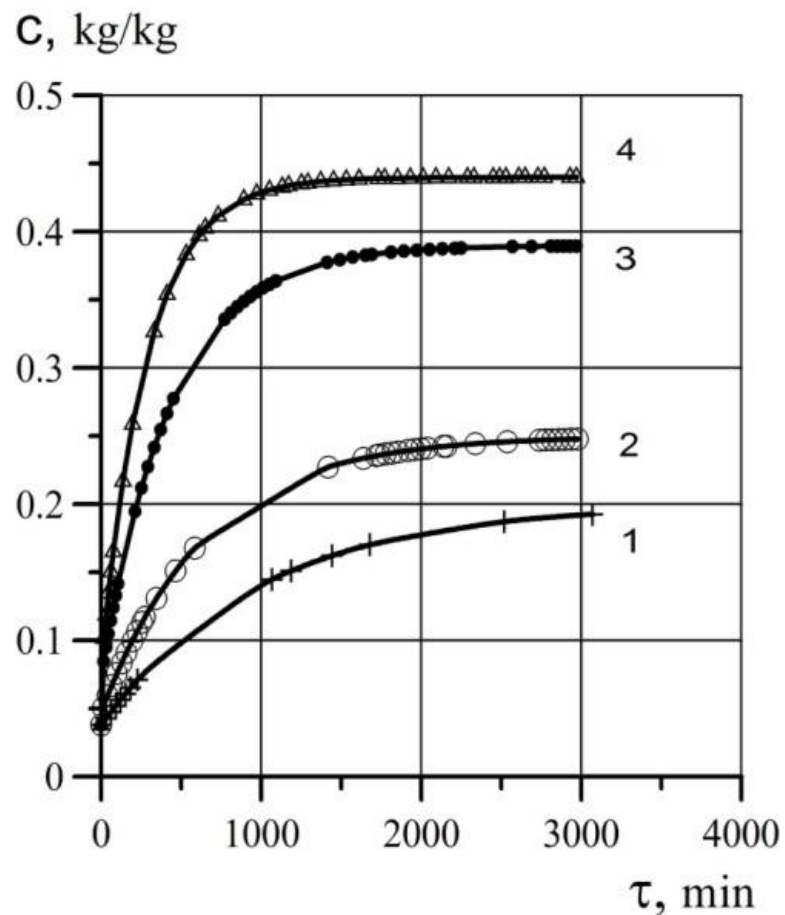
Схема установки насичення частинок гарбуза цукром



- 1 – корпус циліндра;
- 2 – штуцер для подачі цукрового сиропу та частинок гарбуза;
- 3 – патрубок подачі стиснутого повітря;
- 4 – вентилятор;
- 5 – калорифер;
- 6 – патрубок для виходу повітря;
- 7 – прилад для вимірювання температури;
- 8 –штуцер для зливу сиропу;
- 9 – кришка;
- 10 – краплевдбійник.

Результати експериментальних досліджень впливу температури на зміну концентрації цукру в плодах гарбуза

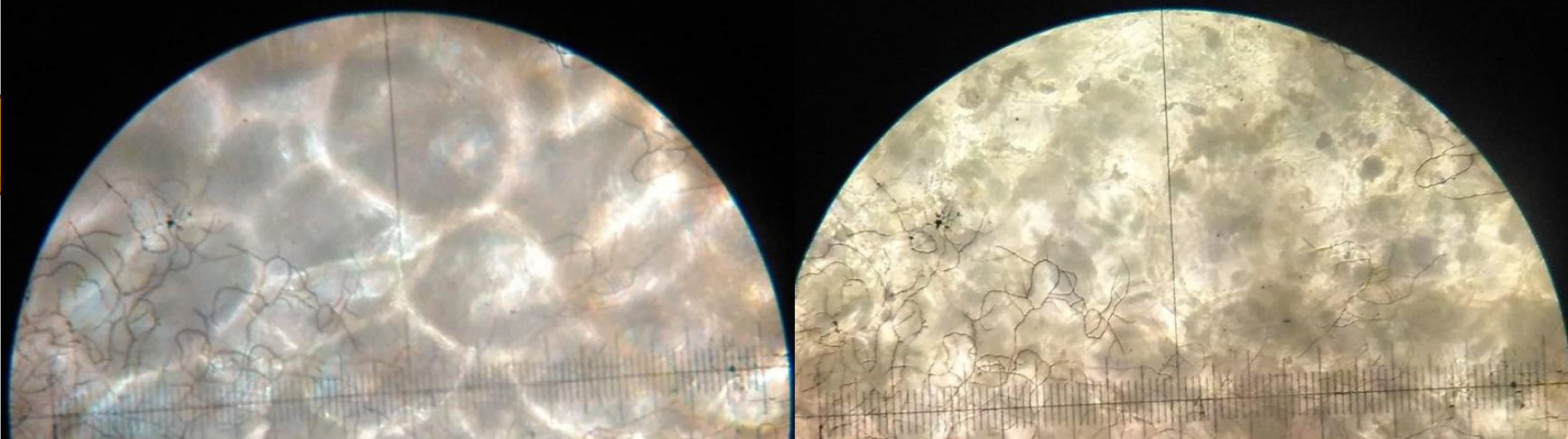
- 1 - 20 °C;
- 2 - 40 °C;
- 3 - 60 °C;
- 4 - 80 °C



Фотографії клітини плоду гарбуза

сирого

бланшованого

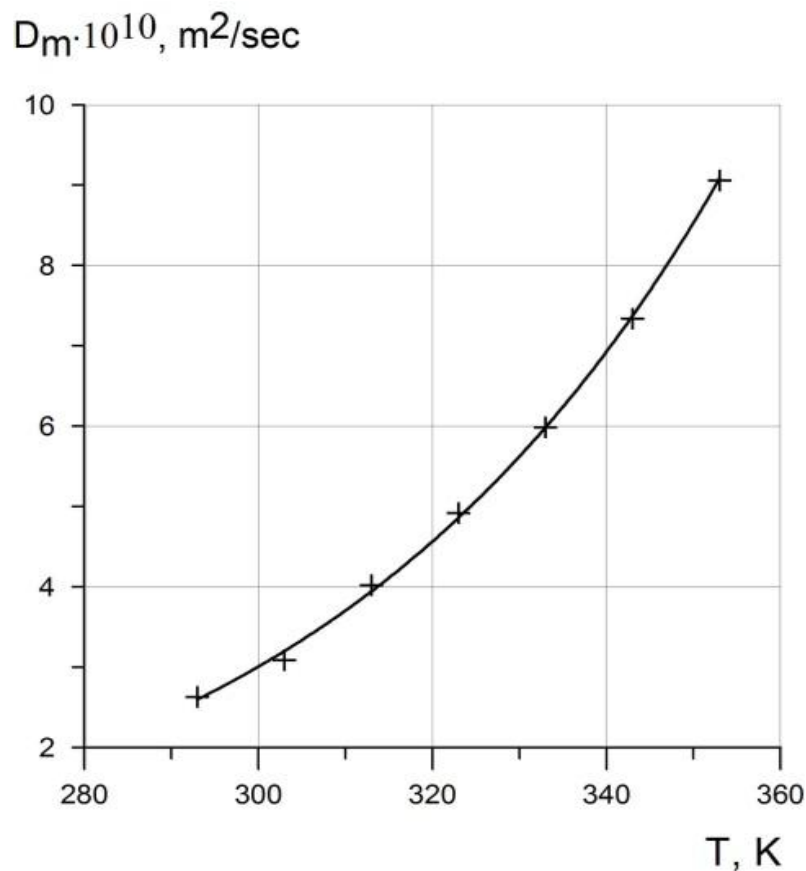


$$D_c = \frac{k \cdot T}{6 \cdot \pi \cdot \mu \cdot r}$$

$$D_m = m \cdot D_c$$

Залежність коефіцієнту масопровідності молекул сахарози у бланшованих плодах гарбуза від температури середовища

$$D_{m_T} = 2.2 \cdot 10^{-3} \cdot D_{m_{293}} \cdot e^{0.02 \cdot T}$$



Математична модель

Кінетика дифузійних процесів описує закон Фіка:

$$\frac{\partial c_2}{\partial \tau} = D_m \cdot \left(\frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c_2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c_2}{\partial z^2} \right)$$

Приєднаємо до диференціального рівняння крайові умови:

$$\begin{aligned} \tau=0; c_2=c_0 = \text{const} \\ c_{2\Pi}=0. \end{aligned}$$

Тоді результатом розв'язку рівняння в загальному вигляді буде:

$$\frac{c_2}{c_0} = A \cdot e^{-s \cdot \frac{D_m \cdot \tau}{R^2}}$$

R – характерний розмір

c_2 – біжуча концентрація

A, s - коефіцієнти, які залежать від форми частинки

Узагальнити результати досліджень на основі математичної моделі можливо за наступних умов:

- Пористі тіла повинні мати ізотропну структуру;
- Суміш частинок має бути монодисперсною;
- Перемішування двофазної системи має бути інтенсивним;
- Вилучення має відбуватись більшим об'ємом рідини в порівнянні з об'ємом пор.

Для останньої умови було отримане рівняння, яке визначає кінетику вилучення з обмеженого об'єму рідини в умовах систематичного збільшення концентрації речовини в пористому тілі:

$$1 - \frac{c}{c_p} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot e^{-s_n \cdot \frac{D_m \cdot \tau}{R^2}}$$

Приймаємо, що характерним розміром R є еквівалентний радіус частинки кубічної форми, який розраховується згідно залежності:

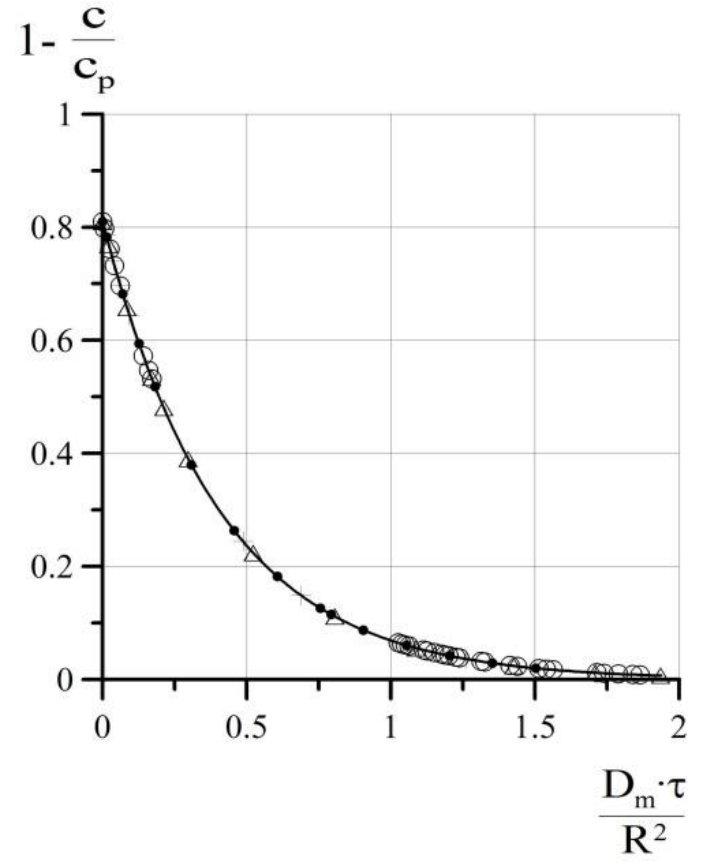
$$a^3 = \frac{\pi \cdot 8 \cdot R^3}{6}$$
$$6 \cdot a^2 = 4 \cdot \pi \cdot R^2$$

$$A = \sqrt{\frac{6}{4 \cdot \pi}} = 0.69$$

$$s = 4 \cdot \left(\frac{\pi}{6}\right)^{2/3} = 2.6$$

Крива узагальнення експериментальних даних зміни концентрації сахарози в цукатах гарбуза в часі за температур 20 °С; 40 °С; 60 °С; 80 °С

$$1 - \frac{c}{c_p} = 0.69 \cdot e^{-2.6 \cdot \frac{2.2 \cdot 10^{-3} \cdot D_{m293} \cdot e^{0.02T}}{R^2} \cdot \tau}$$



Моделювання стаціонарного режиму процесу насичення цукатів

Dynamic vessel – модуль моделюючої програми ChemCad

Вихідні дані:

1 - $G_{s1} = 3.8$ кг/хв,

$x_s = 0.70$

3 - $G_{z2} = 1$ кг/хв,

$x_z = 0.05$

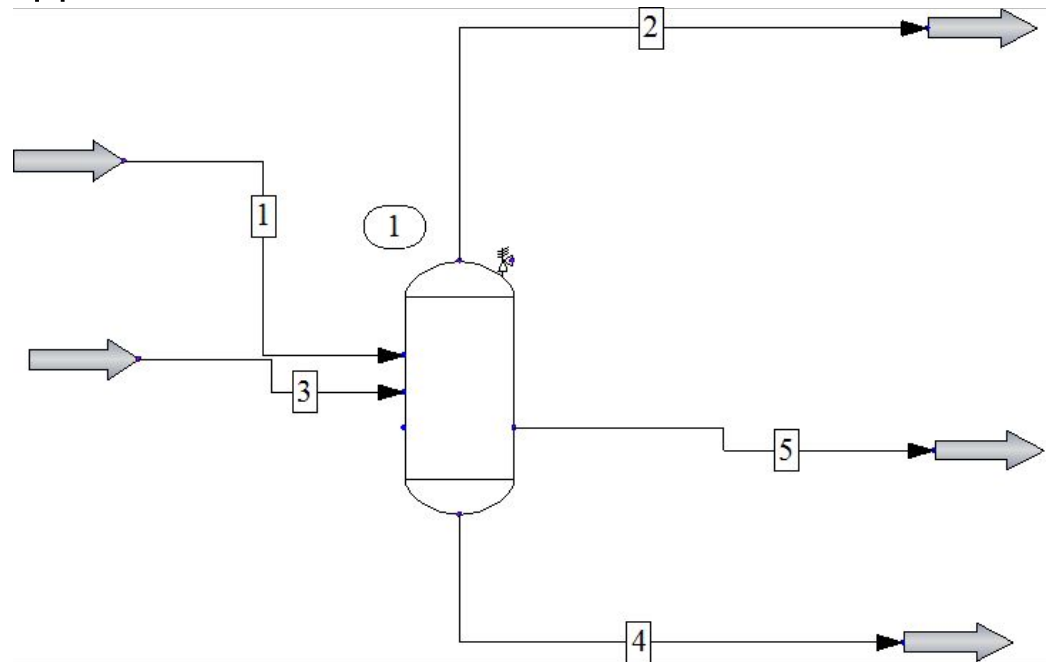
Тиск в реакторі - 1 атм

Температура - 80°C

Необхідна умова - **Constant Level**

Термодинамічний режим - **Isothermal**

Гідродинамічний режим - **Bubbly**



CHEMCAD

CC-STEADY STATE +
CC-DYNAMICS +
CC-BATCH +
CC-THERM +
CC-SAFETY NET +
CC-FLASH +

Значення результатів моделювання потоків

FLOW SUMMARIES:

Stream No.	1	2	3	4	5
Stream Name					
Temp C	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Pres. atm	1.0200	1.0009	1.0200	1.0009	1.0009
Enth MJ/min	-33.747	-46.571	-15.117	-2.8793	-19.744
Vapor mole frac.	0.00000	1.0000	0.00000	0.00000	0.00000
Total kmol/min	0.06106	0.1943	0.05288	0.004272	0.02929
Total kg/min	3.800	3.500	1.000	0.3500	2.400
Total <u>std</u> L m3/h	0.1696	0.2100	0.05898	0.01510	0.1035
Total <u>std</u> V m3/h	82.11	261.26	71.11	5.75	39.40
Flowrates in kg/min					
Water	0.9500	3.500	0.9500	0.06180	0.4237
Sucrose	2.850	0.0002510	0.05000	0.2882	1.976
- - Overall - -					
Vapor mole fraction	0.0000	1.000	0.0000	0.0000	0.0000
Average mol wt	62.23	18.02	18.91	81.93	81.93
Actual dens kg/m3	1298.0	0.5940	974.9	1345.0	1345.0
Actual vol m3/h	0.1756	353.5	0.06155	0.01561	0.1070
Mass flow kg/min		3.500			
Average mol wt		18.02			
Actual dens kg/m3		0.5940			
Actual vol m3/h		353.5			
Cp J/kmol-K		3.744E+004			
Z factor		0.9915			
Visc Pa-sec		1.218e-005			
Th cond W/m-K		0.0249			
Cp J/kmol-K	1.338E+005		7.729E+004	1.595E+005	1.595E+005
Z factor	0.0023		0.0009	0.0029	0.0029
Visc Pa-sec	0.0003248		0.0002814	0.0003467	0.0003467
Th cond W/m-K	0.2382		0.6466	0.2025	0.2025
Surf. tens. N/m	0.06520		0.05893	0.06614	0.06614

Результати конструктивного та механічного розрахунків реактора та його складальних одиниць

PRELIMINARY VERTICAL VESSEL SIZING

Loadings and Properties

	Vapor		Liquid
Flowrate	4.8000	kg/min	0.0389 kg/min
Flowrate	334.9038	m3/h	0.0017 m3/h
Density	0.8599	kg/m3	1344.9485 kg/m3

K constant	0.0785	m/sec
Min disengaging height	1.2192	m
Min liq to inlet height	0.4572	m
Mist eliminator	0.1524	m
Design pressure	1.2011	atm
Allowable stress	1021.7108	atm
Shell joint efficiency	1.0000	
Head joint efficiency	1.0000	
Head type	Ellipsoidal	
Corrosion allowance	0.0032	m
Vessel density	7833.4128	kg/m3
Weight percent allowance	20.0000	

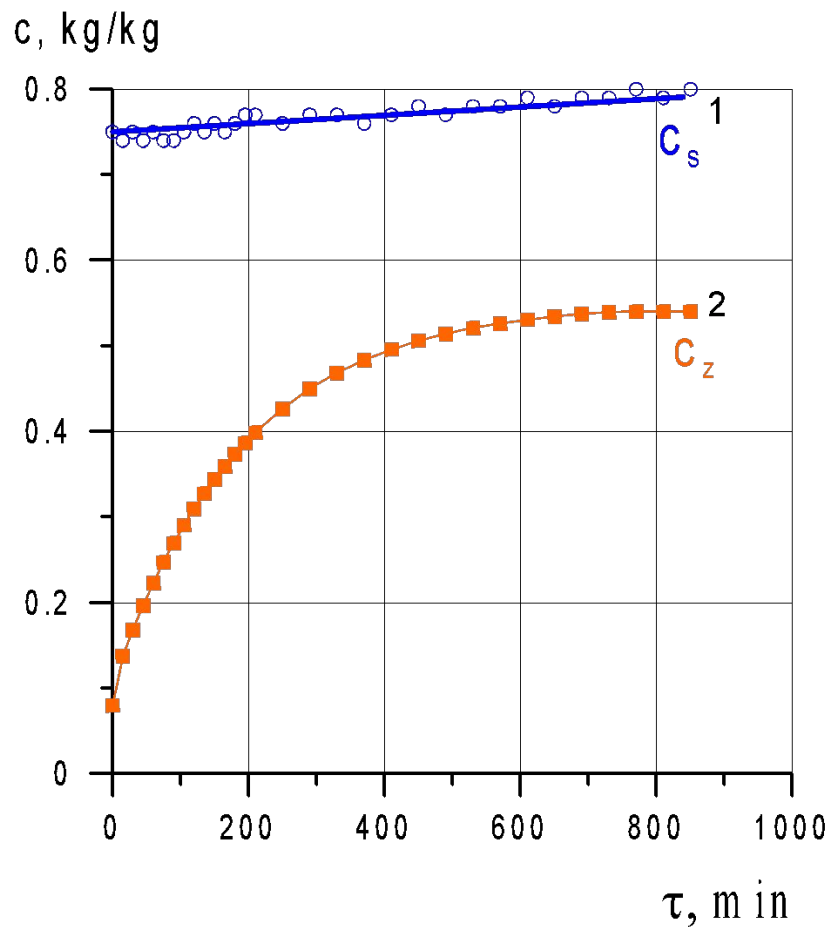
Inside diameter ID	0.4572	m
V_max	3.1020	m/sec
Surge time	1.0000	min.
Retention time	5.0000	min.
High liquid level HLL	0.0011	m
Normal liquid level NLL	0.0009	m
Length	1.8299	m
Length / Diameter ratio	4.0023	
Shell thickness	0.0063	m
Head thickness	0.0063	m
Shell weight	132.5524	kg
Head weight	36.5853	kg
Total weight (empty)	169.1377	kg
Total vessel volume	0.3254	m3
Total weight (full)	606.8288	kg
Total weight (full) w/allow.	640.6564	kg

EQUIPMENT SUMMARIES

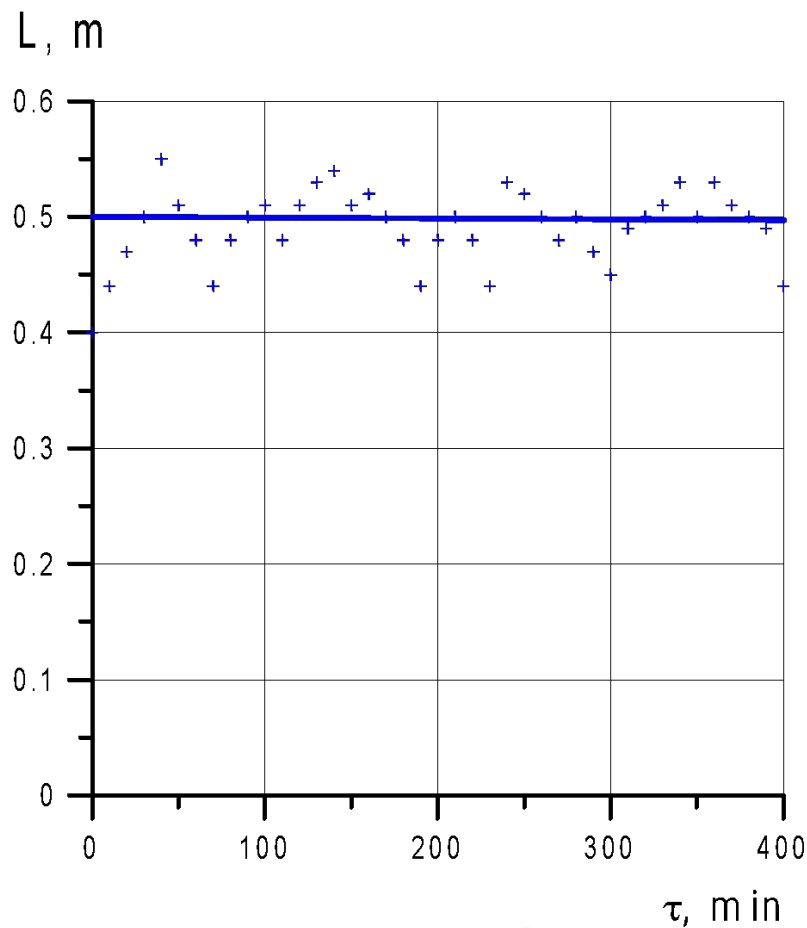
	Dynamic Vessel
Equip. No.	1
Name	
Diameter m	0.4000
Cylinder length m	1.0000
Init. liq lev 1 m	0.4000
Vap flow spec.	3.5000
Calc lev 1 m	0.8981
Vessel vol. m3	0.1424
Calc L vol.1 m3	0.1087
Calc Vap vol m3	0.0337
Overall Q MJ	403.5954
Calc Liq1 mass kg	147.9755
Liql mass holdup kg	50.0000
Calc Maximum P atm	2.3620

Результати

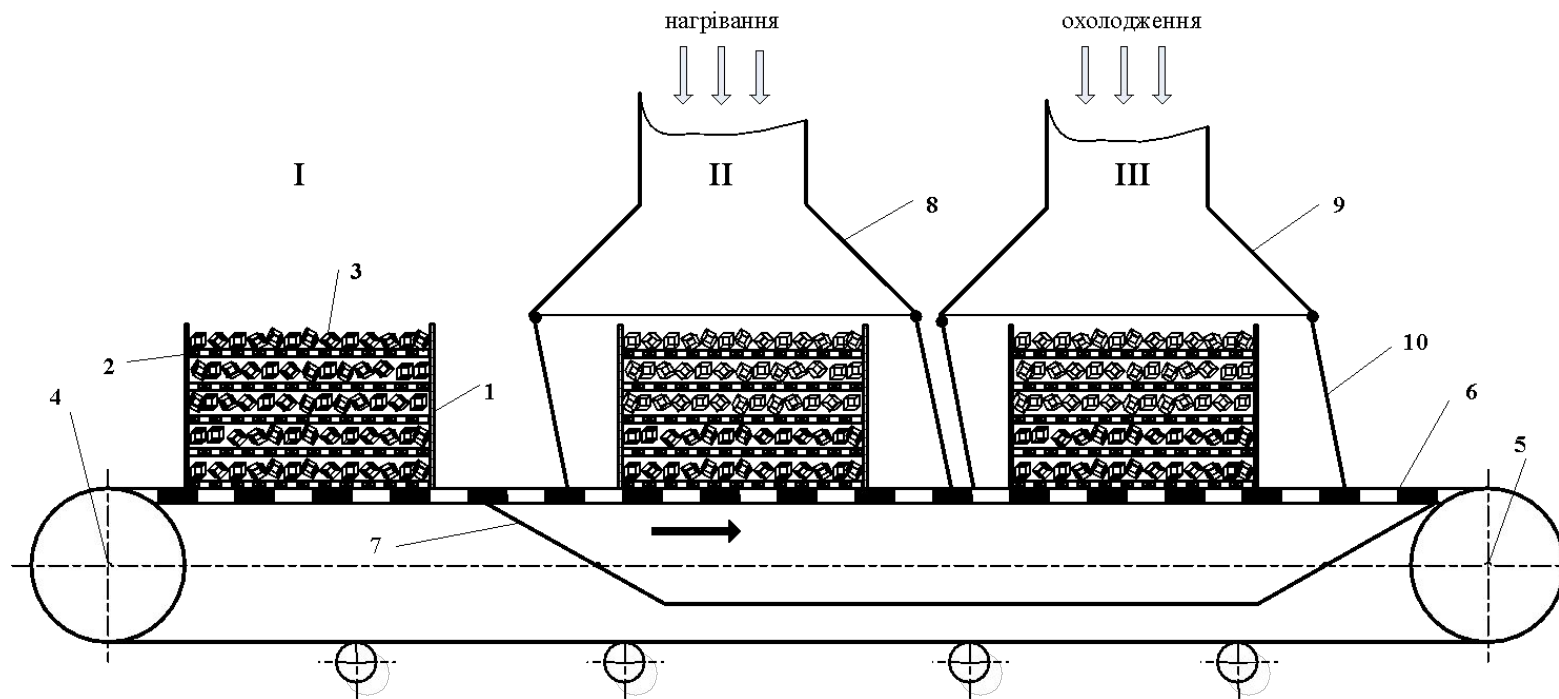
Зміна концентрації цукру в сиропі (1) та в цукаті (2) в часі



Динаміка зміни рівня рідини в часі в часі



Установка пакетного фільтраційного сушіння цукатів



- 1 – пакет, 2 – решета, 3 – частинки сировини, 4 – привідний барабан,
5 – натяжний барабан, 6 – перфорована стрічка,
7 – камера розрідження, 8 – труба для подачі гарячого теплового агенту,
9 – труба для подачі холодного теплового агенту,
10 – підпружинені заслонки

Висновки

1. Досліджено зміну концентрації цукрового сиропу в плодах гарбуза за умов температури насичення 20 °C; 40 °C; 60 °C; 80 °C.
2. Визначено розміри та діаметр пор між клітинами в плодах гарбуза
3. Отримано розрахункову залежність, яка дає можливість визначити коефіцієнти масопровідності молекул сахарози у бланшованих плодах
4. На основі узагальнень експериментальних даних, отримана аналітична залежність, яка дає змогу визначити час насичення частинок плодів гарбуза цукром та визначити рівноважні концентрації
5. За допомогою універсальної моделюючої програми ChemCad був змодельовано ізотермічний реактор насичення частинок гарбуза цукром, який працює за умов постійної концентрації сахарози в сиропі і одночасним збільшенням концентрації сахарози в цукатах.
6. Отримані числові значення результату моделювання, розрахункові та графічні залежності насичення цукатів сахарозою та проаналізовані отримані результати.
7. Розроблено спосіб та установка фільтраційного сушіння цукатів пакетним методом.

Дякую за увагу

