

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

Кафедра “Обладнання харчових  
технологій”

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторного заняття

на тему:

### **«ВИВЧЕННЯ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СИРУ»**

з курсу «Технологічне обладнання галузі»  
для студентів денної та заочної форми навчання  
спеціальностей

133 «Галузеве машинобудування», 181 «Харчові технології»

Тернопіль 2017

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

Кафедра “Обладнання харчових  
технологій “

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до лабораторного заняття  
на тему:  
«ВИВЧЕННЯ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ  
ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СИРУ»  
з курсу «Технологічне обладнання галузі»  
для студентів денної та заочної форми навчання  
спеціальностей  
133 «Галузеве машинобудування», 181 «Харчові технології»

Тернопіль 2017

Методичні вказівки розроблені у відповідності з навчальними планами спеціальностей та програмами дисциплін.

Методичні вказівки розробили:

к.т.н., доц. Шинкарик М.М., к.т.н. Кравець О.І.

Рецензент: д.т.н., проф. Вітенько Т.М.

Відповідальний за випуск: к.т.н., доц. Шинкарик М.М.

Методичні вказівки розглянуті та затверджені на засіданні кафедри обладнання харчових технологій  
Протокол № 10 від 22 березня 2017р.

Методичні вказівки розглянуті та рекомендовані до друку на засіданні методичної комісії факультету інженерії машин, споруд та технологій  
Протокол № 8 від 25 травня 2017р.

**Мета заняття.** Навчитись проводити розрахунки основних параметрів обладнання для виробництва сиру.

**Ключові слова:** сирне зерно, нагрівання, перемішування, заквашування, сирний згусток.

## **I. ПЛАН ЗАНЯТТЯ**

1. Ознайомитися із існуючими конструкціями сировиготовлювачів вертикального та горизонтального типів та основами їх розрахунків.
2. Провести дослідні випробування роботи сировиготовлювача заданої конструкції.
3. Провести обчислення затрат енергетичних та сировинних ресурсів на експлуатацію сировиготовлювача.

## **II. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ**

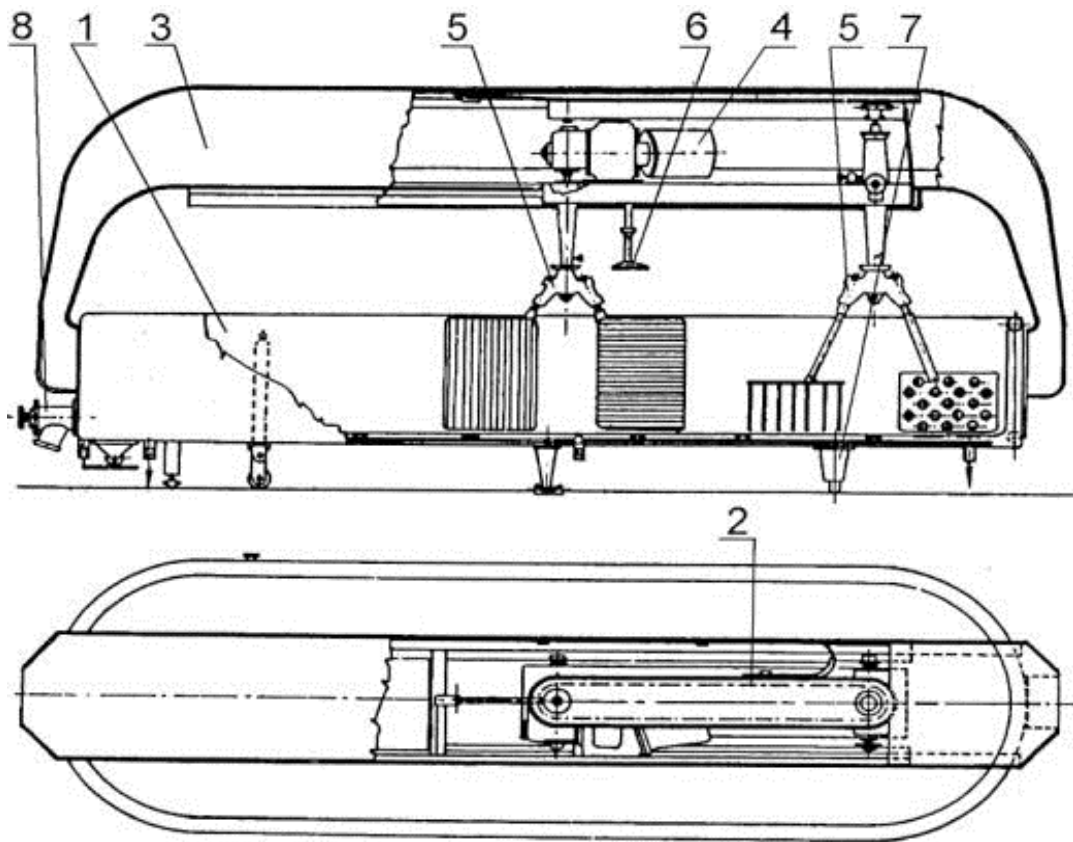
Технологічний процес виробництва сиру включає типове обладнання для первинної обробки молока (приймання, сепарування, зберігання, пастеризація та охолодження) та обладнання для проведення подальших технологічних процесів. У відповідності з технологічними процесами можна виділити наступні групи обладнання: для одержання сирного зерна, формування та пресування сиру, для фінішної обробки сиру (мийні машини, парафінери, пакувальні машини тощо).

Для одержання сирного зерна використовуються горизонтальні (ванни) та вертикальні сировиготовлювачі.

До найбільш широко використовуваних апаратів горизонтального типу на підприємствах молочної промисловості можна віднести сироробні ванни В2-ОСВ-5, В2-ОСВ-10, ванни виробництва Угорщини "Елгеп", "Пасілак" (Данія). Вони мають принципово однакову будову і відрізняються тільки конструктивним виконанням окремих елементів.

Сироробна ванна фірми "Елгеп" виготовлена із нержавіючої сталі (рис. 1). Ванна має прямокутну форму з заокругленими краями і оснащена теплообмінною сорочкою із теплоізоляцією. Над ванною, на траверсі 4, встановлений привід

різально-вимішувального механізму і механізму перемикання швидкостей. На траверсі розміщений відбірник сироватки з можливістю вертикального переміщення.



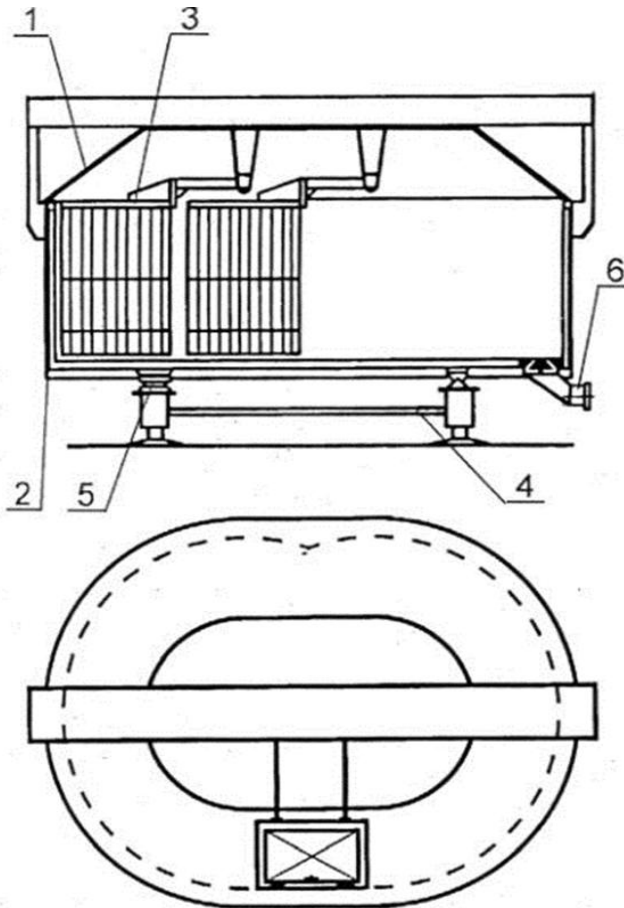
**Рисунок. 1. Горизонтальний сировиготовлювач.**

1 - ванна; 2 - ланцюгова передача; 3 - траверса; 4 - електродвигун; 5 – мішалка;  
6 - штурвал; 7 - опори; 8 – вихідний патрубок для продукту.

Для повного вивантаження сирного зерна із ванни, вона нахиляється завдяки пневмоциліндру.

В сорочку ванни передбачено подачу пари тиском до 0,5 Па і води. В ванні встановлено дві мішалки, які здійснюють зворотньо-поступальний рух вздовж ванни і обертний рух навколо своєї осі в обидві сторони.

У вертикальних сировиготовлювачах фірми "Шварте" (Німеччина) з плоским дном (рис. 2) співвідношення довжини до ширини складає 4:3. Сировиготовлювач встановлений на чотирьох опорах з можливістю нахилу в сторону випускного патрубку. В якості ріжучих і вимішуючих інструментів використовують ножі із заточеними лезами, розміщеними горизонтально і вертикально. В напрямі перемішування ножі заокруглені. Під час



**Рисунок. 2. Вертикальний сировиготовлювач.**

- 1 - робоча місткість; 2 - тепла сорочка;  
 3 - різально-вимішувальний інструмент;  
 4 - опори; 5 - піднімальний пристрій;  
 6 - випускний клапан.

перемішування напрям мішалок реверсується. При цьому ножі повертаються на 45 градусів за напрямком обертання. Сирна маса попадає на широкую полосу леза і не дробиться.

Основними конструктивними елементами сировиготовлювачів є ємність (ванна), мішалка, привід мішалки, теплообмінна оболонка, патрубки для подачі молока та відведення сирного зерна, патрубки для подачі та відведення гарячої та холодної води, пари, конденсату.

Принцип дії горизонтальних та вертикальних сировиготовлювачів однаковий. Молоко подають в ємність, нагрівають до температури заквашування, вносять закваску, перемішують і залишають в спокої до сквашування. Далі згусток

розрізають, в результаті чого відбувається порушення термодинамічної рівноваги системи та починається виділення сироватки. Після відведення частини сироватки згусток нагрівають до температури обсушування зерна.

Далі сирне зерно із сироваткою перекачують насосом у формувальний апарат для формування головок сиру.

Технологічний розрахунок як горизонтальних так і вертикальних сировиготовлювачів включає:

- визначення кількості робочого середовища для нагрівання молока та згустку;
- визначення продувності періодично діючого обладнання;

- визначення споживаної потужності мішалок.

Кількість теплоти, що необхідна для нагрівання молока до температури заквашування визначається за формулою:

$$Q = mc(t_{п2} - t_{п1}) = kF\Delta t_{ср}\tau_{нагр.}, \quad (1)$$

- де  $m$  – маса продукту, що нагрівається, кг;  
 $c$  – питома теплоємність продукту, Дж/(кг·°К);  
 $t_{п1}, t_{п2}$  – відповідно початкова та кінцева температура продукту, °С;  
 $k$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  
 $\Delta t_{ср}$  – середня різниця температур, °С;  
 $\tau_{нагр.}$  – тривалість нагрівання, с.

При нагріванні продукту частина теплоти витрачається через бокові поверхні сировиготовлювача та відкритої поверхні рідин, в основному за рахунок випаровування.

Кількість теплоти, яка витрачається з водяною парою становить:

$$Q_B = W \cdot r, \quad (2)$$

- де  $W$  – кількість випареної вологи, кг;  
 $r$  – скрита теплота пароутворювання, Дж/кг.

Кількість вологи, випареної з відкритої поверхні визначають за формулою:

$$W = F_H z b \frac{P_p - \phi P_B}{B} 760; \quad (3)$$

або

$$W = F_H z \frac{\alpha}{c} (d'' - d), \quad (4)$$

- де  $F$  – поверхня випаровування, м<sup>2</sup>;  
 $z$  – тривалість перебування продукту в сирі виготовлювачі, с;  
 $b$  – коефіцієнт, який залежить від швидкості руху повітря вздовж поверхні ( $b = 0,55 \dots 0,86$ );  
 $B$  – барометричний тиск, мм. рт. ст.

$P_p$  – тиск парів біля поверхні ( $P_p$  відповідає тиску насиченої пари при температурі рідини), мм. рт. ст.;

$P_{II}$  – тиск парів у повітрі, мм. рт. ст.;

$\phi$  – степінь насичення повітря (відносна вологість повітря);

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від рідини до повітря, Вт/(м<sup>2</sup>с);

$c$  – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·°К);

$d''$  – вологовміст повітря над поверхнею продукту (визначають за Hd-діаграмою при температурі рідини), кг/кг;

$d$  – вологовміст оточуючого повітря (при температурі повітря), кг/кг.

Загальну витрату пари для нагрівання рідини у сировиготовлювачах можна визначити за формулою:

$$G_{II} = \frac{m_B c_B (t_{B2} - t_{B1}) + W \cdot r}{\eta(h - c_{\text{конд.}} t_{\text{конд.}})} \quad (5)$$

де  $m_B$  – маса води, кг;

$c_B$  – питома теплоємність води, Дж/(кг·°К);

$t_{B1}$ ,  $t_{B2}$  – температура води відповідно на вході в сировиготовлювач та на виході із нього, °С;

$h$  – ентальпія (питомий тепловміст пари при температурі і тиску пари), Дж/кг;

$c_{\text{конд.}}$  – теплоємність конденсату, Дж/(кг·°К);

$t_{\text{конд.}}$  – температура конденсату, °С;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії ( $\eta = 0,8 \dots 0,85$ ).

Загальну продуктивність обладнання періодичної дії для виробництва сиру визначають за формулою:

$$M_{\text{зм}} = \frac{V_p \cdot \tau_{\text{зм}}}{\tau_{\text{ц}}} \quad (6)$$

де  $V_p$  – робочий об'єм обладнання, м<sup>3</sup>;

$\tau_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, год;

$\tau_{\text{ц}}$  – тривалість циклу, год.



Тривалість циклу визначають за формулою:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{нагр.}} + \tau_{\text{ск.}} + \tau_{\text{зл.}} + \tau_{\text{розр.}} + \tau_{\text{вим.}}, \quad (7)$$

- де  $\tau_{\text{н}}$  – тривалість наповнення, год;  
 $\tau_{\text{нагр.}}$  – тривалість нагрівання, год;  
 $\tau_{\text{ск.}}$  – тривалість сквашування, год;  
 $\tau_{\text{зл.}}$  – тривалість зливу частини сироватки, год;  
 $\tau_{\text{розр.}}$  – тривалість розрізання, год;  
 $\tau_{\text{вим.}}$  – тривалість вимішування, год.

Тривалість наповнення ємності молоком  $\tau_{\text{н}}$  визначається із наступного виразу:

$$\tau_{\text{н}} = \frac{4V_{\text{р}}}{\pi d^2 v} \quad (8)$$

- де  $d$  – діаметр трубопроводу, м;  
 $v$  – швидкість руху молока ( $v = 1 \dots 1,5$ ), м/с.

Тривалість нагрівання продукту  $\tau_{\text{нагр.}}$  можна визначити за формулою:

$$\tau_{\text{нагр.}} = \frac{mc(t_{\text{п2}} - t_{\text{п1}})}{kF\Delta t_{\text{ср}}} \quad (9)$$

- де  $t_{\text{п1}}$ ,  $t_{\text{п2}}$  – відповідно початкова і кінцева температури продукту, °С.

Тривалість сквашування молока  $\tau_{\text{ск.}}$  можна прийняти в межах 45-60 хв.

Тривалість зливу частини сироватки  $\tau_{\text{зл.}}$  (20-30% від загальної кількості) визначається за формулою:

$$\tau_{\text{зл.}} = \frac{8(0,2 \dots 0,3)V_{\text{р}}}{\mu \pi d_{\text{в}}^2 \sqrt{2gh}}, \quad (10)$$

- де  $\mu$  – коефіцієнт витікання, ( $\mu = 0,7 \div 0,8$ );  
 $d_{\text{в}}$  – діаметр вивідного патрубку сировиготовлювача, м;  
 $H$  – висота рівня продукту у сировиготовлювачі.

Тривалість вимішування  $\tau_{\text{вим.}}$ , як правило, співпадає із тривалістю другого нагрівання:

$$\tau_{\text{вим.}} = \frac{m_c c_c (t_{c2} - t_{c1}) + m_3 c_3 (t_{32} - t_{31})}{k \cdot F \cdot \Delta t_{2\text{ср}}}, \quad (11)$$

де  $m_c$  – маса сироватки, кг;

$m_3$  – маса сирного зерна, кг;

$t_{c1}, t_{c2}$  – відповідно початкова та кінцева температури сироватки, °С;

$t_{31}, t_{32}$  – відповідно початкова та кінцева температури сирного зерна, °С;

$c_c, c_3$  – відповідно теплоємність сироватки та сирного зерна,  $c_c =$ ,  $c_3 =$ ;

$\Delta t_{2\text{ср}}$  – середня різниця температур процесу другого нагрівання, °С.

$$\Delta t_{2\text{ср}} = t_{\text{ср}}^* - t_{\text{в}}, \quad (12)$$

де  $t_{\text{ср}}^*$  – середня температура суміші, °С;

$t_{\text{в}}$  – середня температура води, °С.

Можна припустити, що початкові температури сироватки та сирного зерна рівні та відповідають температурі заквашування молока:

$$t_{c1} = t_{31} = t_{\text{зак}}, \quad (13)$$

де  $t_{\text{зак}}$  – температура заквашування молока, °С.

Кінцеві температури сироватки та сирного зерна також рівні між собою та відповідають температурі другого нагрівання.

Маса сирного зерна  $m_3$  становить приблизно 10% від загальної маси молока.

Маса сироватки  $m_c$  із врахуванням її попереднього зливу складає 60-70% від загальної маси молока.

Потужність для приводу мішалки визначається за формулою:

$$N_{\text{м}} = 0,09\rho \cdot h \cdot z \cdot n^3 \left[ \left( \frac{R_2 - R_1}{2} + i\delta \right)^4 - \left( \frac{R_2 - R_1}{2} \right)^4 \right], \quad (14)$$

де  $\rho$  – густина продукту, кг/м<sup>3</sup>

$h$  – висота занурення лопаті мішалки, м;

$z$  – кількість лопатей;

$n$  – частота обертання лопатей,  $\text{с}^{-1}$ ;

$R_1$  – відстань від осі обертання до зовнішнього краю лопатей, м;

$R_2$  – відстань від осі обертання до внутрішнього краю лопатей, м;

$i$  – кількість дротів або лез;

$\delta$  – товщина дротів або лез, мм.

Для пересувної мішалки теоретичну потужність для приводу визначається за наступним виразом:

$$N_T = N_M + 103(P + m_k)v \cdot \mu, \quad (15)$$

де  $v$  – лінійна швидкість переміщення каретки,  $v = 0,1 \dots 0,3$  м/с;

$\mu$  – коефіцієнт тертя,  $\mu = 0,03 \dots 0,005$ ;

$m_k$  – маса каретки з механізмом, кг;

$P$  – сила, необхідна для розрізання згустку, Н.

Зусилля необхідне для розрізання сирного згустку можна визначити за наступною формулою:

$$P = 288,2 \cdot Re^{0,26} S^{0,56}, \quad (16)$$

де  $S$  – товщина ножа, Н;

$Re$  – критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_p h_p \rho_{зг}}{\eta_{\text{еф}}} \quad (17)$$

де  $v_p$  – швидкість різання, (приймають середню лінійну швидкість ножа мішалки) м/с;

$h$  – визначальний розмір ножа (висота), м;

$\rho_{зг}$  – густина згустку,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\eta_{\text{еф}}$  – ефективна в'язкість сирного згустку, Па·с.

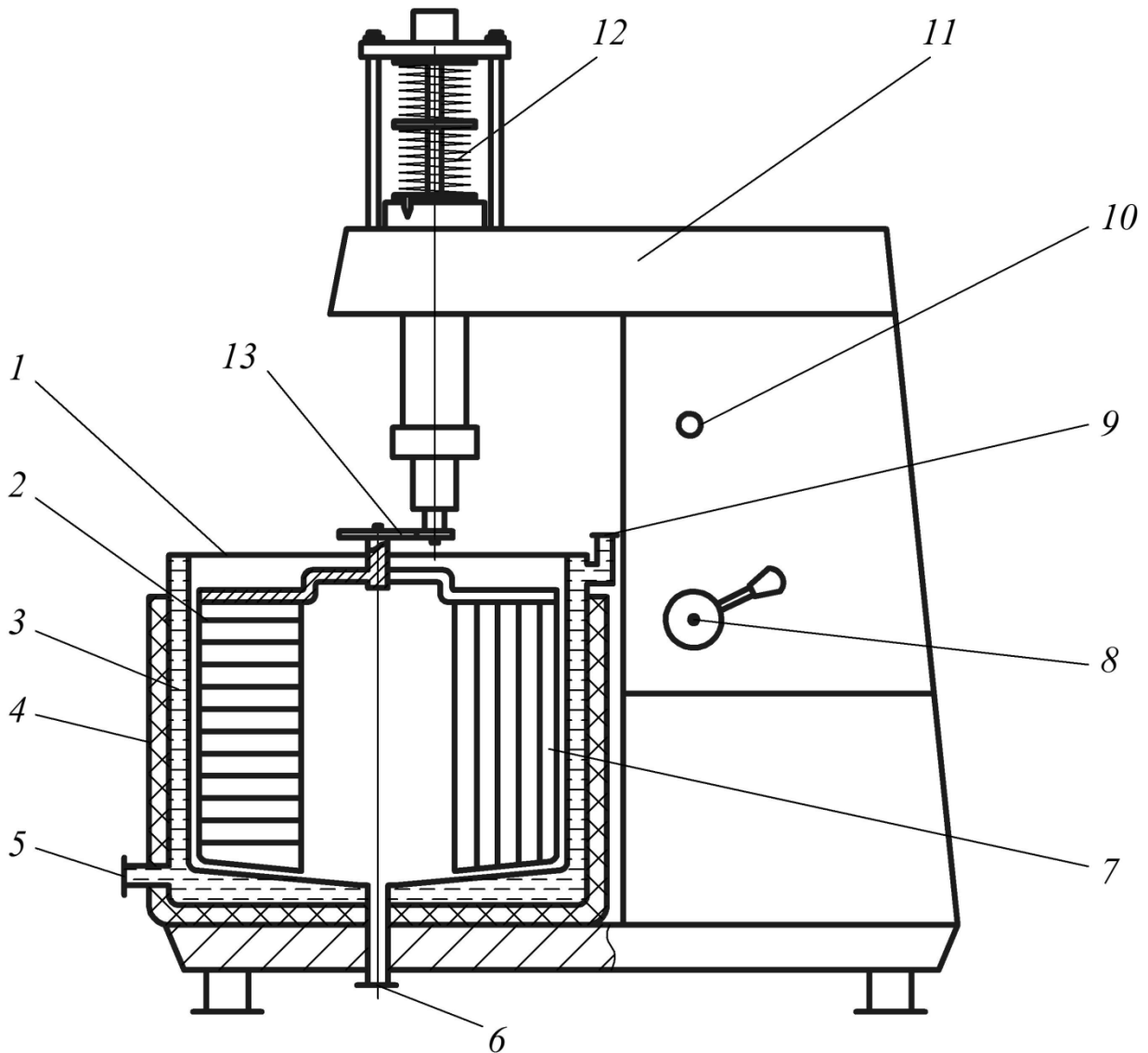
$$\eta_{\text{еф}} = 9,23\tau^{0,46}\varphi^{0,05}, \quad (18)$$

де  $\tau$  – тривалість сквашування, с;

$\varphi$  – масова частка жиру в суміші.

### III. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Лабораторна установка (рис. 3) представляє собою зменшену в 20 разів модель сировиготовлювача із повністю виконаними умовами геометричної подібності.



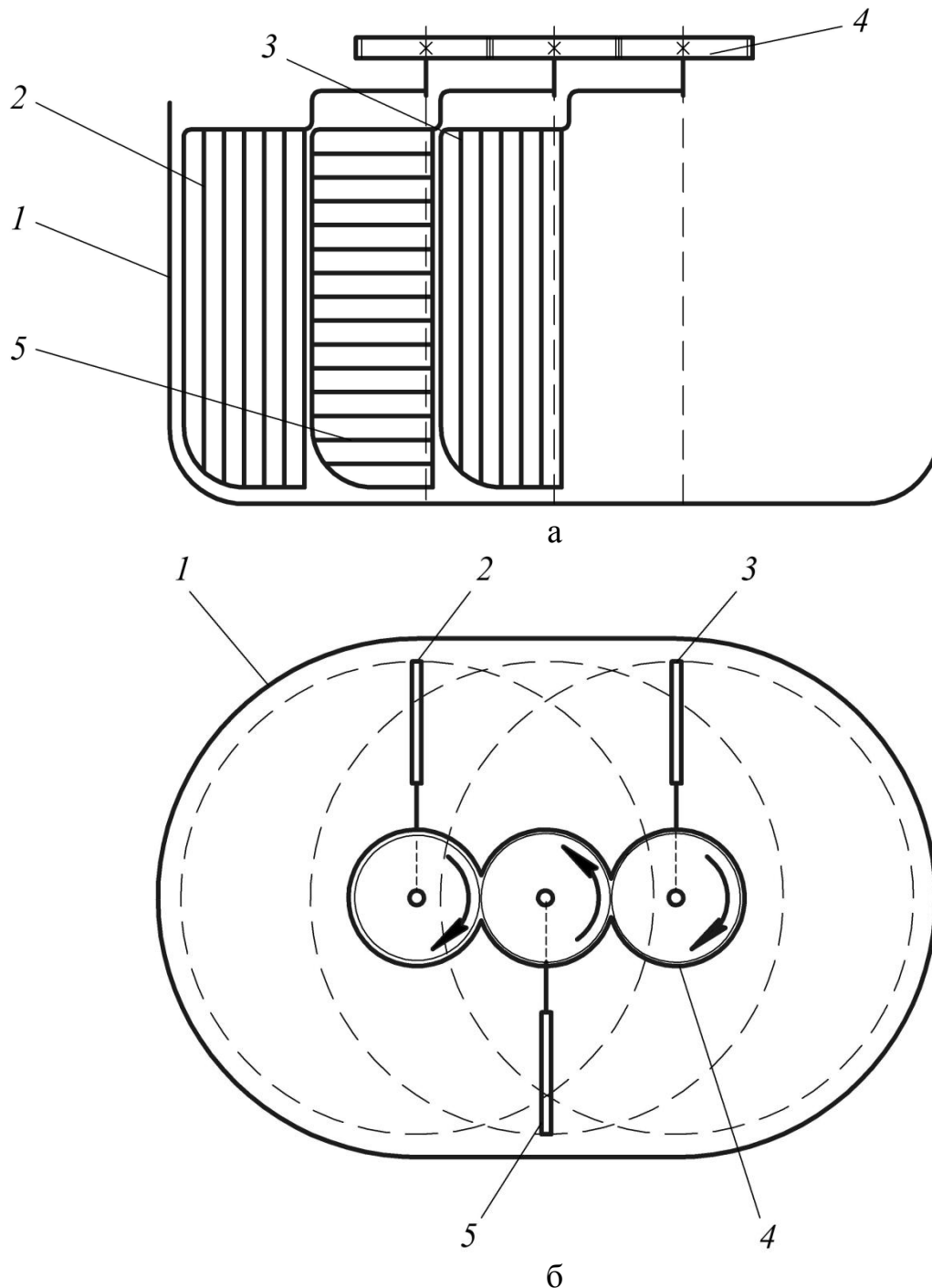
**Рисунок 3. Лабораторна установка**

1 - ємкість; 2, 7 - мішалки; 3 - теплообмінна сорочка; 4-теплоізоляція;  
5, 9 -патрубки для відведення та подачі теплоносія; 6- патрубок для відведення продукту; 8-регулятор швидкості; 10 - показчик режиму швидкості; 11 – привід;  
12-пружина кручення; 13 – шестерні.

Установка має теплообмінну сорочку 3, штуцери для підводу 9 і відводу 5 теплоносія і штуцер 6 для відводу продукту. Для вимірювання потужності (крутого моменту) використана пружина кручення 12, розміщена на валу приводу

11. Пружина відповідним чином проградуєвана. Рух на мішалки передається через шестерні 13 від приводу 11. Регулятор швидкості 8 дозволяє змінювати швидкість обертання від 0,14 до 60,75 об/хв.

В ємкості лабораторної установки 1 (рис. 4) встановлено вимішуючий пристрій, який складається із бокових мішалок 2, 3 та центральної мішалки 5.



**Рисунок 4. Схема роботи вимішуючого пристрою:**

- а) вигляд збоку в момент розміщення мішалок повздовж осі ємності;  
 б) вигляд згори в момент розміщення мішалок перпендикулярно до осі ємності.  
 1 – ємність; 2, 3 – бокові мішалки; 4 – шестерні; 5 – центральна мішалка.

Мішалки приводяться в рух шестернями 4.

Крутний момент визначається за тарувальним графіком пружини динамометра (рис. 5).

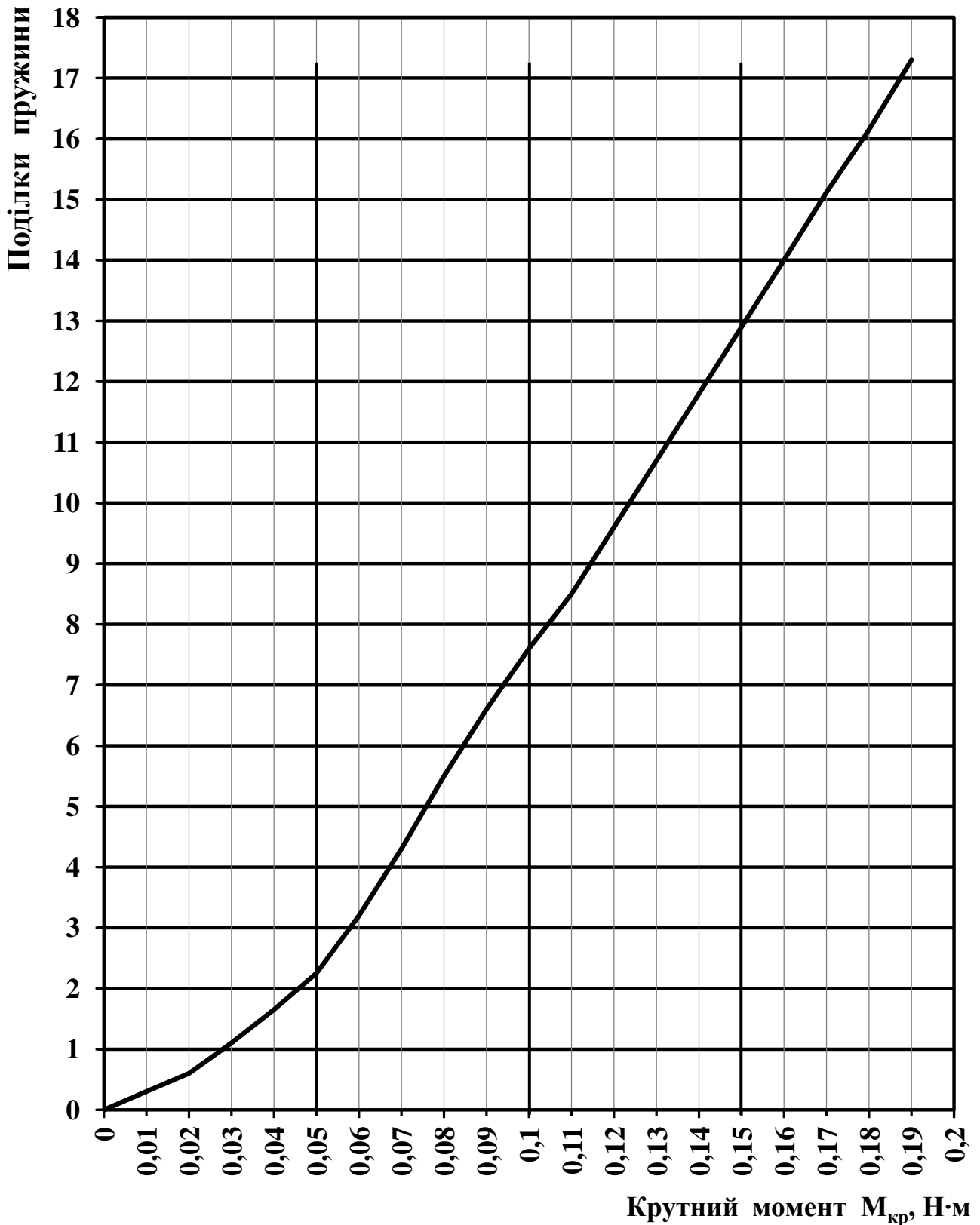


Рисунок. 5. Тарувальний графік пружини динамометра



## V. ПОСЛІДОВНІСТЬ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

1. Визначити теоретичні затрати теплоти на нагрівання за формулою (1) та експериментальні затрати теплоти за формулою:

$$Q_{\text{ек.}} = m_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_{\text{в.п.}} - t_{\text{в.к.}}), \quad (19)$$

де  $m_{\text{в}}$  – маса води, кг;

$c_{\text{в}}$  – питома теплоємність води, Дж/(кг·°К)

$t_{\text{в.п.}}$ ,  $t_{\text{в.к.}}$  – відповідно початкова та кінцева температура води, °С.

2. Визначити коефіцієнт корисної дії теплообміну як відношення експериментальних затрат теплоти до теоретичних:

$$\eta_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{ек.}}}{Q}. \quad (20)$$

3. Визначити теоретичні затрати потужності на процес перемішування маси за формулою 15.
4. Визначити коефіцієнт корисної дії мішалки із наступного вираз:

$$\eta_{\text{м}} = \frac{N_{\text{т}}}{N_{\text{е}}}. \quad (21)$$

## VI. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. При виконанні лабораторної роботи необхідно дотримуватися загальних правил техніки безпеки в лабораторіях.
2. Забороняється поміщати будь-які сторонні предмети у ємність сировиготовлювача.

## VII. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які є конструкції сировиготовлювачів горизонтального та вертикального типів?
2. У чому полягає принцип роботи сировиготовлювачів? Який вплив конструктивних параметрів сировиготовлювача на технологічний режим виробництва сирного зерна?



3. Як визнаються витрати теплоти на нагрівання молока?
4. Як визначається необхідна потужність для приводу мішалки?
5. З якою метою проводять перемішування сирного зерна з сироваткою?
6. Яка мета другого нагрівання?
7. Чому перед другим нагріванням відводять близько 30% сироватки?
8. Які є режими роботи вимішувальних пристроїв в процесі виробництва сирного зерна?
9. Які є конструкції вимішувальних пристроїв у апаратах різних виробників? Їх переваги.
10. Які особливості теплообмінних процесів у сировиготовлювачах?

### **VIII. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Єресько Г.О. Технологічне обладнання молочних виробництв. / Г.О. Єресько, М.М. Шинкарик, В.Я. Ворощук. – К. : ЦНЛ “Інкос”, 2007. - 344 с.
2. Касаткин А.Г.. Основные процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов. 10-е издание, стереотипное, доработанное. Перепечатка с издания 1973 г. / А.Г. Касаткин. - М. : Альянс, 2004. - 753с.

## ДОДАТКИ

Додаток 1.- Суха насичена пара і вода на лінії насичення.

$p$ , МН/м <sup>2</sup>	$t_s$ , °С	$v'$ , м <sup>3</sup> /кг	$v''$ , м <sup>3</sup> /кг	$h'$ , кДж/кг	$h''$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/кг°С	$s''$ , кДж/кг°С
0,0010	6,936	0,0010001	130,04	29,18	2513,4	2484,2	0,1053	8,9749
0,0015	13,001	0,0010007	88,38	54,61	2524,7	2470,1	0,1952	8,8268
0,0020	17,486	0,0010014	67,24	73,40	2533,1	2459,7	0,2603	8,7227
0,0025	21,071	0,0010021	54,42	88,36	2539,5	2451,1	0,3119	8,6424
0,0030	24,078	0,0010028	45,77	100,93	2545,3	2444,4	0,3547	8,5784
0,0035	26,674	0,0010035	39,56	111,81	2549,9	2438,1	0,3912	8,5222
0,0040	28,95	0,0010042	34,93	121,33	2553,7	2432,3	0,4225	8,4737
0,005	32,89	0,0010054	28,24	137,79	2560,9	2423,1	0,4764	8,3943
0,006	36,17	0,0010065	23,77	151,49	2567,1	2415,6	0,5209	8,3297
0,007	39,02	0,0010075	20,56	163,39	2571,8	2408,4	0,5588	8,2734
0,008	41,53	0,0010085	18,13	173,89	2576,4	2402,5	0,5919	8,2263
0,009	43,78	0,0010094	16,22	183,31	2580,5	2397,2	0,6222	8,1854
0,010	45,82	0,0010102	14,70	191,84	2583,9	2392,1	0,6496	8,1494
0,012	49,44	0,0010118	12,37	206,96	2590,6	2383,7	0,6966	8,0850
0,014	52,57	0,0010132	10,69	220,05	2596,1	2376,0	0,7368	8,0305
0,016	55,34	0,0010146	9,437	231,63	2601,1	2369,5	0,7722	7,9852
0,018	57,82	0,0010159	8,448	242,03	2605,4	2363,3	0,8040	7,9445
0,020	60,08	0,0010171	7,652	251,48	2609,2	2357,7	0,8324	7,9075
0,025	64,99	0,0010198	6,201	272,03	2617,6	2345,5	0,8934	7,8300
0,030	69,12	0,0010223	5,232	289,30	2624,6	2335,3	0,9441	7,7673
0,04	75,87	0,0010264	3,999	317,62	2636,3	2318,7	1,0261	7,6710
0,05	81,33	0,0010299	3,242	340,53	2645,2	2304,7	1,0912	7,5923
0,06	85,94	0,0010330	2,734	359,90	2653,1	2293,2	1,1453	7,5313
0,07	89,95	0,0010359	2,367	376,79	2659,8	2283,1	1,1920	7,4799
0,08	93,50	0,0010385	2,089	391,75	2665,3	2273,5	1,2331	7,4342
0,09	96,71	0,0010409	1,871	405,19	2670,2	2265,1	1,2699	7,3936
0,10	99,62	0,0010432	1,696	417,47	2674,9	2257,5	1,3026	7,3579
0,12	104,80	0,0010472	1,430	439,34	2683,0	2243,6	1,3610	7,2972
0,14	109,31	0,0010509	1,237	458,42	2690,1	2231,7	1,4109	7,2460

## Продовження додатку 1.

$p$ , МН/м <sup>2</sup>	$t_s$ , °C	$v'$ , м <sup>3</sup> /кг	$v''$ , м <sup>3</sup> /кг	$h'$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s'$ , кДж/кг°C	$s''$ , кДж/кг°C
1,2	187,95	0,0011385	0,1633	798,4	1986,2	2,2156	6,5224
1,3	191,60	0,0011438	0,1512	814,6	1972,7	2,2510	6,4954
1,4	195,04	0,0011488	0,1408	830,0	1959,7	2,2841	6,4699
1,5	198,28	0,0011538	0,1317	844,5	1947,3	2,3148	6,4458
1,6	201,36	0,0011587	0,1238	858,3	1935,2	2,3437	6,4221
1,7	204,30	0,0011633	0,1167	871,7	1923,5	2,3712	6,4000
1,8	207,10	0,0011678	0,1104	884,2	1912,3	2,3975	6,3794
1,9	209,78	0,0011723	0,1048	896,6	1901,3	2,4224	6,3597
2,0	212,37	0,0011768	0,09961	908,6	1890,7	2,4471	6,3411
2,2	217,24	0,0011851	0,09069	930,9	1869,7	2,4923	6,3056
2,4	221,77	0,0011932	0,08324	951,8	1850,0	2,5346	6,2727
2,6	226,04	0,0012011	0,07687	971,9	1830,8	2,5734	6,2407
2,8	230,04	0,0012088	0,07142	990,2	1812,8	2,6101	6,2129
3,0	233,83	0,0012164	0,06663	1008,4	1794,7	2,6455	6,1859
3,5	242,54	0,0012344	0,05706	1049,8	1753,0	2,7251	6,1242
4,0	250,33	0,0012520	0,04977	1087,5	1713,2	2,7965	6,0689
5,0	263,91	0,0012858	0,03943	1154,2	1639,6	2,9210	5,9739
6,0	275,56	0,0013185	0,03243	1213,9	1570,5	3,0276	5,8894
7,0	285,80	0,0013510	0,02738	1267,6	1504,7	3,1221	5,8143
8,0	294,98	0,0013838	0,02352	1317,3	1441,2	3,2079	5,7448
9,0	303,31	0,0014174	0,02049	1363,9	1378,8	3,2866	5,6783
10,0	310,96	0,0014522	0,01803	1407,9	1316,9	3,3601	5,6147
11,0	318,04	0,0014886	0,01597	1450,2	1255,0	3,4297	5,5528
12,0	324,64	0,001527	0,01426	1491,1	1193,5	3,4966	5,4930
13,0	330,81	0,001568	0,01278	1531,3	1131,1	3,5606	5,4333
14,0	336,63	0,001611	0,01149	1570,8	1067,0	3,6233	5,3731
16,0	347,32	0,001710	0,009319	1649,6	932,1	3,7456	5,2478
18,0	356,96	0,001839	0,007505	1732,2	778,4	3,8708	5,1054
20,0	365,72	0,00203	0,00586	1826,8	583,4	4,0147	4,9280
22,0	373,71	0,00269	0,00378	2009,7	185,9	4,2943	4,5815

## Додаток 2 - Теплофізичні коефіцієнти води на лінії насичення.

$t, ^\circ\text{C}$	$p,$ $\text{МН/м}^2$	$\rho,$ $\text{кг/м}^3$	$\lambda,$ $\text{Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$	$c,$ $\text{кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$	$\alpha\cdot 10^6,$ $\text{м}^3/\text{с}$	$\mu\cdot 10^3,$ $\text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu\cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	$\beta\cdot 10^4,$ $1/^\circ\text{C}$	$\sigma\cdot 10^3,$ $\text{Н/м}$	$\text{Pr}$
0	0,000587	999,9	0,550	4,21	0,130	1,78	1,78	-0,63	75,6	13,7
10	0,00118	999,7	0,574	4,19	0,136	1,3	1,306	0,70	74,1	9,52
20	0,00235	998,2	0,594	4,185	0,143	1,0	1,006	1,82	72,6	7,02
30	0,00422	995,7	0,616	4,175	0,148	0,8	0,805	3,21	71,1	5,42
40	0,00735	992,2	0,633	4,175	0,153	0,654	0,659	3,87	69,6	4,31
50	0,0123	988,1	0,647	4,175	0,157	0,549	0,556	4,49	67,7	3,54
60	0,0199	983,2	0,658	4,180	0,160	0,47	0,478	5,11	66,2	2,98
70	0,0312	977,8	0,668	4,187	0,163	0,405	0,415	5,70	64,4	2,55
80	0,0473	971,8	0,675	4,195	0,166	0,355	0,365	6,32	62,6	2,21
90	0,07	965,3	0,679	4,205	0,167	0,314	0,326	6,95	60,7	1,95
100	0,101	958,4	0,682	4,22	0,169	0,282	0,295	7,52	58,8	1,75
120	0,199	943,0	0,686	4,254	0,171	0,238	0,252	8,64	54,9	1,47
140	0,361	926,1	0,684	4,306	0,172	0,201	0,217	9,72	50,7	1,26
160	0,617	907,4	0,682	4,35	0,172	0,173	0,191	10,7	46,6	1,1
180	1,0	886,9	0,673	4,42	0,172	0,153	0,172	11,9	42,3	1,0
200	1,56	863,0	0,661	4,51	0,170	0,136	0,158	13,3	37,6	0,93
220	2,31	840,3	0,645	4,61	0,166	0,125	0,148	14,8	33,2	0,89
240	3,34	813,6	0,626	4,76	0,163	0,115	0,141	16,8	28,5	0,87
260	4,68	784,0	0,605	4,95	0,156	0,106	0,135	19,7	23,7	0,87
280	6,42	750,7	0,574	5,24	0,146	0,098	0,131	23,7	19,1	0,9
300	8,57	712,5	0,539	5,75	0,132	0,091	0,128	29,2	14,4	0,97
320	11,27	667,1	0,505	6,59	0,115	0,085	0,128	38,2	9,81	1,11
340	14,6	610,1	0,456	8,19	0,0916	0,077	0,127	53,4	5,66	1,39
360	18,65	528,0	0,395	13,95	0,0536	0,067	0,126	109,0	2,02	2,35
370	21,0	450,5	0,338	40,4	0,0186	0,057	0,126	264,0	0,47	6,79

Додаток 3. - Теплофізичні коефіцієнти сухого повітря при  $p = 100 \text{ кН/м}^2$ .

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{кДж/кг}^\circ\text{C}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^3/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,2	14,9	15,7	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	11,59	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,1	17,7	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,6	21,6	18,2	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,7	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,75	24,4	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
60	1,06	1,005	2,9	27,2	20,1	18,97	0,696
80	1,00	1,009	3,05	30,3	21,1	21,09	0,692
100	0,946	1,009	3,22	33,6	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,33	36,8	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	40,6	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	44,0	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,021	3,78	47,6	25,3	32,49	0,681
200	0,746	1,025	3,96	51,5	26,0	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,25	60,6	27,3	40,61	0,677
300	0,615	1,046	4,6	71,5	29,7	48,33	0,674
400	0,524	1,067	5,2	93,2	33,1	63,09	0,678
500	0,456	1,089	3,74	115,2	36,1	79,38	0,687
600	0,404	1,112	6,22	138,2	39,1	96,89	0,699
700	0,362	1,131	6,71	163,5	41,8	115,4	0,706
800	0,329	1,152	7,17	188,5	44,3	134,8	0,713
1000	0,277	1,182	8,06	246,0	49,0	177,1	0,719