МІНІСТЕРСТНО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

«До захисту в ЕК»	**«До захисту допущено»**
Директор інституту	Завідувач кафедри
_____ Сергій БЛАЖЕНКО	_____ Валентин ПЕТРЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)	(підпис) (ім'я та прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Теплоенергетика та енергоефективні технології

на тему: Вдосконалення системи тепло-споживання цукрового заводу на базі випарної установки з потужними плівковими випарними апаратами хвостової частини ВУ

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ТЕ-2-9М

Брамірський Артем Олексійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник зав. каф. Петренко Валентин Петрович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Консультант проф. Мазуренко Олександр Юрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Рецензент к.т.н., доц. Павло Сніжковський _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Я як здобувач Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

_____ Брамірський Артем
(підпис) (прізвище здобувача)

Київ-2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С.Гулого

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Теплоенергетика та енергоефективні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕХТ

проф. Валентин ПЕТРЕНКО

"20" листопада 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Брамірський Артем Олексійовий
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вдосконалення системи тепло-споживання цукрового заводу на базі випарної установки з потужними плівковими випарними апаратами хвостової частини ВУ

керівник роботи проф. Петренко Валентин петрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "20"11.2023 року № 940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 06.02.2024 року

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1- Розрахунок теплової схеми А=3600

2- Розрахунок температурного режиму ВУ

3- Висновки

4- Список використаної літератури

5- Перелік графічного матеріалу

презентація Power Point - 24 слайди

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	11.11-13.11.2023	виконав
2	Аналіз літературних джерел	14.11-24.11.2023	виконав
3	Виконання розділу №1 КР	25.11-09.12.2023	виконав
4	Виконання розділу №2 КР	10.12-29.12.2023	виконав
5	Виконання розділу №3КР	01.01-12.01.2024	виконав
6	Виконання розділу №4 КР	13.01-20.01.2024	виконав
7	Оформлення ПЗ, підготовка презентації	21.01-04.02.2024	виконав

Здобувач _____ ___Артем БРАМІРСЬКИЙ__
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____ ___Валентин ПЕТРЕНКО___
(підпис) (ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена актуальній темі – розробленню енергоефективних схем тепло-споживання на цукрових заводах як найбільш енергоємних в харчовій галузі. Наведені сучасні технічні рішення по створенню енергоефективних тепло-технологічних схем цукрового виробництва з глибоким використанням вторинних енергоресурсів з мінімальною витратою води, як екстрагента цукру, на процес дифузії цукру в дифапаратах. Наведені детальні розрахунки матеріальних та теплових потоків по станціях нагрівання соків та концентрування цукрових сиропів на випарних установках з випарними апаратами Роберта, а також на ВУ з плівковими випарними апаратами на хвостовій частині випарної установки. Виконані порівняльні розрахунки показників ефективності тепло- технологічних схем з випарними установками на основі випарних апаратів Роберта та плівкових випарних апаратів. Наведено ряд технічних рішень по вдосконаленню способів використання теплоти вторинних енергоресурсів на нагрівання продуктів виробництва. Виконано аналіз причин підвищення енергетичної ефективності випарних установок з плівковими випарними апаратами.

ABSTRACT

The master's thesis is devoted to a topical topic - the development of energy-efficient heat consumption schemes at sugar factories, as the most energy-intensive in the food industry. Presented are modern technical solutions for creating energy-efficient heat-technological schemes of sugar production with deep use of secondary energy resources with minimal consumption of water, as a sugar extractant, for the process of sugar diffusion in difaparats. Detailed calculations of material and heat flows at juice heating and sugar syrup concentration stations on evaporation plants with Robert evaporators, as well as on VUs with film evaporators on the tail part of the evaporation plant, are given. Comparative calculations of efficiency indicators of thermal technological schemes with evaporative units based on Robert's evaporative devices and film evaporative devices were performed. A number of technical solutions for improving methods of using the heat of secondary energy resources for heating production products are given. An analysis of the reasons for increasing the energy efficiency of evaporation plants with film evaporators was performed.

ЗМІСТ

ВСТУП ……. 6.

1. ВИПАРНІ АПАРАТИ ВИПАРНИХ УСТАНОВОК ЦУКРОВИХ ЗАВОДІВ …… 8.

1.1. Випарний апарат Роберта …… 8.

1.2. Плівковий випарний апарат з низхідною плівкою ……. 9.

2. СХЕМИ ВИПАРНИХ УСТАНОВОК ЦУКРОВИХ ЗАВОДІВ ……..… 12.

3. РОЗРАХУНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИПАРНИХ АПАРАТІВ РІЗНИХ ГІДРАВЛІЧНИХ СХЕМ ……... 14.

3.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ …….…… 14.

3.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ НА ОСНОВІ ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ З АПАРАТАМИ РОБЕРТА ……. 16.

3.2.1. Розрахунок теплової схеми А=3600 (клеровка сиропом 4, 5 апарати Роберта) ……... 16.

3.2.2. Розрахунок температурного режиму ВУ ……... 67.

3.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ НА ОСНОВІ ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ З АПАРАТАМИ РОБЕРТА НА ГОЛОВНІЙ ЧАСТИНІ ТА ПЛІВКОВИМИ НА ХВОСТОВІЙ ……... 96.

3.3.1. Розрахунок теплової схеми А=3600 (клеровка сиропом) …… 96.

3.3.2. Розрахунок теплової схеми на основі ВУ з апаратами Роберта на головній частині та плівковими на хвостовій ……. 148.

ВИСНОВКИ …….. 180.

ЛІТЕРАТУРА …… 181.

ВСТУП

Випарні установки цукрових заводів укомплектовані переважно випарними апаратами Роберта, які, завдяки простоті конструкції, зручності в експлуатації та ремонті, традиційно являлись базовим обладнанням для випарних установок цукрових заводів. Але з ростом потужності заводів виникла проблема переобладнання випарних установок на випарні апарати плівкового типу. Це пов'язано з тим, що довжина труб в апаратах Роберта не перевищує 4,5 м, тому максимальна поверхня теплообміну випарних апаратів Роберта, виходячи з обмежень по діаметру корпусу, не перевищує 3000 м^2. При потужності перероблення буряків 6000 - 8000 тонн за добу, виникає потреба у спарених і подекуди в строєних корпусах, що створює незручності в експлуатації, необхідності встановлення додаткової арматури та системи регулювання. Врешті, збільшення числа корпусів призводить до зростання часу перебування соку в апаратах, і, як наслідок, погіршення якості сиропу.

Але основна проблема за умови застосування апаратів Роберта виникає при їх експлуатації на хвостовій частині випарної установки, де має місце розрідження. За умови розрідження та високої концентрації сиропу на хвостовій частині випарної установки, стрімко знижується інтенсивність тепловіддачі, а для підтримування циркуляції необхідно тримати високий п'єзометричний рівень. Оскільки під розрідженням має місце високий температурний градієнт по тиску, має місце значне падіння корисної різниці температур. Так, для 1 корпусу ВУ при температурі вторинної пари 120 °С температурний градієнт становить $1{,}55*10^{-4}$ град/Па, а зростання температури кипіння за висоти п'єзометричного рівня 1,0 м – 1,6 °С, ; для п'ятого корпусу ВУ за температури 80 °С температурний градієнт дорівнює $5{,}0*10^{-4}$ град/Па, а підвищення температури кипіння при висоті 1 м – 5,5 °С.

В плівкових випарних апаратах гідростатична температурна депресія відсутня, а коефіцієнт тепловіддачі до густих сиропів при кипінні під розрідження як мінімум у 2 рази перевищує коефіцієнт тепловіддачі в апаратах Роберта. При цьому час перебування менше в декілька разів. За даних умов переобладнання випарних установок на плівкові випарні апарати в цукровій галузі створює якісні зміни в тепловій схемі і дозволяє застосовувати рішення з глибокого використання ВЕР, а також дає можливість отримувати сиропи високої якості навіть при концентраціях в 72 – 73%. Графічна залежність коефіцієнтів тепловіддачі під час кипіння в трубах апаратів Роберта та плівкових по корпусам випарної установки наведено на *рис.1*.

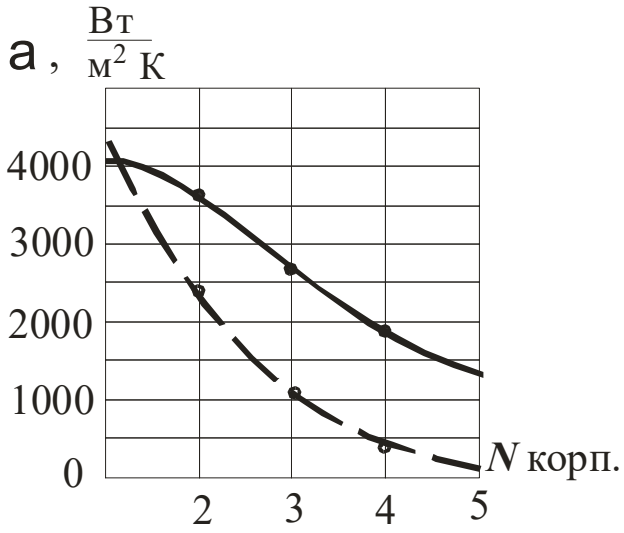


Рис.1. Порівняння коефіцієнтів тепловіддачі по корпусам випарної установки цукрового заводу з випарними апаратами Роберта (штрихова лінія) та з плівковими випарними апаратами, (суцільна лінія).

1. ВИПАРНІ АПАРАТИ ВИПАРНИХ УСТАНОВОК ЦУКРОВИХ ЗАВОДІВ

1.1. Випарний апарат Роберта:

Конструктивна схема випарного апарата Роберта наведена на *рис.2*.

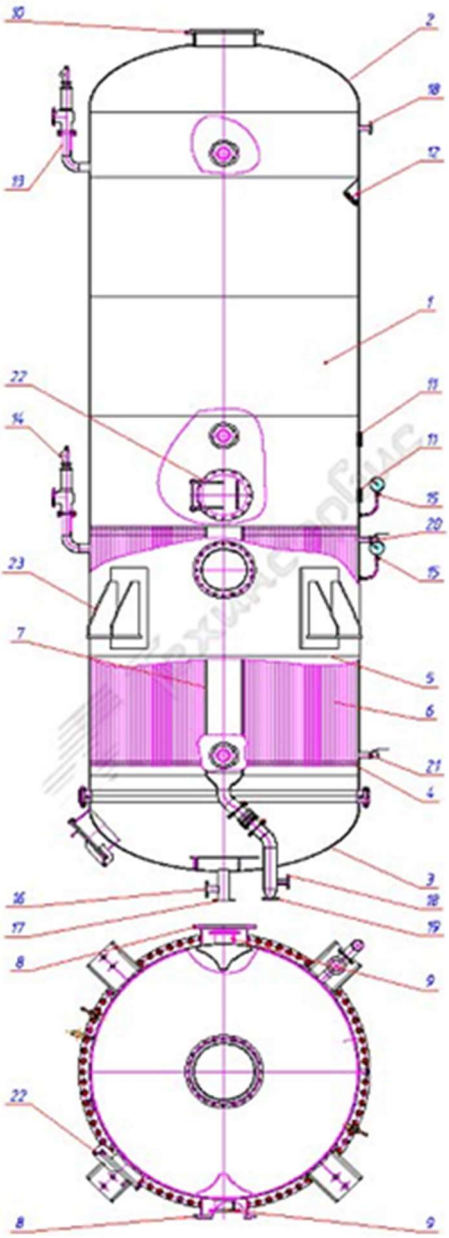


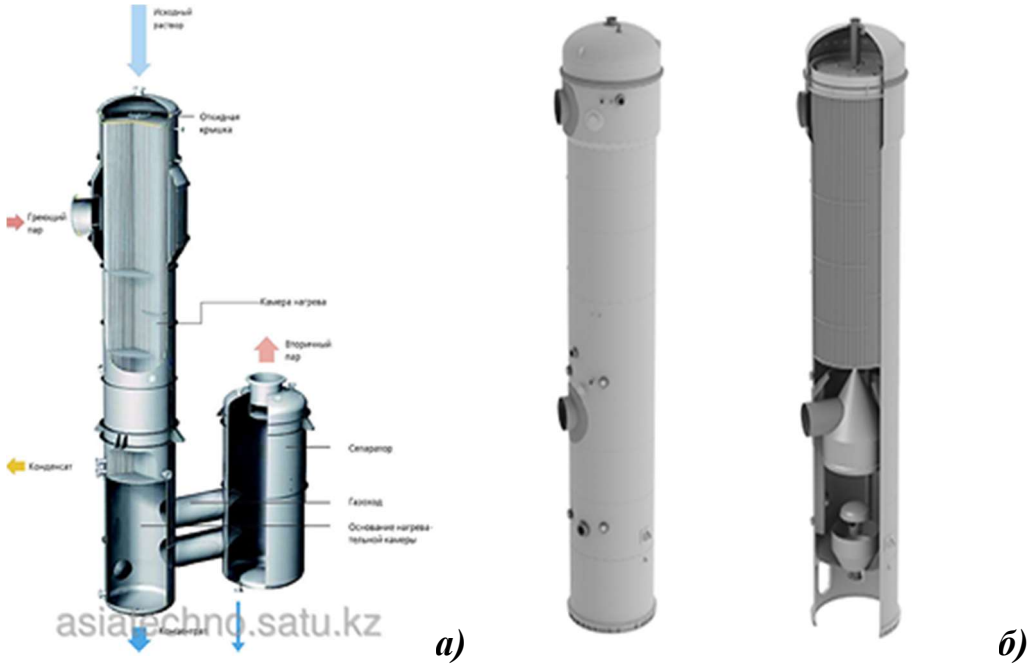
Рис.2. Випарний апарат Роберта: 1 – обичайка надтрубного простору; 2 – верхнє денце; 3 – нижнє денце;4- нижній рорванд; 5 – верхній рорванд; 6 – труби нагрівної камери; 7 – циркуляційна труба; 8 – патрубки підведення нагрівної пари; 9 – патрубки відведення конденсатів; 10 – патрубок відведення вторинної пари; 11 – віконця для споглядання; 13 – запобіжник над-трубного простору; 14 – запобіжник нагрівної камери; 15 – манометри (вакуумметри); 16 – патрубок для проб; 17 – патрубок підведення соку; 18 – патрубок повітряний; 19 – патрубок відведення концентрованого соку; 20 – верхня газова відтяжка; 21 – нижня газова відтяжка; 22 – лаз; 23 – опори.

Випарний апарат Роберта має циліндричний корпус з внутрішньою циркуляційною трубою. У верхній частині розміщений жалюзійний сепаратор. Довжина теплообмінних труб становить 4,3 – 3,5м. Апарат простий та надійний в експлуатації в широкому діапазоні зміни режимних параметрів і легко автоматизується.

Апарат Роберта експлуатується при оптимальному п'єзометричному рівні рідини в кип'ятильниках трубах, за якого верхня трубна дошка покрита шаром паро-рідинної суміші на висоту 100 – 150мм, за якого мають місце оптимальні тепло-гідродинамічні умови експлуатації ВА. Оптимальний рівень відповідає максимальній середній густині теплового потоку в трубі при заданій наявній різниці температур між грійною $t_{гр}$ та вторинною $t_{вт}$ парою. При збільшенні п'єзометричного рівня підсилюється циркуляція і відповідно, зростає інтенсивність теплообміну, але одночасно зростає і гідростатична температурна депресія внаслідок зростання густини паро-рідинної суміші і збільшення вхідної економайзерної ділянки. Крім того, зростає час перебування розчину в апараті, що призводить до погіршення якості концентрату.

1.2. Плівковий випарний апарат з низхідною плівкою

Конструктивні схеми плівкових випарних апаратів наведені на *рис.3*, *4*.



а) *б)*

Рис.3. Конструктивні схеми плівкових випарних апаратів.

а) з виносним сепаратором вторинної пари; *б)* з внутрішнім сепаратором.

Рис.4. Компоновка плівкових випарних апаратів за межами цеху.

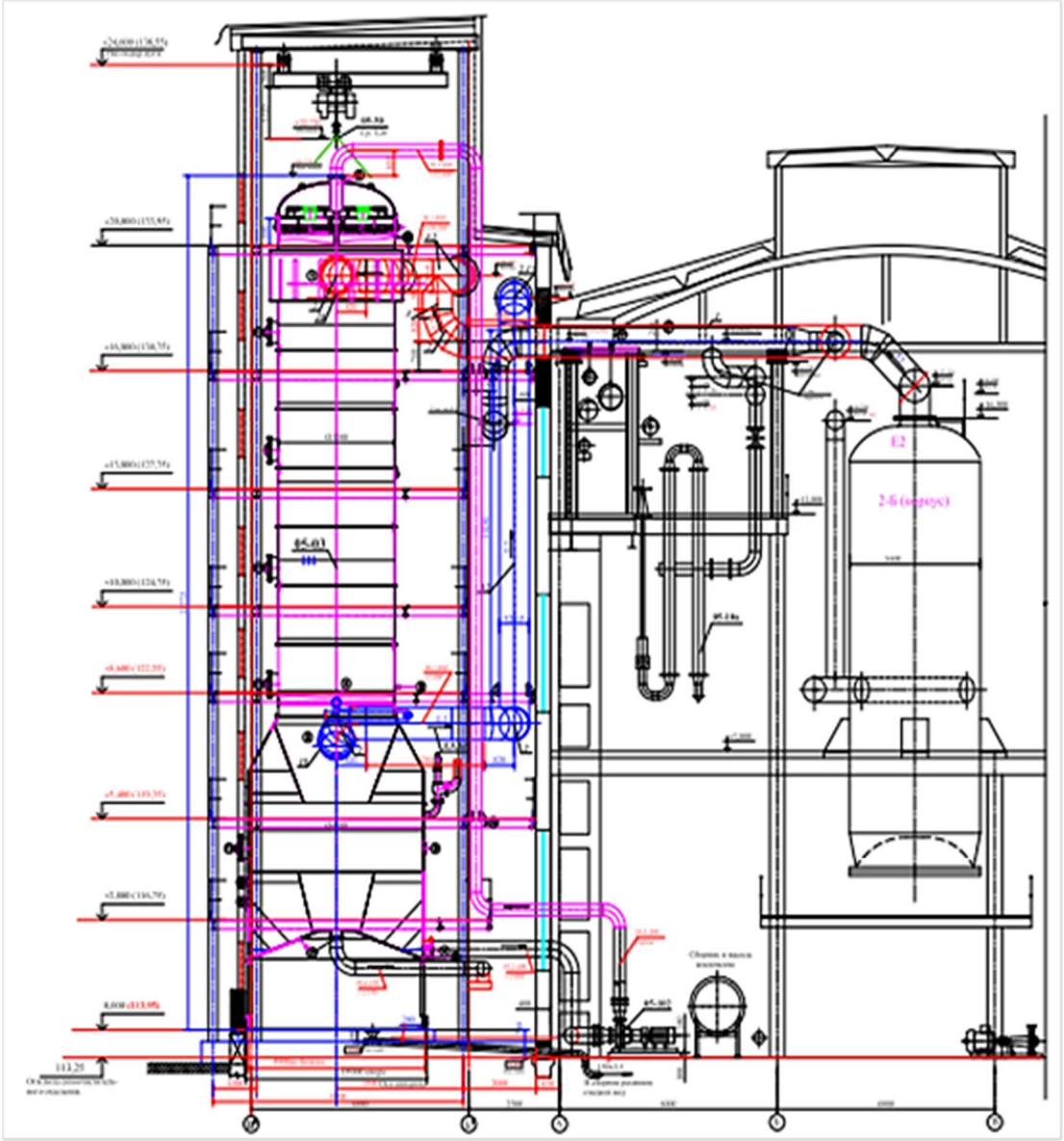
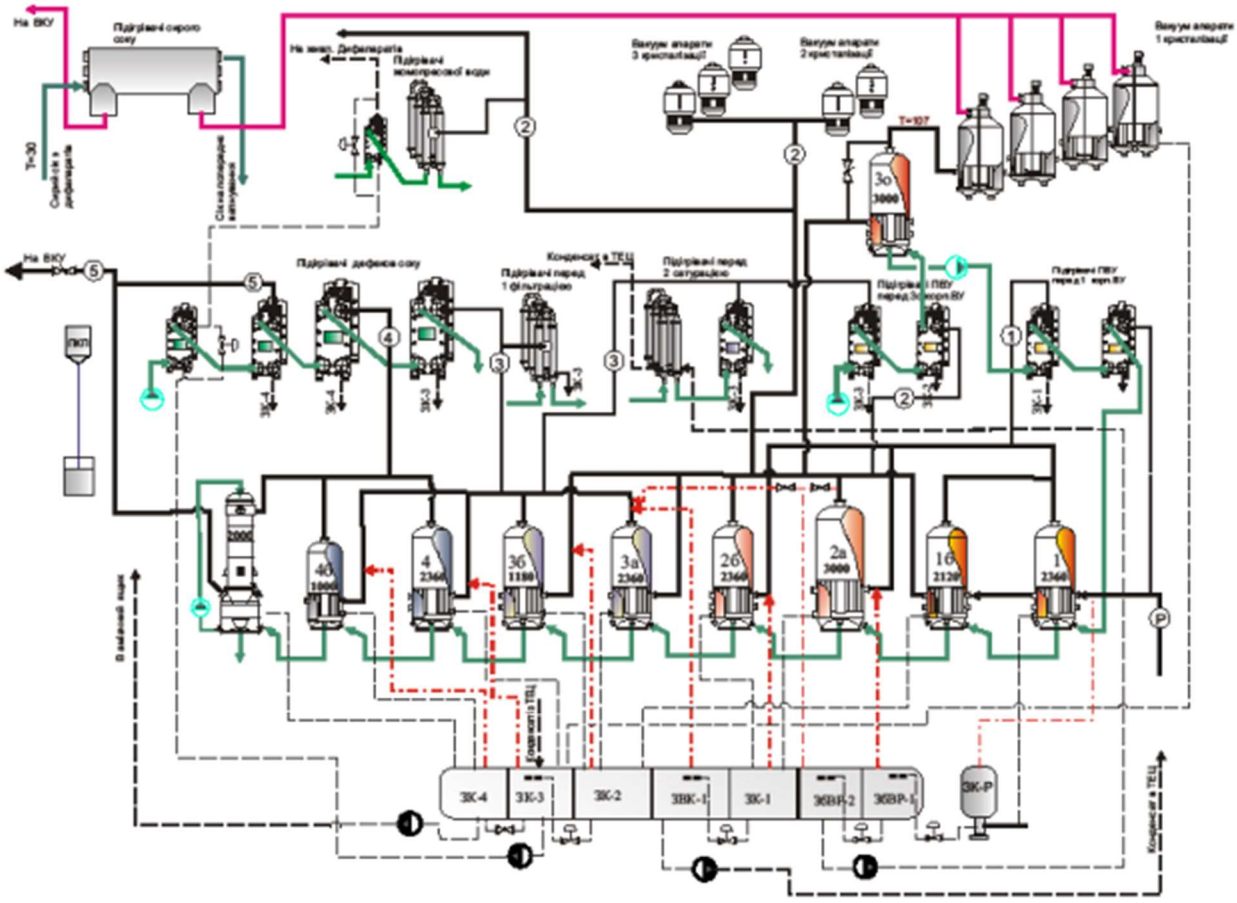
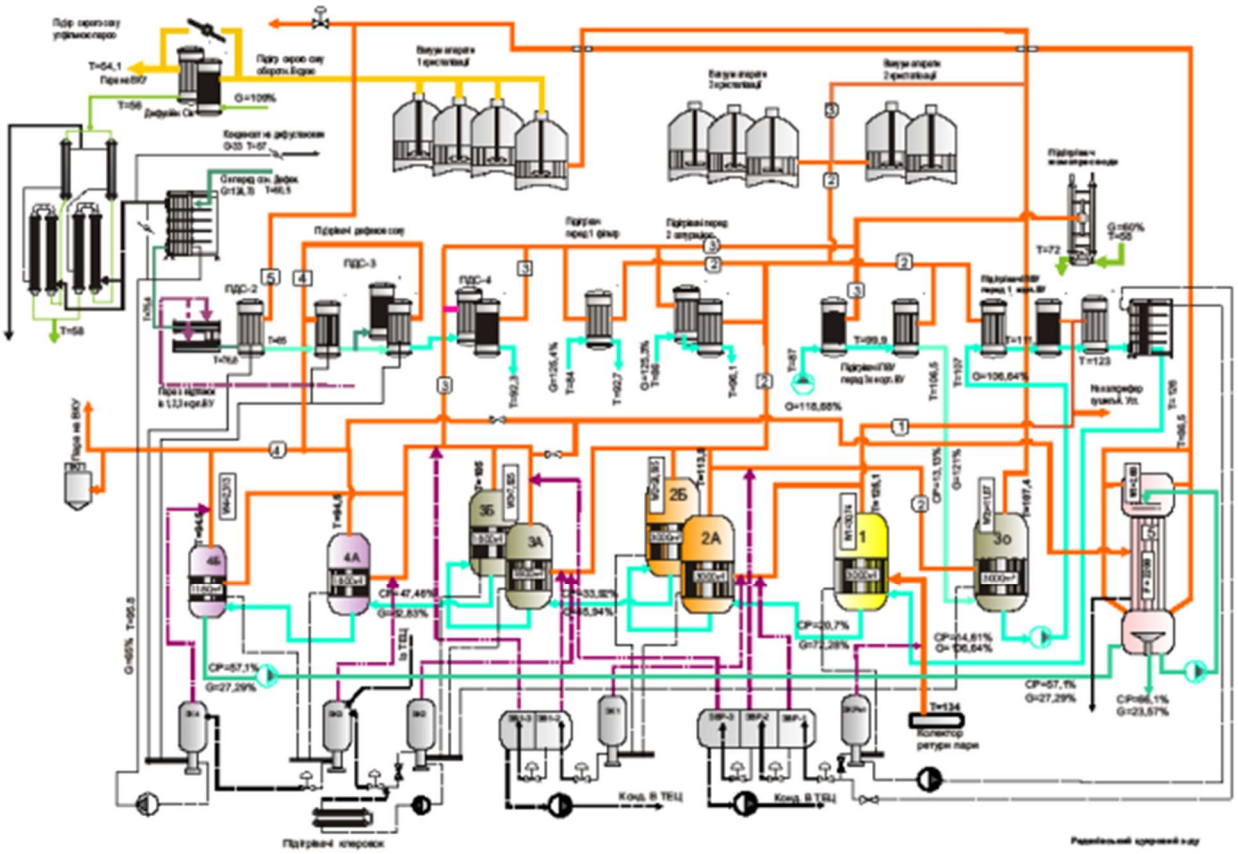


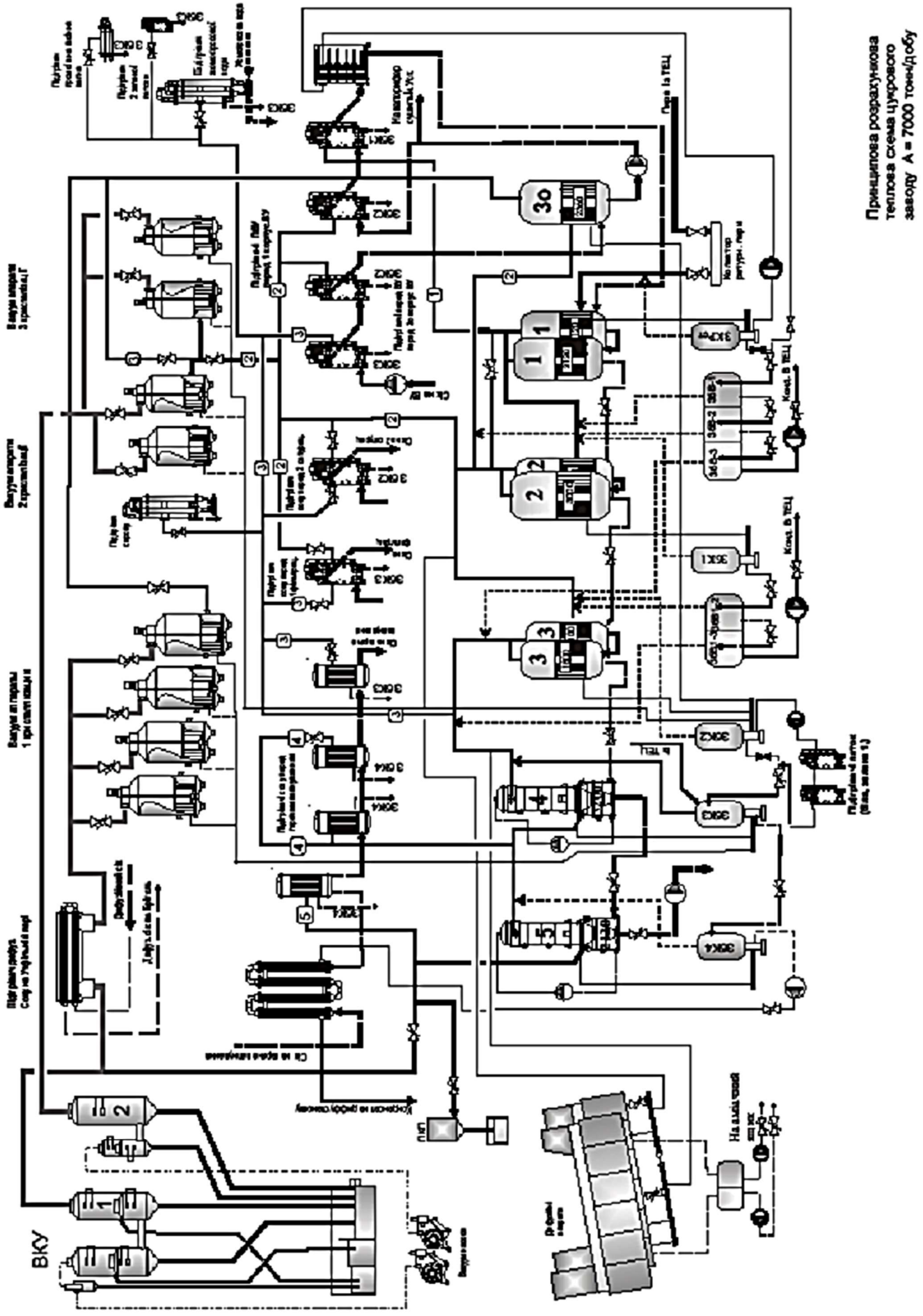
Рис.5. Компоновка випарних апаратів Роберта в промисловому цеху та потужних плівкових випарних апаратів за його межами.

2. СХЕМИ ВИПАРНИХ УСТАНОВОК ЦУКРОВИХ ЗАВОДІВ



$B_{випар.}$ = 3,2% Принципова теплова схема на продуктивність 8000 тонн/добу





					КР 000.144.004.002.2024. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

3. РОЗРАХУНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИПАРНИХ АПАРАТІВ РІЗНИХ ГІДРАВЛІЧНИХ СХЕМ

3.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ

Технічні рішення, що використані при розробці тепло-технічної схеми:

1. Використовується на нагрівання дифузійного соку теплота утфельної пари в підігрівачах;

2. Встановлюються жомопреса глибокого віджиму (24 – 26% СР);

3. На диф-установку використовується лише жомопресова вода та конденсати (барометрична вода застосовується лише при пускових операціях)

4. На гасіння вапна поступають лише промої з пресфільтрів з очищеним соком після 2-гої сатурації (конденсати не використовуються). Завдяки цьому сік пере випарною установкою має концентрацію лише на 0,5 – 0,6 % менше за концентрацію дифузійного соку.

5. Нефільтрований сік 1-шої сатурації перед поверненням на апарат попередньої дефекації (апарат брігель Мюллера) охолоджується в регенеративному теплообміннику соком після холодного дефекатора. (*рис.3.1*), що дозволяє підтримувати т-ру соку у брігелі менше 60 °С за умови нагрівання дифузійного соку утфельною парою.

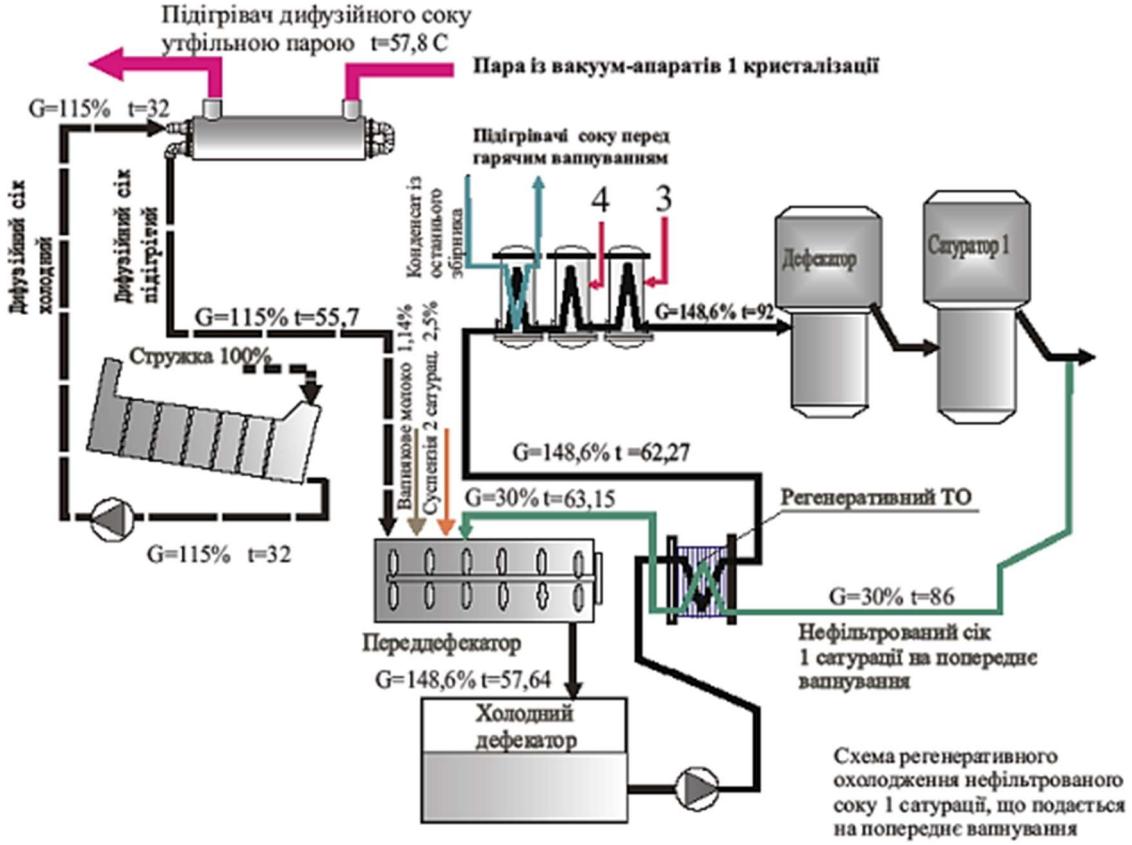


Рис.3.1. Схема регенеративного охолодження нефільтрованого соку 1-ї сатурації, що подається на попереднє вапнування.

6. На уварювання утфелів використовуються лише вакуум-апарати з механічними циркуляторами. (дає можливість використовувати пару з 3 та 4 корпусів ВУ на варку)

7. Охолодження конденсатів головних корпусів ВУ здійснюється у збірниках-випаровувачах.

8 Конденсати з останнього збірника використовуються на нагрівання соку перед гарячим вапнуванням 1 групи і далі поступають на живлення дифапарата.

9. Відтоки з центрифуг (1 зелена та біла патоки) нагріваються конденсатами вторинної пари 2 корпусу ВУ у виносних підігрівачах з рециркуляцією паток.

10. Клерування жовтого та бурого цукру здійснюється сиропом після випарної установки.

11. Випарна установка експлуатується із застосуванням антинакипіну.

3.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ НА ОСНОВІ ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ З АПАРАТАМИ РОБЕРТА

3.2.1. Розрахунок теплової схеми А=3600

(клеровка сиропом 4, 5 апарати Роберта)

Вихідні дані:

	Результати розрахунку продуктів:		
1.	*Продуктивність заводу*	*A, т/доб.*	3600
2.	*Витрата дифузійного соку*	*Sds, %*	115
3.	*Витр. нефільтр. соку на потреби деф.*	*Scv*	30
4.	*Витр. суспен. 2 сат. на ПД*	*Sc2*	2,5
5.	*Витр. диф. соку та сусп. 2 сат. на ТО*	*Spd, %*	*CPdc* = 16,54
6.	*Витрата соку перед 1 фільтрацією*	*Splf, %*	123
7.	*Витрата соку перед 2 сатурацією*	*S2c, %*	122,87
8.	*Сік на клеровку*	*Sskl, %*	
9.	*Сік на випарну установку ВУ*	*Spvu, %*	122,82
		Cpvu	16,23
10.	*Клеровка*	*Skl, %*	
11.	*Зелена патока 1 прод. на варку*	*Spz1*	8,74
		CPzp1	81,4
12.	*Біла патока 1 прод.*	*Spb1*	5,73
		CPpb1	80,1
13.	*Зелена патока 2 прод. на варку*	*Spz2*	6,07
		CPpz2	84
14.	*Афінаційний відтік*	*Saf3*	

$$Szcax2 = 6{,}45$$

$$Szcax3 = 2{,}35$$

$$Szcax = Szcax + Szcax3 = 8{,}8.$$

	Режимні параметри та температурний режим:		
1.	*Температура соку після дифузії*	*tds, °C*	32
2.	*Температура сусп.2, що повертається в збірн.дифсоку*	*tcp2, °C*	82
3.	*Температура соку у збірнику перед ВУ*	*tpvu, °C*	89
4.	*Температура ретурної пари*	*tret, °C*	129,5
5.	*Температура сокових парів 1 корпусу ВУ*	*t1*	122,5
6.	*Температура сокових парів 2 корпусу ВУ*	*t2*	114,3
7.	*Температура сокових парів 3 корпусу ВУ*	*t3*	104,0
8.	*Температура сокових парів 4 корпусу ВУ*	*t4*	93

9.	*Температура сокових парів 5 корпусу ВУ*	*t5*	78
		t3o	107
	Температура конденсату після збірника конденсату ЗК-4	*tkond4 = t4 + 0,1*	93,1

	Кількість бараометричної води на дифустановку *Sbv, %*:		
1.	*Температура конденсату із останнього збірника*	*tkon, °C*	93,1
2.	*Температура жомопресової води*	*tzpro, °C*	60
3.	*Витрата жомопресової води*	*Szpr, %*	50
4.	*Витрата конденсату на дифустановку*	*Skond, %*	45
5.	*Витрата барометричної води на дифустановку*	*Sbv, %*	0

$$Sstr = 100$$

$$Szom = 80$$

$$Sbv = Sds - Sstr - Szpr - Skond + Szom = 0$$

ВИТРАТА ПАРИ НА СПОЖИВАЧІВ

Витрата пари на дифустановку:

1.	*Температура жому*	*tzom, °C*	71
2.	*Температура стружки*	*tstr, °C*	5
3.	*Температура жомопресової води*	*tzpr, °C*	72
4.	*Температура дифузійного соку*	*tds, °C*	32
5.	*Температура барометричної води*	*tk, °C*	70
6.	*Температура конденсату*	*tkon, °C*	70

$$CP = 15;\ Czom = 3,7;\ Cstr = 3,6;\ tgrd = 115;\ Sds = 115$$

$$Cp(t) = \begin{cases} 4,2083 - 1,852 * 10^{-3} * t + 2,703 * 10^{-5} * t^2 - 7,29 * 10^{-8} * t^3 & if\ t \le 100 \\ 4,1676 - 8,286 * 10^{-5} * t + 4,643 * 10^{-6} * t^2 + 1,428 * 10^{-8} * t^3 & otherwise \end{cases}$$

$$Czpr(t) = Cp(t) - CP * (25 + 0,08 * t) * 10^{-3} = 3,726.$$

$$r(t) = 2503,91 - 2,498 * t + 2,07 * 10^{-3} * t^2 - 1,823 * 10^{-5} * t^3 = 2,216 * 10^3.$$

$$Czpr(tzpr) = 3,726;\ Cp(tk) = 4,186;\ Czpr(tds) = 3,761;\ Skond = 45;\ Szpr = 50;$$

$$Sbv = 0;\ Sstr = 100$$

$Qaut = Sds * Czpr(tds) * tds + Szom * Czom * tzom = 3{,}486 * 10^4$.

$Qin = Sstr * Cstr * tstr + Szpr * Czpr(tzpr) * tzpr + Skond * Cp(tk) * tkon + Sbv * * Cp(tk) * tk = 2{,}84 * 10^4$.

$Qdif = Qaut * Qin = 6{,}455 * 10^3$.

$$Ddif = \frac{Qdif * 1{,}2}{r(tgrd)} = 3{,}495.$$

$Ddif2 = Ddif * 0{,}4 = 1{,}398$.

$Ddif3 = Ddif * 0{,}6 = 2{,}097$.

$E2dif = Ddif2$.

$E3dif = Ddif3$.

Розрахунок температури дифузійного соку на виході із підігрівача на утфельній парі

1.	*Кількість труб в 1 ході*	*nz*	26
2.	*Температура утфельної пари (розрідж. 0,82 бар)*	*tsat*	57,8
3.	*Кількість теплообмінних пучків*	*Z*	16
4.	*Середнє число труб по вертикалі пучку*	*N*	3,645
5.	*Довжина труб теплообмінних секцій*	*L*	4,1
6.	*Витрата дифузійного соку*	*G*	47,917
7.	*Поверхня тепообміну теплообмінника*	*F*	168,701

*dv = 0,03; dc = 0,0315; dz = 0,033; A = 3,6 * 10³; Sds = 115*

$$N = \left(\frac{3}{2}\right) * \left(\frac{-1}{2} + \frac{\sqrt{12 * nz - 3}}{6}\right) = 3{,}645$$

$$G = Sds * \frac{A}{24 * 100 * 3{,}6} = 47{,}917$$

*F = 3,14 * L * nz * dc * Z = 168,701*

δs = 0,00015; λs = 17

8.	*Товщина та теплообмінність відкладень на трубі*	δn λn	0,0003 2
9.	*Температура дифузійного соку на виході із дифузійного апарата*	*tds*	32
10.	*Температура дифузійного соку на виході із теплообмінника*	*tko*	55,71
11.	*Середня температура дифузійного соку в теплообміннику*	*tc*	43,855
12.	*Середня температура соку*	*tc*	48,366

$$tc = \frac{tds + tko}{2} = 43{,}855$$

tk = tko; tp = tds

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tsat - tp}{tsat - tk}\right)\right)} = 9{,}434.$$

$tc = tsat - \Delta t = 48{,}366.$

Теплофізичні властивості конденсату

$$v(t) = \begin{cases} 1{,}43558 * 10^{-6} - 2{,}7906 * 10^{-8} * t + 2{,}492 * 10^{-10} * t^2 - 8{,}437 * 10^{-13} * t^3 \\ \text{if } t \le 100 \\ 0{,}4451 * 10^{-6} + 1{,}147 * 10^{-10} * t - 2{,}585 * 10^{-11} * t^2 + 9{,}56 * 10^{-14} * t^3 \\ \text{otherwise} \end{cases}$$

$v(tsat) = 4{,}922 * 10^{-7}.$

$$\lambda(t) = \begin{cases} 0{,}603 + 3{,}986 * 10^{-6} * t + 2{,}467 * 10^{-5} * t^2 - 1{,}68 * 10^{-7} * t^3 \text{ if } t \le 100 \\ 0{,}61618 + 1{,}1062 * 10^{-3} * t - 4{,}375 * 10^{-6} * t^2 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$\lambda(tsat) = 0{,}653.$

$Pr(t) = (9{,}175 - 0{,}154 * t + 1{,}044 * 10^{-3} * t^2) - 2{,}467 * 10^{-6} * t^3 = 3{,}285.$

$$Cp(t) = \begin{cases} 4{,}2083 - 1{,}852 * 10^{-3} * t + 2{,}703 * 10^{-5} * t^2 - 7{,}29 * 10^{-8} * t^3 \text{ if } t \le 100 \\ 4{,}1676 - 8{,}286 * 10^{-5} * t + 4{,}643 * 10^{-6} * t^2 + 1{,}428 * 10^{-8} * t^3 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$Cp(t) = 4{,}177.$

$p1(tsat) = 1004{,}7 - 0{,}206 * t - 2{,}608 * 10^{-3} * t^2 = 984{,}08.$

$\mu(tsat) = v(t) * p1(t) = 4{,}844 * 10^{-4}.$

Теплофізичні властивості соку

$J(t) = log(\mu(t) * 1000) + CP * (0{,}0157 - 7 * 10^{-5} * t) = -0{,}062.$

$\mu c(t) = 10^{J(t)} * 10^{-3} = 8{,}673 * 10^{-4}.$

$\lambda c(t) = \lambda(t) - 0{,}0033 * CP = 0{,}592.$

$\rho c(t) = \rho 1(t) + 4 * CP = 1{,}049 * 10^3$

$$Cpc(t) = Cp(t) - CP * \frac{25 + 0{,}08 * tc}{1000} = 3{,}741.$$

$$vc(t) = \frac{\mu c(t)}{\rho c(t)} = 8{,}271 * 10^{-7}.$$

$$Prc(t) = \mu c(t) * \frac{Cpc(t) * 1000}{\lambda c(t)} = 5{,}477.$$

1.	*Тепловидатність*	*Q*	$4{,}25 * 10^3$
2.	*Тепловий потік*	*q*	25,191
3.	*Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації*	*U*	0,8
4.	*Швидкість соку в трубах*	*w*	2,488

$$Q = G * Cpc(tc) * (tk - tp) = 4{,}25 * 10^3.$$

$$q = \frac{Q}{F} = 25{,}191.$$

$$\alpha 10 = 0{,}655 * \left[\left(\frac{\lambda(tsat)^3 * p1(tsat) * r(tsat) * 9{,}81}{v(tsat) * dz * q}\right)^{0{,}333}\right] * N^{-\frac{1}{6}} = 1{,}304 * 10^4.$$

$$\alpha 1 = \alpha 10 * U = 1{,}043 * 10^4.$$

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(t) * 3{,}14 * dv^2 * nz} = 2{,}488.$$

$$dv = 0{,}03; \quad Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 9{,}023 * 10^4.$$

Коефіцієнт тепловіддачі до соку

$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2}$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(t)}{dv} & if \ Re \geq 1000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(t)}{dv} & otherwise \end{cases}$$

*α2 = 8,258 * 10³.*

Коефіцієнт теплопередачі

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 4{,}43 * 10^{3}$$

$$K = \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} = 2{,}661 * 10^{3}$$

1.	*Число одиниць одиниць перенесення тепла*	*NTU*	2,505
2.	*Ефективність теплообмінника*	*ε*	0,918
3.	*Температура соку на виході із теплообмінника*	*tk*	55,692

$$NTU = K * \frac{F * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 2{,}505$$

ε = 1 – e $^{-NVU}$ = 0,918.

*tk = tp + (tsat - tp) * ε = 55,692 tp = 32*

tutf = tk

ΔTutf = tk – tp = 23,692.

Гідравлічний опір ТО (соковий простір) *Δe = 0,0003*

$$\xi g = 0{,}11 * \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta e}{dv}\right)^{0{,}25} = 0{,}035$$

$$\Delta P = \left[\xi g * L * \frac{Z}{dv} + (Z-1) * 2{,}5 + 3\right] * \rho c(t) * \frac{w^2}{2 * 10^5} = 3{,}827.$$

Розрахунок температури нефільтрованого соку 1-ї сатурації, після регенеративного теплообмінника

1.	*Температура нефільтрованого соку на вході*	*tlp*	86
2.	*Задаємо температуру нефільтрованого соку на виході*	*tlk*	63,15
3.	*Витрата нефільтрованого соку*	*G1, кг/с*	12,5
4.	*Температура соку на виході із попереднього дефекатора на вході в реген. теплообм.(задаємо)*	*t2p*	57,64
5.	*Витрата соку*	*G2, кг/с*	61,933
6.	*Температура соку на виході із реген. теплообм.*	*t2k*	62,252
7.	*Середня температура нефільтрованого соку*	*t1c*	74,575
8.	*Середня температура соку після попереднього вапнування*	*t2c*	59,946
9.	*Ширина пластини*	*b*	0,6
10.	*Висота пластини*	*H*	1,4
11.	*Ширина каналу (зазору) між пластинами*	*δz*	0,012
12.	*Загальне число пластин*	*n*	60
13.	*Поверхня теплообміну*	*F*	48,72

$$G1 = Scv * \frac{A}{(24 * 100) * 3{,}6} = 12{,}5$$

Svap = 1,14; Scv = 30

Spd = Sds + Sv2 + Scv + Svap = 148,64

$$G2 = Spd * \frac{A}{(24 * 100) * 3{,}6} = 61{,}933$$

$$t2k = t2p + \left(G1 * \frac{t1p - t1k}{G2}\right) = 62{,}252$$

$$t1c = \frac{t1p + t1k}{2} = 74{,}575$$

$$t2c = \frac{t2p + t2k}{2} = 59{,}946$$

*F = b * H * (n - 2) = 48,72.*

Теплообмінник 4, ходовий по нефільтрованому соку та

теплообмінник 1 ходовий по соку

$$fz1 = b * \delta z * \left[\left(\frac{n}{8}\right) - 1\right] = 0{,}047$$

$$fz2 = b * \delta z * \left[\left(\frac{n}{2}\right) - 1\right] = 0{,}209$$

*dek = 2 * δz = 0,024.*

*ρc(t2c) = 1,043 * 10³; Cpc(t2c) = 3,746; Prc(t2c) = 4,306; Prc(t1c) = 3,306;*

*ρc(t1c) = 1,033 * 10³; vc(t2c) = 6,682 * 10 -7; vc(t1c) = 5,283 * 10 -7*

$$w1 = \frac{G1}{\rho c(t1c) * fz1} = 0{,}258$$

$$w2 = \frac{G2}{\rho c(t2c) * fz2} = 0{,}284$$

$$Re1 = w1 * \frac{dek}{vc(t1c)} = 1{,}173 * 10^4$$

$$Re2 = w2 * \frac{dek}{vc(t2c)} = 1{,}022 * 10^4$$

$$\xi t1 = \begin{cases} 79 * \dfrac{(1000 * \delta z)^{0,6}}{Re1^{0,85}} & if\ Re1 < 1000 \\ 3{,}05 * \dfrac{(1000 * \delta z)^{0,6}}{Re1^{0,38}} & otherwise \end{cases} \qquad \xi t1 = 0{,}385.$$

$$\alpha 1 = 0{,}092 * \xi t1^{0,5} * Re1^{0,845} * Prc(t1c)^{0,25} * \left(1 + 4 * \frac{\log\left(Rrc(t1c)\right)}{Rrc(t1c)}\right) * \frac{\lambda c(t1c)}{dek}$$

$$\alpha 1 = 8{,}905 * 10^3$$

$$\xi t2 = \begin{cases} 79 * \dfrac{(1000 * \delta z)^{0,6}}{Re2^{0,85}} & if\ Re2 < 1000 \\ 3{,}05 * \dfrac{(1000 * \delta z)^{0,6}}{Re2^{0,38}} & otherwise \end{cases} \qquad \xi t2 = 0{,}406.$$

$$\alpha 2 = 0{,}092 * \xi t2^{0,5} * Re2^{0,845} * Prc(t2c)^{0,25} * \left(1 + 4 * \frac{\log\left(Rrc(t2c)\right)}{Rrc(t2c)}\right) * \frac{\lambda c(t1c)}{dek}$$

$$\alpha 2 = 8{,}905 * 10^3$$

δn = 0,0008; λn = 2

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 4{,}133 * 10^{3}$$

$$K = \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} = 1{,}558 * 10^{3}$$

$$NTU1 = K * \frac{F * 10^{-3}}{G1 * Cpc(t1c)} = 1{,}616$$

$$NTU2 = K * F\ \frac{10^{-3}}{G2 * Cpc(t2c)} = 0{,}327$$

ΔN = NTU1 – NTU2 = 1,289

$$NTU = \begin{cases} NTU1 & if\ \Delta N \geq 0 \\ NTU2 & otherwise \end{cases}$$

*C1 = G1 * Cpc(t1c) = 46,965*

*C2 = G2 * Cpc(t2c) = 231,982*

ΔC = C1 – C2 = - 185,016

$$Cmin = \begin{cases} C1 & if\ \Delta C < 0 \\ C2 & otherwise \end{cases} \qquad Cmin = 46{,}965$$

$$Cmax = \begin{cases} C1 & if\ \Delta C > 0 \\ C2 & otherwise \end{cases} \qquad Cmax = 231{,}982$$

$$\varepsilon prot = \frac{1 - \exp\left[-NTU * \left(1 - \frac{Cmin}{Cmax}\right)\right]}{1 - \left(\frac{Cmin}{Cmax}\right) * \left[\exp\left[-NTU * \left(1 - \frac{Cmin}{Cmax}\right)\right]\right]} = 0{,}767$$

$$\varepsilon prym = \frac{1 - \exp\left[-NTU * \left(1 + \frac{Cmin}{Cmax}\right)\right]}{1 + \left(\frac{Cmin}{Cmax}\right)} = 0{,}712$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon prot + \varepsilon prym}{2} = 0{,}74$$

t1p = 86; t2p = 57,64

$$t1k = t1p - (t1p - t2p) * \varepsilon * \left(\frac{Cmin}{C1}\right) = 65{,}018$$

$$t2k = t2p + (t1p - t2p) * \varepsilon * \left(\frac{Cmin}{C2}\right) = 61{,}888$$

$\delta t1 = t1p - t1k = 20{,}982$

$\delta t2 = t2k - t2p = 4{,}248.$

Основні показники роботи пластинчастого регенеративного ТО (рідина-рідина)

1.Поверхня теплообміну, м2
2.Число пластин в одному ході
3. Число ходів
4.Довжина каналу
5.Ширина каналу, м
6.Ширина щілини, мм
7.Витрата нефільтр.соку на переддефек., т/год
8.Витрата соку після переддефекатора, т/год
9Швидкість нефільтр. соку ω1. ,м/с
10.Швидкість дефеков. соку ω2 , м/с
11.Товщина накипу, або коефіц.ф.
12.Коефіц. теплопередачі, K Вт/м2 К
13.Ефективність ε ТО
14.Початков. т-ра нефільтр. соку t1p, С
15.Початков. т-ра переддефеков. соку, t2p С
16.Кінцева т-ра нефільтров. соку , t1kС
17.Кінцева т-ра переддефеков.соку, t2k С
18Гідравлічн. опір, Бар

$$\begin{pmatrix} 1 & F \\ 2 & nz \\ 3 & Z \\ 4 & L \\ 5 & b \\ 6 & \delta z \\ 7 & G1 \\ 8 & G2 \\ 9 & w1 \\ 10 & w2 \\ 11 & \delta n \\ 12 & K \\ 13 & \varepsilon \\ 14 & t1p \\ 15 & t2p \\ 16 & t1k \\ 17 & t2k \end{pmatrix} =$$

	0	1
0	1	48.72
1	2	26
2	3	16
3	4	4.1
4	5	0.6
5	6	0.012
6	7	12.5
7	8	61.933
8	9	0.258
9	10	0.284
10	11	$8 \cdot 10^{-4}$
11	12	$1.558 \cdot 10^{3}$
12	13	0.74
13	14	86
14	15	57.64
15	16	65.018
16	17	61.888
17		

Температура соку на виході із попереднього дефекатора

$tds = tutf = 55{,}692; \quad tcv = t1k = 65{,}018; \quad Csusp = 3{,}8; \quad Svap = 1{,}14$

$Cds(t) = Cp(t) - CP * (25 + 0{,}08 * t) * 10^{-3} = 3{,}735$

$Sds = 115; \quad Sv2 = 2{,}5; \quad Scv = 30$

$Spd = Sds + Sv2 + Scv + Svap = 115$

$$tpd = \frac{Sds * tds * Cds(tds) + (Sv2) * tcp2 * Csusp + Scv * Cds(tcv) * tcv}{(Sds * Cds(tds) + Sv2 * Csusp) + Scv * Cds(tcv)} = 58{,}04.$$

ВИТРАТА ПАРИ НА ТЕПЛООБМІННИК

Витрата пари на підігрівачі перед основним вапнуванням

Теплообмінник ПДС2

(теплообмінник решофер) kondensat

t2p = t2k = 61,888; t1p = tkond4 = 93,1; SkondTO = 45

Режимні параметри гарячого конденсату та соку

1.	*Витрата конденсату*	*G1, т/год*	67,5
2.	*Витрата соку*	*G2, т/год*	222,96
3.	*Початкова температура конденсату*	*t1p, °C*	93,1
4.	*Початкова температура дифузійного соку*	*t2p, °C*	61,888

$$G1 = SkondTO * \frac{A}{24 * 100} = 67{,}5$$

$$G2 = Spd * \frac{A}{24 * 100} = 222{,}96.$$

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*Z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби*	*L*, м	3,5
4.	*Діаметр корпусу*	*Dvn,* м	1,2
5.	*Внутрішній діаметр т-ної труби*	*dv*, м	0,03
6.	*Зовнішній діаметр т-ної труби*	*dz,* м	0,033
7.	*Товщина стінки труби*	*δs,* м	0,0015
8.	*Середній діаметр т-ної труби*	*dc,* м	0,032
9.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ*	0,85
10.	*Живий переріз трубного простору*	*fz2,* м	0,032
11.	*Живий переріз міжтрубного простору*	*fz1,* м	0,074
12.	*Еквівалентний діаметр міжтрубного простору*	*dek*	0,035

$$dc = (dv + dz) * 0{,}5 = 0{,}032$$

$$fz2 = 3{,}14 * dv^2 * \frac{nz}{4} = 0{,}032$$

$$fz1 = 3{,}14 * \frac{Dvn^2 - dz^2 * nz * z}{4 * z} = 0{,}074$$

$$dek = 4 * \frac{fz1}{3{,}14 * (Dvn + dz * nz)} = 0{,}035.$$

Розрахунок кінцевих температур теплоносіїв

1.	*Задаємося температурою соку на виході із ТО*	*t2k*	71,2
2.	*Температура конденсату на виході із ТО*	*t1k*	65,725
3.	*Середні температури конденсату та соку*	*t1c*	79,412
		t2c	66,544

$$t1k = t1p - G2 * \frac{(t2k - t2p) * 0{,}89}{G1} = 65{,}725$$

$$t1c = \frac{t1p + t1k}{2} = 79{,}412$$

$$t2c = \frac{t2p + t2k}{2} = 66{,}544.$$

Теплофізичні властивості конденсату

$$\nu(t) = \begin{cases} 1{,}43558 * 10^{-6} - 2{,}7906 * 10^{-8} * t + 2{,}492 * 10^{-10} * t^2 - 8{,}437 * 10^{-13} * t^3 \\ \text{if } t \le 100 \\ 0{,}4451 * 10^{-6} + 1{,}147 * 10^{-10} * t - 2{,}585 * 10^{-11} * t^2 + 9{,}56 * 10^{-14} * t^3 \\ \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\nu(tc) = 3{,}685 * 10^{-7}$$

$$\lambda(t) = \begin{cases} 0{,}603 + 3{,}986 * 10^{-6} * t + 2{,}467 * 10^{-5} * t^2 - 1{,}68 * 10^{-7} * t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0{,}61618 + 1{,}1062 * 10^{-3} * t - 4{,}375 * 10^{-6} * t^2 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \lambda(t1c) = 0{,}675$$

$Pr(t) = (9{,}175 - 0{,}154 * t + 1{,}044 * 10^{-3} * t^2) - 2{,}467 * 10^{-6} * t^3 = 2{,}294$

$$Cp(t) = \begin{cases} 4{,}2083 - 1{,}852 * 10^{-3} * t + 2{,}703 * 10^{-5} * t^2 - 7{,}29 * 10^{-8} * t^3 & if\ t \le 100 \\ 4{,}1676 - 8{,}286 * 10^{-5} * t + 4{,}643 * 10^{-6} * t^2 + 1{,}428 * 10^{-8} * t^3 & otherwise \end{cases}$$

$Cp(t1c) = 4{,}195$

$\rho 1(t) = 1004{,}7 - 0{,}206 * t - 2{,}608 * 10^{-3} * t^2 = 971{,}894.$

Теплофізичні властивості соку

$J(t) = \log(\mu(t) * 1000) + CP * (0{,}0157 - 7 * 10^{-5} * t) = -0{,}189$

$\mu c(t) = 10^{J(t)} * 10^{-3} = 6{,}465 * 10^{-4}$

$\lambda c(t) = \lambda(t) - 0{,}0033 * CP = 0{,}608$

$\rho c(t) = \rho 1(t) + 4 * CP = 1{,}046 * 10^3$

$$Cpc(t) = Cp(t) - CP * \frac{25 + 0{,}08 * t2c}{1000} = 3{,}682$$

$$vc(t) = \frac{\mu c(t)}{\rho c(t)} = 6{,}183 * 10^{-7}$$

$$Prc(t) = \mu c(t) * \frac{Cpc(t) * 1000}{\lambda c(t)} = 3{,}912.$$

Швидкості соку w_2 в трубах та конденсату w_1 в міжтрубному просторі

$$w1 = \frac{G1}{\rho 1(t1c) * fz1 * 3{,}6} = 0{,}262; \qquad w2 = \frac{G2}{\rho 1(t2c) * fz2 * 3{,}6} = 1{,}823.$$

Числа Рейнольдса в трубах та міжтрубному просторі

$$Re1 = w1 * \frac{dek}{v(t1c)} = 2{,}454 * 10^4; \qquad Re2 = w2 * \frac{dv}{vc(t2c)} = 8{,}843 * 10^4.$$

Коефіцієнти тепловіддачі до соку

$\xi t1 = (1{,}82 * \log(Re1) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}025$

$$\alpha 1 = \begin{cases} 0{,}023 * Re1^{0{,}8} * \Pr(t1c)^{0{,}4} * \frac{\lambda(t1c)}{dek} & if\ Re1 \ge 1000 \\ \left[\frac{\left[(Re1 - 1000) * \Pr(t1c) * \frac{\xi t1}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dek}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (\Pr(t1c)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda(t1c)}{dek} & otherwise \end{cases}$$

$\alpha 1 = 2{,}035 * 10^3.$

Коефіцієнти тепловіддачі до соку

$\xi t2 = (1{,}82 * \log(Re2) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}018$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re2^{0{,}8} * \Pr(t2c)^{0{,}4} * \dfrac{\lambda c(t2c)}{dv} & if\ Re2 \geq 1000 \\ \left[\dfrac{\left[(Re2 - 1000) * \Prc(t2c) * \dfrac{\xi t2}{8}\right] * \left[1 + \left(\dfrac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (\Prc(t2c)^{0{,}666} - 1) * \left(\dfrac{\xi t2}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \dfrac{\lambda c(t2c)}{dv} & otherwise \end{cases}$$

$\alpha 2 = 7{,}296 * 10^3.$

Коефіцієнт теплопередачі

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 1{,}474 * 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \dfrac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} & if\ \delta n > 0 \qquad K = 1{,}253 * 10^3 \\ Ko * \varphi & otherwise \end{cases}$$

Число одиниць перенесення тепла

$$NTU1 = K * \frac{(F * 10^{-3}) * 3{,}6}{G1 * Cp(t1c)} = 2{,}536$$

$$NTU2 = K * F * \frac{10^{-3} * 3{,}6}{G2 * Cp(t2c)} = 0{,}77$$

ΔN = NTU1 – NTU2 = 1,766

$$NTU = \begin{cases} NTU1 & if\ \Delta N \geq 0 \\ NTU2 & otherwise \end{cases}$$

*C1 = G1 * Cp(t1c) = 283,175;* *C2 = G2 * Cpc(t2c) = 820,876*

ΔC = C1 – C2 = -537,702

$$Cmin = \begin{cases} C1 & if\ \Delta C < 0 \\ C2 & otherwise \end{cases} = 283{,}175; \qquad Cmax = \begin{cases} C1 & if\ \Delta C > 0 \\ C2 & otherwise \end{cases} = 820{,}876.$$

Ефективність теплообмінника

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\left[-NTU * \left(1 - \dfrac{Cmin}{Cmax}\right)\right]}{1 - \left(\dfrac{Cmin}{Cmax}\right) * \left[\exp\left[-NTU * \left(1 - \dfrac{Cmin}{Cmax}\right)\right]\right]} = 0{,}867.$$

Температура конденсату на виході із теплообмінника

t1p = 93,1

$$t1k = t1p - (t1p - t2p) * \varepsilon * \left(\frac{Cmin}{C1}\right) = 66{,}043.$$

Температура соку на виході із теплообмінника

t2p = 61,888

$$t2k = t2p + (t1p - t2p) * \varepsilon * \left(\frac{Cmin}{C2}\right) = 71{,}222.$$

Змінна температура теплоносіїв

δt1 = t1p – t1k = 27,057; *δt2 = t2k – t2p = 9,334.*

Тепловидатність

$$Q = G1 * Cp(t1c) * \frac{t1p - t1k}{3{,}6} = 2{,}128 * 10^3.$$

Гідравлічний опір ТО (соковий промтір)

$$\xi g = 0{,}11 * \left(\frac{68}{Re2} + \frac{\Delta e}{dv}\right)^{0{,}25} = 0{,}038$$

$$\Delta P = \left[\xi g * L * \frac{z}{dv} + (z-1) * 2{,}5 + 3\right] * \rho c(t2c) * \frac{w2^2}{2 * 10^5} = 1{,}211$$

ΔP1 = ΔP.

1.	*Початкова температура:* *- соку* *- конденсату*	 *t2p* *t1p*	 61,888 93,1
2.	*Кінцева температура:* *- соку* *- конденсату*	 *t2k* *t1k*	 71,222 66,043
3.	*Тепловидатність, кВт*	*Q*	$2{,}128 * 10^3$

tkon1 = t1k

Tdif1p = t2p; *Tdif1k = t2k*

Tto2p = t1p; *Tto2k = t1k*

ΔTdif1 = t2k – t2p = 9,334

G1pdc = G1 = 67,5; *G2pdc = G2 = 222,96*

Основні показники роботи ТО ПДС-1

0.Витрата конденсату, т/год
1.Витрата соку, т/год
2Швидкість конденс. в міжтрубн. прост.,м/с
3.Швидкість соку в трубах, м/с
4. коефіц.використ.
5.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
6.Ефективність ТО
7.Початков. т-ра конденсату, С
8.Початков. т-ра соку, С
9.Кінцева т-ра конденсату, С
10.Кінцева т-ра соку, С
11Гідравлічн. опір, Бар
12.Степінь нагрівання соку, С

$$\begin{pmatrix} 0 & G1 \\ 1 & G2 \\ 2 & w1 \\ 3 & w2 \\ 4 & \phi \\ 5 & K \\ 6 & \varepsilon \\ 7 & t1p \\ 8 & t2p \\ 9 & t1k \\ 10 & t2k \\ 11 & \Delta P1 \\ 12 & \Delta Tdif1 \end{pmatrix} =$$

	0	1
0	0	67.5
1	1	222.96
2	2	0.262
3	3	1.823
4	4	0.85
5	5	$1.253 \cdot 10^3$
6	6	0.867
7	7	93.1
8	8	61.888
9	9	66.043
10	10	71.222
11	11	1.211
12	12	9.334

Підігрівач перед основним вапнуванням пари 5 корп.

підігр. 2 гупи ППДС

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	222,96
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	75
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	71,222

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,7

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 74*

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 2{,}09$$

$$tc = tgr - \Delta t = 72{,}91$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 634{,}44$$

$$q = \frac{Q}{F} = 3{,}984$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 15{,}873$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} & if\ Re \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} & othe. \end{cases}$$

*α10 = 1,149 * 10⁴.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,7*

*α1 = α10 * U = 8,043 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}828$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 9{,}813 * 10^4$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}018$$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & if\ Re \ge 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & otherwise \end{cases}$$

*α2 = 7,656 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 3{,}279 * 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} & if\ \delta n > 0 \\ Ko * \varphi & otherwise \end{cases} = 2{,}296 * 10^{3}$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 1{,}601$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}798.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 74{,}238$$

Витрата пари на підігрівник

$$E5pd = 1{,}01 * Spd * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 0{,}719$$

PDCv5 = E5pd

δtn = tgr – tk = 0,762.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 71,222; tk = 74,238*

Tdif5p = tp; Tdif5k = tk; ΔTdif5 = tk – tp = 3,016.

Гідравлічний опір

$$\xi g = 0{,}11 * \left(\frac{68}{Re2} + \frac{\Delta e}{dv}\right)^{0{,}25} = 0{,}038$$

$$\Delta P = \left[\xi g * L * \frac{z}{dv} + (z - 1) * 2{,}5 + 3\right] * \rho c(t2c) * \frac{w^2}{2 * 100000} = 1{,}219$$

ΔP5 = ΔP = 1,219.

Основні показники роботи ТО ПДС-2

1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К	1 K	1 2.296 × 10^3
2.Ефективність ТО	2 ε	2 0.798
3.Т-ра гріюч. пари, С	3 tgr	3 75
4.Початков. т-ра соку, С	4 tp	4 71.222
5.Кінцева т-ра соку, С	5 tk	5 74.238
6Гідравлічн. опір, Бар	6 ΔP	6 1.219
7.Витрата пари, %	7 PDCv5	7 0.719

Підігрівач соку перед гарячим вапнуванням ПДСЗ

Гріюча пара – пара із 4 корпусу ВУ *F = 200 м²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	222,96
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	89
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	74,238

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	57
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,7

Розрахунок кінцевої температури соку на виході із ТО

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 85,0*

$$F = 3{,}14 * L * nz * \frac{dv + dz}{2} * z = 197{,}325$$

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 8{,}242$$

$$tc = tgr - \Delta t = 80{,}758$$

Теплофізичні властивості конденсату:

$$v(tgr) = 3{,}311 * 10^{-7};\ \rho 1(tgr) = 965{,}708;\ \lambda(tgr) = 0{,}68;$$

$$r(tgr) = 2{,}285 * 10^{3};\ \ Pr(tgr) = 1{,}999$$

Теплофізичні властивості соку:

$$vc(tc) = 4{,}98 * 10^{-7};\ \rho c(tc) = 1{,}037 * 10^{3};$$

$$\lambda c(tc) = 0{,}621;\ \ Prc(tc) = 3{,}073$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 2{,}463 * 10^{3}$$

$$q = \frac{Q}{F} = 12{,}481$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 59{,}793$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} & if\ Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} & othewi. \end{cases}$$

*α10 = 8,934 * 10³.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,7*

*α1 = α10 * U = 6,253 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}482$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 8{,}929 * 10^4$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}018$$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & if\ Re \geq 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & otherwise \end{cases}$$

*α2 = 6,815 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 2{,}804 * 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} & if\ \delta n > 0 \quad = 1{,}963 * 10^3 \\ Ko * \varphi & otherwise \end{cases}$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 1{,}692$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}816.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 86{,}283.$$

Витрата пари

$$D4 = 1{,}01 * Spd * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 2{,}924.$$

Витрата пари на підігрівник

$$E4pd = 1{,}01 * Spd * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 2{,}924$$

PDC3v4 = E4pd

δtn = tgr – tk = 2,717.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 74,238; tk = 86,283*

Tdif4p = tp; Tdif4k = tk; ΔTdif4 = tk – tp = 12,045.

Гідравлічний опір

$$\xi g = 0{,}11 * \left(\frac{68}{Re2} + \frac{\Delta e}{dv}\right)^{0{,}25} = 0{,}038$$

$$\Delta P = \left[\xi g * L * \frac{z}{dv} + (z - 1) * 2{,}5 + 3\right] * \rho c(t2c) * \frac{w^2}{2 * 100000} = 0{,}801$$

ΔP2 = ΔP = 0,801.

Основні показники підігрівача ПДС-3

1.Ефективність ТО
2.Т-ра гріюч. пари, С
3.Початков. т-ра соку, С
4.Кінцева т-ра соку,

$$\begin{pmatrix} 1 & \varepsilon \\ 2 & tgr \\ 3 & tp \\ 4 & tk \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0.816 \\ 2 & 89 \\ 3 & 74.238 \\ 4 & 86.283 \end{pmatrix}$$

Підігрівач соку перед гарячим вапнуванням ПДС4

Гріюча пара – пара із 3 корпусу ВУ *F = 160 m²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	222,96
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	94,4
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	86,283

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,6

Розрахунок кінцевої температури соку на виході із ТО

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 92,2*

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 4{,}533$$

$$tc = tgr - \Delta t = 89{,}867$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 1{,}358 * 10^3$$

$$q = \frac{Q}{F} = 6{,}883$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 35{,}312$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} \; if \; Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} \; othe. \end{cases}$$

*α10 = 1,079 * 10⁴.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,5*

*α1 = α10 * U = 5,396 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}847$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}262 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}017$$

$$\alpha 2 = \left| \begin{array}{l} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \quad if\ Re \geq 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8} \right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L} \right)^{0{,}666} \right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8} \right)^{0{,}5}} \right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \quad otherwise \end{array} \right.$$

*α2 = 8,577 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s} \right)^{-1} = 2{,}842 * 10^3$$

$$K = \left| \begin{array}{l} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n} \right)^{-1} \quad if\ \delta n > 0 \quad = 1{,}705 * 10^3 \\ Ko * \varphi \quad otherwise \end{array} \right.$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 1{,}466$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}769.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 92{,}526.$$

Витрата пари на підігрівник ПДС-4

$$PDCv3 = 1{,}01 * Spd * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 1{,}529$$

δtn = tgr – tk = 1,874.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 86,283; tk = 92,526*

TpPDC3 = tp; TkPDC3 = tk; ΔTPDC3 = tk – tp = 6,243.

Гідравлічний опір

$$\xi g = 0{,}11 * \left(\frac{68}{Re2} + \frac{\Delta e}{dv} \right)^{0{,}25} = 0{,}038$$

$$\Delta P = \left[\xi g * L * \frac{z}{dv} + (z - 1) * 2{,}5 + 3 \right] * \rho c(t2c) * \frac{w^2}{2 * 100000} = 1{,}244$$

ΔP3 = ΔP = 1,244.

Основні показники роботи ТО ПДС-3

.

1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
2.Ефективність ТО
3.Т-ра гріюч. пари, С
4.Початков. т-ра соку, С
5.Кінцева т-ра соку, С
6Гідравлічн. опір, Бар
7.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & K \\ 2 & \epsilon \\ 3 & tgr \\ 4 & tp \\ 5 & tk \\ 6 & \Delta P \\ 7 & PDCv3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1.705 \times 10^3 \\ 2 & 0.769 \\ 3 & 94.4 \\ 4 & 86.283 \\ 5 & 92.526 \\ 6 & 1.244 \\ 7 & 1.529 \end{pmatrix}$$

ΣΔP = ΔP1 + ΔP2 + ΔP3 = 3,256

t1sat = 92.

Підігрівач перед 1 фільтрацією ПП1Ф

Гріюча пара – пара із 3 корпусу ВУ *F = 160 m²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	184,5
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	93
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	86,5

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,8

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 92*

$$F = 3{,}14 * L * nz * \frac{dv + dz}{2} * z = 159{,}245$$

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 2{,}938$$

$$tc = tgr - \Delta t = 90{,}062$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 1{,}045 * 10^3$$

$$q = \frac{Q}{F} = 6{,}56$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \ \rho1(tgr) * v(tgr)} = 33{,}06$$

$$\alpha10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \ \rho1(tgr) * \ r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * \ Rek^{0{,}053} \ if \ Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \ \mathrm{Pr}(tgr)^{-0{,}5} * \ (Rek^{0{,}75} - 89)} * \ \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} \ othe. \end{cases}$$

*α10 = 1,088 * 10⁴.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,5*

*α1 = α10 * U = 5,439 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * \ dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}529$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}047 \ * \ 10^5$$

$$\xi t = \ (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}018$$

$$\alpha2 = \begin{cases} 0{,}023 * \ Re^{0{,}8} * \ Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \ \ if \ Re \geq 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \ \ otherwise \end{cases}$$

*α2 = 7,38 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha1^{-1} + \ \alpha2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 2{,}707 \ * \ 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} \ \ if \ \delta n \ > 0 \ \ = 2{,}166 \ * \ 10^3 \\ Ko * \ \varphi \ \ otherwise \end{cases}$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * \ 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 1{,}816$$

$\varepsilon = 1 - e^{-NT} = 0{,}837.$

Температура соку на виході із ТО

$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 91{,}943.$

Витрата пари на підігрівник перед 1 фільтрац.

$$E4p1f = 1{,}01 * Sp1f * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 1{,}101$$

δtn = tgr – tk = 1,057.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 86,5; tk = 91,943*

Tp1fp = tp; Tp1fk = tk; ΔTp1f = tk – tp = 5,443; E4p1f = 1,101; PP1Fv3 = E4p1f

Основні показники роботи ТО ПП1Ф

1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
2.Ефективність ТО
3.Т-ра гріюч. пари, С
4.Початков. т-ра соку, С
5.Кінцева т-ра соку, С
6.Тепловидптність, кВт
7.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & K \\ 2 & \varepsilon \\ 3 & tgr \\ 4 & tp \\ 5 & tk \\ 6 & Q \\ 7 & PP1Fv3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2.166 \times 10^3 \\ 2 & 0.837 \\ 3 & 93 \\ 4 & 86.5 \\ 5 & 91.943 \\ 6 & 1.045 \times 10^3 \\ 7 & 1.101 \end{pmatrix}$$

Підігрівач перед 2 сатурацією П2Сат

Гріюча пара – пара із 3 корпусу ВУ *F = 160 m²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	184,305
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	96,5
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	86,5

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46

3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,8

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 95,4*

$$F = 3{,}14 * L * nz * \frac{dv + dz}{2} * z = 159{,}245$$

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 4{,}032$$

$$tc = tgr - \Delta t = 92{,}468$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 1{,}69 * 10^3$$

$$q = \frac{Q}{F} = 10{,}612$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 55{,}941$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} \; if \; Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} \; othe. \end{cases}$$

*α10 = 9,637 * 10³.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,8*

*α1 = α10 * U = 7,71 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}53$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}082 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}018$$

$$\alpha 2 = \left| \begin{array}{l} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \dfrac{\lambda c(tc)}{dv} \quad if\ Re \geq 10000 \\ \left[\dfrac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \dfrac{\xi t}{8} \right] * \left[1 + \left(\dfrac{dv}{L} \right)^{0{,}666} \right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\dfrac{\xi t}{8} \right)^{0{,}5}} \right] * \dfrac{\lambda c(tc)}{dv} \quad otherwise \end{array} \right.$$

*α2 = 7,484 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s} \right)^{-1} = 3{,}192 * 10^3$$

$$K = \left| \begin{array}{l} \left(Ko^{-1} + \dfrac{\delta n}{\lambda n} \right)^{-1} \quad if\ \delta n > 0 \quad = 2{,}553 * 10^3 \\ Ko * \varphi \quad otherwise \end{array} \right.$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 2{,}141$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}882.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 95{,}325.$$

Витрата пари на підігрівник соку перед 2 сатур.

$$E32s = 1{,}01 * S2s * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 1{,}793$$

δtn = tgr – tk = 1,175.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 86,5; tk = 95,325*

Tc2p = tp; Tc2k = tk; ΔTc2 = tk – tp = 8,825; P2Cv3 = E32s.

Основні показники роботи ТО перед 2 сатурацією ПП2С

1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
2.Ефективність ТО
3.Т-ра гріюч. пари, С
4.Початков. т-ра соку, С
5.Кінцева т-ра соку, С
6.Тепловидптність, кВт
7.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & K \\ 2 & \varepsilon \\ 3 & tgr \\ 4 & tp \\ 5 & tk \\ 6 & Q \\ 7 & P2Cv3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2.553 \times 10^3 \\ 2 & 0.882 \\ 3 & 96.5 \\ 4 & 86.5 \\ 5 & 95.325 \\ 6 & 1.69 \times 10^3 \\ 7 & 1.793 \end{pmatrix}$$

Система підігрівачів перед випарною установкою

Підігрівач перед ВУ 1 групи ПВУ1

Гріюча пара – пара із 3 корпусу ВУ *F = 160 m²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	184,23
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	103
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	89

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,75

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 100,8*

$$F = 3{,}14 * L * nz * \frac{dv + dz}{2} * z = 159{,}245$$

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 6{,}376$$

$$tc = tgr - \Delta t = 96{,}624$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 2{,}243 * 10^3$$

$$q = \frac{Q}{F} = 14{,}085$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 79{,}881$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} & if\ Re \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} & othe. \end{cases}$$

*α10 = 9,102 * 10³.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,7*

*α1 = α10 * U = 6,371 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}533$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}148 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}017$$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & if\ Re \ge 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & otherwise \end{cases}$$

*α2 = 7,671 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 2{,}965 * 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} & if\ \delta n > 0 \quad = 2{,}223 * 10^3 \\ Ko * \varphi & otherwise \end{cases}$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 1{,}863$$

$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}845.$

Температура соку на виході із ТО

$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 91{,}943.$

Витрата пари на підігрівник соку перед ВУ1 групи

$$E3pvu = 1{,}01 * Spvu * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 2{,}423$$

δtn = tgr – tk = 2,173.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 89; tk = 100,827*

Tpvu1p = tp; Tpvu1k = tk; ΔTpvu1 = tk – tp = 11,827; E3pvu = 2,423; PVU1v3 = E4p1f.

Основні показники підігрівача ПВУ-1

1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
2.Ефективність ТО
3.Т-ра гріюч. пари, С
4.Початков. т-ра соку, С
5.Кінцева т-ра соку, С
6.Тепловидптність, кВт
7.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & K \\ 2 & \varepsilon \\ 3 & tgr \\ 4 & tp \\ 5 & tk \\ 6 & Q \\ 7 & PVU1v3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2.223 \times 10^3 \\ 2 & 0.845 \\ 3 & 103 \\ 4 & 89 \\ 5 & 100.827 \\ 6 & 2.243 \times 10^3 \\ 7 & 2.423 \end{pmatrix}$$

Підігрівач перед ВУ 2 групи ПВУ2

Гріюча пара – пара із 2 корпусу ВУ *F = 160 m²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	184,23
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	107,8
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	100,827

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46

3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,8

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 107,0*

$$F = 3{,}14 * L * nz * \frac{dv + dz}{2} * z = 159{,}245$$

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 2{,}851$$

$$tc = tgr - \Delta t = 104{,}949$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 1{,}177 * 10^3$$

$$q = \frac{Q}{F} = 7{,}39$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 43{,}888$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} \; if \; Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} \; othe. \end{cases}$$

*α10 = 1,105 * 10⁴.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,69*

*α1 = α10 * U = 7,621 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}543$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}272 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}017$$

$$\alpha 2 = \left| \begin{array}{l} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \dfrac{\lambda c(tc)}{dv} \quad if\ Re \geq 10000 \\ \left[\dfrac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \dfrac{\xi t}{8} \right] * \left[1 + \left(\dfrac{dv}{L} \right)^{0{,}666} \right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\dfrac{\xi t}{8} \right)^{0{,}5}} \right] * \dfrac{\lambda c(tc)}{dv} \quad otherwise \end{array} \right.$$

*α2 = 8,016 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s} \right)^{-1} = 3{,}268 * 10^3$$

$$K = \left| \begin{array}{l} \left(Ko^{-1} + \dfrac{\delta n}{\lambda n} \right)^{-1} \quad if\ \delta n > 0 \quad = 2{,}615 * 10^3 \\ Ko * \varphi \quad otherwise \end{array} \right.$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 2{,}184$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}887.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 107{,}015.$$

Витрата пари на підігрівник соку перед ВУ3 групи

$$E3pvu = 1{,}01 * Spvu * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 1{,}279$$

δtn = tgr – tk = 0,785.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 100,827; tk = 107,015*

Tpvu2p = tp; Tpvu2k = tk; ΔTpvu2 = tk – tp = 6,189; E2pvu = 1,279; PVU2v2 = E2pvu.

Основні показники підігрівача ПВУ-2

1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
2.Ефективність ТО
3.Т-ра гріюч. пари, С
4.Початков. т-ра соку, С
5.Кінцева т-ра соку, С
6.Тепловидптність, кВт
7.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & K \\ 2 & \varepsilon \\ 3 & tgr \\ 4 & tp \\ 5 & tk \\ 6 & Q \\ 7 & PVU2v2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2.615 \times 10^3 \\ 2 & 0.887 \\ 3 & 107.8 \\ 4 & 100.827 \\ 5 & 107.015 \\ 6 & 1.177 \times 10^3 \\ 7 & 1.279 \end{pmatrix}$$

Підігрівач перед ВУ 3 групи ПВУ3

Гріюча пара – пара із 1 корпусу ВУ *F = 160 м²*

1.	*Витрата соку*	*Spvu1,* %	111,82
2.	*Витрата соку*	*G,* т/год	167,73
3.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	120,5
4.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	107,5

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,85

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 119,5*

$$F = 3{,}14 * L * nz * \frac{dv + dz}{2} * z = 159{,}245$$

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 4{,}678$$

$$tc = tgr - \Delta t = 115{,}822$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 2{,}092 * 10^3$$

$$q = \frac{Q}{F} = 13{,}134$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 88{,}386$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} & if\ Re \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} & othe. \end{cases}$$

*α10 = 9,713 * 10³.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,8*

*α1 = α10 * U = 7,771 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}416$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}309 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}017$$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & if\ Re \ge 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & otherwise \end{cases}$$

*α2 = 7,833 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 3{,}264 * 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} & if\ \delta n > 0 \quad = 2{,}775 * 10^3 \\ Ko * \varphi & otherwise \end{cases}$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 2{,}535$$

$\varepsilon = 1 - e^{-NT} = 0{,}921.$

Температура соку на виході із ТО

$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 119{,}47.$

Витрата пари на підігрівник соку перед ВУ4 групи

$$E1pvu = 1{,}02 * Spvu * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 2{,}549$$

δtn = tgr – tk = 1,03.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 107,5; tk = 119,47*

Tpvu3p = tp; Tpvu3k = tk; ΔTpvu3 = tk – tp = 11,97; E1pvu = 2,549; PVU3v1 = E1pvu.

Основні показники підігрівника ПВУ-3

1.Поверхня теплообміну, м2
2.Витрата соку, т/год
3.Швидкість соку в трубах,м/с
4.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
5.Ефективність ТО
6.Т-ра гріюч. пари, С
7.Початков. т-ра соку, С
8.Кінцева т-ра соку, С
9.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & F \\ 2 & G \\ 3 & w \\ 4 & K \\ 5 & \varepsilon \\ 6 & tgr \\ 7 & tp \\ 8 & tk \\ 9 & PVU3v1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 159.245 \\ 2 & 167.73 \\ 3 & 1.416 \\ 4 & 2.775 \times 10^3 \\ 5 & 0.921 \\ 6 & 120.5 \\ 7 & 107.5 \\ 8 & 119.47 \\ 9 & 2.549 \end{pmatrix}$$

Підігрівач перед ВУ 4 групи ПВУ4

Гріюча пара – пара ретурна *F = 160 m²*

1.	*Витрата соку*	*Spvu1,* %	111,82
2.	*Витрата соку*	*G,* т/год	167,73
3.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °C	122,5
4.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °C	119,47

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46

3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,75

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 122,0*

$$F = 3{,}14 * L * nz * \frac{dv + dz}{2} * z = 159{,}245$$

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 1{,}404$$

$$tc = tgr - \Delta t = 121{,}096$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 4{,}420 * 10^2$$

$$q = \frac{Q}{F} = 2{,}776$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 19{,}055$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} \; if \; Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} \; othe. \end{cases}$$

*α10 = 1,509 * 10⁴.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,5*

*α1 = α10 * U = 7,545 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}422$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}389 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}017$$

$$\alpha 2 = \left| \begin{array}{l} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \quad if\ Re \geq 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8} \right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L} \right)^{0{,}666} \right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8} \right)^{0{,}5}} \right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \quad otherwise \end{array} \right.$$

*α2 = 8,032 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s} \right)^{-1} = 3{,}257 * 10^3$$

$$K = \left| \begin{array}{l} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n} \right)^{-1} \quad if\ \delta n > 0 \quad = 2{,}443 * 10^3 \\ Ko * \varphi \quad otherwise \end{array} \right.$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 2{,}227$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}892.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 122{,}173.$$

Витрата пари на підігрівник соку перед ВУ4

$$ERpvu = 1{,}02 * Spvu * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 0{,}578$$

δtn = tgr – tk = 0,327.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 119,47; tk = 122,173*

Tpvu4p = tp; Tpvu4k = tk; ΔTpvu4 = tk – tp = 2,704; ERpvu = 0,578; PVU3vr = ERpvu.

Основні показники підігрівача ПВУ-4

1.Т-ра гріюч. пари, С
2.Початков. т-ра соку, С
3.Кінцева т-ра соку, С
4.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & tgr \\ 2 & tp \\ 3 & tk \\ 4 & ERpvu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 122.5 \\ 2 & 119.47 \\ 3 & 122.173 \\ 4 & 0.578 \end{pmatrix}$$

Основні показники підігрівача ПВУ-4

1.Поверхня теплообміну, м2
2.Число труб в одному ході, шт
3. Число ходів, шт
4.Довжина труб, м

5.Витрата соку, т/год
6.Швидкість соку в трубах,м/с
7.Коеф.загазованості гріюч.камери
8.Товщина накипу, або коефіц.викор.
9.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
10.Ефективність ТО
11.Т-ра гріюч. пари, С
12.Початков. т-ра соку, С
13.Кінцева т-ра соку, С
14Недогрів до т-ри пари, С
15.Степінь нагрівання соку, С
16.Тепловидптність, кВт
17.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & F \\ 2 & nz \\ 3 & z \\ 4 & L \\ 5 & G \\ 6 & w \\ 7 & U \\ 8 & \phi \\ 9 & K \\ 10 & \varepsilon \\ 11 & tgr \\ 12 & tp \\ 13 & tk \\ 14 & \delta tn \\ 15 & \Delta Tpvu3 \\ 16 & Q \\ 17 & ERpvu \end{pmatrix} =$$

	0	1
0	1	159.245
1	2	46
2	3	10
3	4	3.5
4	5	167.73
5	6	1.422
6	7	0.5
7	8	0.75
8	9	$2.443 \cdot 10^3$
9	10	0.892
10	11	122.5
11	12	119.47
12	13	122.173
13	14	0.327
14	15	11.97
15	16	442.058
16	17	0.578

Результуюча таблиця навантажень теплообмінників та їхнього температурного режиму

Найменув. споживача пари	*Витрата. соку; %,S*	*Поч. т-ра соку* tp,C	*Кінц. т-ра соку;* tk, C	*Різн. т-тур* ΔT,C	*Витрата. пари, %,D*	*Витрата. соку; %, S*	*Поч. т-ра соку* tp,C	*Кінц. т-ра соку;* tk, C	*Різн. т-тур* ΔT,C	*Витрата. пари, %, D*

0 П-гр ПДС-2	Spd	Tdif5p	Tdif5k	ΔTdif5	E5pd
1 П-гр ПДС 1 групи	Spd	Tdif1p	Tdif1k	ΔTdif1	0
2 П-гр ПДС 3 групи	Spd	Tdif4p	Tdif4k	ΔTdif4	PDC3v4
5.П-гр ПП 1 фільтр	Spd	TpPDC3	TkPDC3	ΔTPDC3	PDCv3
6.П-гр П2сат.	Sp1f	Tp1fp	Tp1fk	ΔTp1f	PP1Fv3
7.П-гр ПВУ 1 гр.	S2s	Tc2p	Tc2k	ΔTc2	P2Cv3
8.П-гр ПВУ-2 гр..	Spvu	Tpvu1p	Tpvu1k	ΔTpvu1	PVU1v3
9.П-гр ПВУ 3 гр.	Spvu	Tpvu2p	Tpvu2k	ΔTpvu2	PVU2v2
10.П-гр ПВУ 4 гр.	Spvu1	Tpvu3p	Tpvu3k	ΔTpvu3	PVU3v1
	Spvu1	Tpvu4p	Tpvu4k	ΔTpvu4	ERpvu

Spd	Tdif5p	Tdif5k	ΔTdif5	E5pd	
Spd	Tdif1p	Tdif1k	ΔTdif1	0	
Spd	Tdif4p	Tdif4k	ΔTdif4	PDC3v4	
Spd	TpPDC3	TkPDC3	ΔTPDC3	PDCv3	
Sp1f	Tp1fp	Tp1fk	ΔTp1f	PP1Fv3	
S2s	Tc2p	Tc2k	ΔTc2	P2Cv3	
Spvu	Tpvu1p	Tpvu1k	ΔTpvu1	PVU1v3	
Spvu	Tpvu2p	Tpvu2k	ΔTpvu2	PVU2v2	
Spvu1	Tpvu3p	Tpvu3k	ΔTpvu3	PVU3v1	
Spvu1	Tpvu4p	Tpvu4k	ΔTpvu4	ERpvu	

=

	0	1	2	3	4
0	148.64	71.222	74.238	3.016	0.719
1	148.64	61.888	71.222	9.334	0
2	148.64	74.238	86.283	12.045	2.924
3	148.64	86.283	92.526	6.243	1.529
4	123	86.5	91.943	5.443	1.101
5	122.87	86.5	95.325	8.825	1.793
6	122.82	89	100.827	11.827	2.423
7	122.82	100.827	107.015	6.189	1.279
8	111.82	107.5	119.47	11.97	2.549
9	111.82	119.47	122.173	2.704	0.578
10					
11					
12					

Інші споживачі сокової пари випарної установки

Витрата пари на нагрівання барометричної води, ПКП

1.	*Витрата барометричної води*	*Sbv*	0
2.	*Витрата конденсату*	*Skond*	45
3.	*Початкова т-ра барометричної води*	*tvp*	57
4.	*Т-ра конденсату*	*tkon1*	66,043
5.	*Т-ра нагрівної пари*	*tgr*	68

tvk = 65

$r(t) = (2503{,}91 - 2{,}498 * tgr + 2{,}07 * 10^{-3} * tgr^2 - 1{,}823 * 10^{-5} * tgr^3) = 2{,}338 * 10^3$

$I = r(tgr) + 4{,}19 * tgr = 2{,}623 * 10^3$

$$Dpkp1 = \frac{Sbv * [(tvk - tvp) * 4{,}2] + Skond * 4{,}2 * (tvk - tkon1)}{I - 4{,}2 * tvk} = -0{,}084$$

$$Dpkp = \begin{cases} Dpkp1 \ if \ Dpkp1 \geq 0 & = 0. \\ 0 \ otherwise \end{cases}$$

Витрата пари на нагрівання жомопресової води

1.	*Початкова т-ра жомопресової води*	*tzpro*	60
2.	*Кінцева т-ра жомопресової води*	*tzprk*	72
3.	*Витрата жомопресової води*	*Szpr, %*	50
4.	*Витрата пари на підігрівач жомопресової води*	*Dzpr, %*	0,965

Cpc(tzpr) = 3,686

$$Dzpr = Szpr * Cpc(tzpr) * \frac{(tzprk - tzpro) * 1{,}02}{r(t3)} \ 0{,}965.$$

Витрата пари на вакуум-апарати

1.	*Концентрація сиропу (задається з подальшим уточненням)*	*CPsir*	61,5
2.	*Витрата сиропу з ВУ після 5 корпусу*	*Ssir, %*	32,412
3.	*Витрата сиропу з ВУ після 5 корпусу з клеровкою жовтого цукру*	*Ssiro, %*	41,4
4.	*Концентрація сиропу з ВУ після клерування сиропом (задається з подальшим уточненням)*	*CPsiro*	69,4

Сокові (водні) підкачки		
1.	*wvp1*	0,1
2.	*wvp2*	0,2
3.	*wvp3*	0,5

Витрата пари на В/А 1 продукту:

$$Wva1 = \left[Ssiro * \left(1 - \frac{CPsiro}{92{,}5}\right) + Spb1 * \left(1 - \frac{CPpb1}{92{,}5}\right)\right] * 1{,}07 + wvp1 = 11{,}984.$$

Витрата пари на В/А 2 продукту:

$$Wva2 = \left[Spz1 * \left(1 - \frac{CPzp1}{93,5}\right)\right] * 1,07 + wvp2 = 1,41.$$

Витрата пари на В/А 3 продукту:

$$Wva3 = \left[Spz2 * \left(1 - \frac{CPpz2}{94}\right)\right] * 1,07 + wvp3 = 1,191.$$

Витрата пари на калорифер сушарки, сиропні та паточні ящики. (гріюча пара – сокова пара 1 корпусу ВУ) *(приймається без розрахунку)*			
1.	*Витрата пари на калорифер сушарки*	*Dks*	0,3
2.	*Підігрівач паток*	*Dpatok*	0,2

Навантаження на нагрівання сиропу + клеровка

$r(t) = 2503,91 – 2,498 * t + 2,07 * 10^{-3} * t^2 – 1,823 * 10^{-5} * tgr^3 = 2,246 * 10^3$

1.	*Сироп з ВУ*	*Ssir*	32,412
2.	*Сироп з клеровкою після клерування жовтого цукру сиропом з ВУ*	*Ssiro*	42,0

$$Esirop = (Ssiro) * 3,1 * \frac{(90 - 78)}{r(t3)} = 0,723.$$

Визначення навантажень корпусів ВУ

Вихід пари на конденсатор

Вихід пари на конденсатор	*Dk*	0,6

Перепуск пари з 2 на 3

ΔEper = 0.

Відбори вторинної пари з корпусів випарної установки без врахування пари самовипаровування

E1 = PVU3v1 + Dks = 2,849

E2 = PVU2v2 + E2dif + ΔEper + Dpatok + Esirop = 3,6

E3 = E3dif + PP1Fv3 + PDCv3 + Dzpr + PVU1v3 + P2Cv3 – ΔEper = 9,909

E4 = PDC3v4 = 2,924

E5 = Dk + Dpkp + E5pd = 1,319.

Величини парів самовипаровування (уточнюються після перерахунку)	*e1*	0,43
	e2	1,01
	e3	1,3
	e4	1,395
	e5	0

Навантаження корпусів випарної установки

W5 = E5 = 1,319

W4 = (W5 + E4) – e4 = 2,848

W3 = (W4 + E3) – e3 = 11,457

W3o = E3o = 14,586

W2 = (W3 + E2 +W3o) – e2 = 28,633

W1 = (W2 + E1) – e1 = 31,052.

Визначення фактичних величин парів самовипаровування

(Перший індекс – номер корпусу (сокової пари), куди направлена відтяжка. Другий індекс – номер корпусу (сокової пари), з якого перетікає конденсат)

Конденсат 1к, що поверт. із ТЕЦ

*Gv = 0,6 * W1 = 18,631*

$$e1p = W1 * 4{,}2 * \frac{tret - t1}{r(t1)} = 0{,}416$$

$$e2p = (W1 - e1p) * 4{,}2 * \frac{t1 - t2}{r(t2)} = 0{,}476$$

$$e3p = (W1 - e1p - e2p) * 4{,}2 * \frac{t2 - t3}{r(t3)} = 0{,}581$$

$$e21 = (W2 + E2) * 4{,}2 * \frac{t1 - t2}{r(t2)} = 0{,}5$$

$$e31 = (W2 + E2 - e21) * 4{,}2 * \frac{t2 - t3}{r(t3)} = 0{,}581$$

ep = e1p + e2p + e3p = 1,472.

Охол. конденсату на 9 °С

$$e32 = (W3 + E2 + W3o) * 4{,}19 * \frac{(t2 - t3) - 9}{r(t3)} = 0{,}072$$

$$e42 = (W3 + E2 - e32 + W3o) * 4{,}19 * \frac{(t2 - t3)}{r(t4)} = 0{,}599$$

$$e43 = (W4 + E3) * 4{,}19 * \frac{t3 - t4}{r(t4)} = 0{,}258$$

$$e4v = Gv * 4{,}2 * \frac{t3 - t4}{r(t4)} = 0{,}378.$$

Фактичні значення парів самовипаровування

e1 = e1p = 0,416

e2 = e2p + e21 = 0,976

e3 = e32 + e3p + e31 =1,264

e4 = e42 + e43 + e4v = 1,236.

Продуктивність випарної установки по випареній волозі

*W = (E1 – e1) + 2 * (E2 – e2) + 3 * (E3 – e3) + 4 * (E4 – e4) + 5 * (E5) + 3 * E3o = = 90,721.*

Фактичні навантаження корпусів випарної установки

W3o = E3o = 14,586

W5 = E5 = 1,319

W4 = (W5 + E4) – e4 = 3,007

W3 = (W4 + E3) – e3 = 11,652

W2 = (W3 + E2 +W3o) – e2 = 28,862

W1 = (W2 + E1) – e1 = 31,295

Витрата сиропу з ВУ на клерування:

$$SsirVU = Spvu - W = 32{,}099.$$

Концентрація сиропу з ВУ на клерування: *Spvu = 122,82*

$$CPsirVU = CPpvu * \frac{Spvu}{Spvu - W} = 62{,}101.$$

Клеровка жовтого цукру сиропом

Концентрація сиропу з клеровкою	*Szcax*	8,8

$$CPsir = \frac{SsirVU * CPsirVU + 98 * Szcax}{Szcax + SsirVU} = 69{,}826.$$

Сироп з клеровкою

$$Ssiro = Spvu * \left(\frac{CPpvu}{CPsirVU}\right) + Szcax * 0{,}98 = 40{,}723.$$

Концентрації сиропу з корпусів випарної установки

Spvu1 = Spvu – W3o = 108,234

CPpvu = 16,23

$$CPpvu1 = CPpvu * \frac{Spvu}{Spvu - W3o} = 18{,}417$$

$$CP1 = CPpvu * \frac{Spvu1}{Spvu1 - W1} = 25{,}908$$

$$CP2 = CPpvu1 * \frac{Spvu1}{Spvu1 - W1 - W2} = 41{,}462$$

$$CP3 = CPpvu1 * \frac{Spvu1}{Spvu1 - W1 - W2 - W3} = 54{,}725$$

$$CP4 = CPpvu1 * \frac{Spvu1}{Spvu1 - W1 - W2 - W3 - W4} = 59{,}65$$

$$CP5 = CPpvu1 * \frac{Spvu1}{Spvu1 - W1 - W2 - W3 - W4 - W5} = 62{,}101.$$

S1p = Spvu1 = 108,234
S1k =Spvu1 – W1 = 76,94
S2p = S1k = 76,94
S2k = S2p – W2 = 48,078
S3p = S2k = 48,07
S3k = S3p – W3 = 36,425
S4p = S3k = 36,425
S4k = S4p – W4 = 33,418
S5p = S4k = 33,418
S5k = S5p – W5 = 32,099

CP1p = CPpvu = 16,23
CP1k = CP1 = 25,908
CP2p = CP1 = 25,908
CP2k = CP2 = 41,462
CP3p = CP2 = 41,462
CP3k = CP3 = 54,725
CP4p = CP3 = 54,725
CP4k = CP4 = 59,65
CP5p = CP4 = 59,65
CP5k = CP5 = 62,101

$$Ddogr = Spvu1 * Cpc(t1) * \frac{t1 - tvpvu + 0{,}2}{r(t1)} = 0{,}097.$$

Розподіл паровідборів із корпусів випарної установки

Найменування споживача пари	*№ корпусу випарної установ.*				
1.Підігр. ПДС 2 груп	0	0	0	0	E5pd
2.Підігр. ПДС 3 груп	0	0	0	PDC3v4	0
3.Підігр. ПП 1 фільтр.	0	0	PP1Fv3	0	0
4.Підігр. П2Сат	0	0	P2Cv3	0	0
5.Підігр. ПВУ 1 гр	0	0	PVU1v3	0	0
6.Підігр. ПВУ 2 гр	0	PVU2v2	0	0	0
7.Підігр. ПВУ 3 гр	PVU3v1	0	0	0	0
8.Підігр. ПКП	0	0	0	Dpkp	0
9.Диф. установка	0	Ddif2	0	0	0
10.Диф. установка	0	0	Ddif3	0	0
11.Вак-апар. 1 прод.	0	0	Wva1	0	0
12.Вак-апар. 2 прод.	0	0	Wva2	0	0
13.Вак-апар. 3 прод.	0	0	Wva3	0	0
14.Сиропні ящики	0	0	0	0	0
15.Калор. сушки	Dks	0	0	0	0
16.Під. жом.прес.	0	0	Dzpr	0	0
8 Конденсатор	0	0	0	0	Dk
17.Паточні ящики	0	Dpatok	0	0	0
18.Пари самовип.	e1	e2	e3	e4	0

=

№ корпусу випарної уст.					
	1k	2k	3k	4k	5k
	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0.719
1	0	0	0	2.924	0
2	0	0	1.101	0	0
3	0	0	1.793	0	0
4	0	0	2.423	0	0
5	0	1.279	0	0	0
6	2.549	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	1.398	0	0	0
9	0	0	2.097	0	0
10	0	0	11.984	0	0
11	0	0	1.41	0	0
12	0	0	1.191	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0.3	0	0	0	0
15	0	0	0.965	0	0
16	0	0	0	0	0.6
17	0	0.2	0	0	0
18	0.416	0.976	1.264	1.233	0
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

Витрати соку по випарним апаратам, концентрації та парові навантаження

Найменування розрахунків. величин	№ корпусу випарної устан. 1k	2k	3k	4k	5k	3o		№ корпусу випарної установки 1k	2k	3k	4k	5k	3o
1.Витрата соку на ВА	Spvu1	S2p	S3p	S4p	S5p	Spvu	=	108.234	76.94	48.078	36.425	33.418	122.82
2.Витрата соку із ВА	S1k	S2k	S3k	S4k	S5k	Spvu1		76.94	48.078	36.425	33.418	32.099	108.234
3.Конц. соку..на ВА	CPpvu1	CP2p	CP3p	CP4p	CP5p	CPpvu		18.417	25.908	41.462	54.725	59.65	16.23
4.Конц.. соку із ВА	CP1k	CP2k	CP3k	CP4k	CP5k	CPpvu1		25.908	41.462	54.725	59.65	62.101	18.417
5.Випар. волога	W1	W2	W3	W4	W5	W3o		31.295	28.862	11.652	3.007	1.319	14.586

W = 90,721	*CPpvu = 16,23*	*Ssir = 32,412*	*CPsir = 69,826*

$\Sigma kp = W1 + ERpvu + Ddogr = 31,971$

$\Sigma k1 = W1 = 31,295$

$\Sigma k2 = W2 + E2pvu = 30,141$

$\Sigma k3 = W3 + W3o + Gv + \Sigma k2 = 75,01$

$\Sigma k4 = W4 + \Sigma k3 - e4 = 76,781.$

Розподіл конденсатів по збірникам

1. Збірник конденсату ретурної пари (ЗК-Р)

1.Із гріючої камери 1 корп. ВУ
2.Із гріючої камери ПВУ-4

(W1 Σkp 0) = (31.295 31.971 0)

ERpvu = 0.578

В ТЕЦ із збірника ЗК-Р поступає конденсат: $Gkp = \Sigma kp - ep = 30,498.$

2. Збірник конденсатів сокової пари 1 корп. ВУ (ЗК-1)

1.Із гріючої камери 2 корп. ВУ
2.Із підігрівача ПВУ 3 групи
3. Із калориферів сушильн.устан.

$$\begin{pmatrix} W2 & \Sigma k1 & 0 \\ PVU3v1 & 0 & 0 \\ Dks & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 28.862 & 31.295 & 0 \\ 2.549 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

В ТЕЦ із збірника ЗК-1 поступає конденсат: $Gk1 = \Sigma k1 - e31 - e21 = 30,183.$

3. Збірник конденсатів сокової пари 2 корп. ВУ (ЗК-2)

1.Із гріючої камери 3 корп. ВУ
2.Із підігрівача ПВУ2 групи
3.Із гр кам 3о корп. ВУ

$$\begin{pmatrix} W3 & \Sigma k2 & e2 \\ E2pvu & 0 & 0 \\ W3o & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11.652 & 30.141 & 0.976 \\ 1.279 & 0 & 0 \\ 14.586 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

4. Збірник конденсатів сокової пари 3 корп. ВУ (ЗК-3)

$\Sigma k3 = W3 + Gv + \Sigma k2 + W3o = 75,01$

1.Із гріючої камери 4 корп. ВУ
2.' Із гр.кам ВА
3.Із підігр. 2 сатур
4.Із парових камер дифузії
5.Із збірника конденс ЗК-2
6.Із підігрівача перед 1 фільтр.
7.Із підігр. дифсоку 3 групи
8. Надлишки конденс. із ТЕЦ

$$\begin{pmatrix} W4 & \Sigma k3 & e3 \\ W3o & 0 & 0 \\ P2Cv3 & 0 & 0 \\ Ddif & 0 & 0 \\ \Sigma k2 & 0 & 0 \\ PP1Fv3 & 0 & 0 \\ PDCv3 & 0 & 0 \\ Gv & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.007 & 75.01 & 1.264 \\ 14.586 & 0 & 0 \\ 1.793 & 0 & 0 \\ 3.495 & 0 & 0 \\ 30.141 & 0 & 0 \\ 1.101 & 0 & 0 \\ 1.529 & 0 & 0 \\ 18.631 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

5. Збірник конденсатів сокової пари 4 корп. ВУ (ЗК-4)

$\Sigma k4 = W4 + \Sigma k3 - e3 = 76,753$

1.Із гріючої камери 5 корп. ВУ
2.Із підігрівача PDC2
3.Із збірника конденс ЗК-3

$$\begin{pmatrix} W5 & \Sigma k4 & e4 \\ PDC3v4 & 0 & 0 \\ \Sigma k3 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.319 & 76.753 & 1.236 \\ 2.924 & 0 & 0 \\ 75.01 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Із збірника ЗК-4 насос відкачує конденсату: $Gk4 = \Sigma k4 - e4 = 75,517.$

Питомі витрати пари на технологічний процес

$$r(t) = 2503,91 - 2,498 * t + 2,07 * 10^{-3} * t^2 - 1,823 * 10^{-5} * t^2 = 2,176 * 10^3$$

1.	Витрата пари на пропарку	Dprop	0,2
2.	Витрата пари на догрівання соку у 1 корпусі ВУ	DrPVU	0,647
3.	Витрата пари на завод, %	Dtex	32,768
4.	Ентальпія гріючої пари кДж/кг	Igr(t)	$2,719 * 10^3$
5.	Температура конденсату (середня), що поступає на ТЕЦ	tvoz1	105
6.	Температура в деаераторі	tvd	105

7.	*Витрата теплоти на самовипаровування у деаераторі, %*	*Qcv*	0
8.	*Витрата пари на самовипаровування у деаераторі, %*	*Ddcv*	0

$$DrPVU = ERpvu + Spvu * Cpc(t1) * \frac{t1 - tvpvu}{r(t1)} = 0{,}647$$

$$Dtex = 1{,}02 * W1 + Dprop + DrPVU = 32{,}768$$

$$Igr(t) = 4{,}193 * t + r(t) = 2{,}719 * 10^3$$

$$Qcv = (Gkp + 0{,}4 * Gk1) * 4{,}2 * (tvoz1 - tvd) = 0$$

$$Ddcv = \frac{Qcv}{r(tvd)} = 0.$$

Питома витрата умовного палива на переробку буряків % (без елект. енерг.):

$$Bv = (Dtex + Ddcv) * \frac{Igr(tret) - 4{,}2 * tvd}{\eta p * 29320} = 2{,}767.$$

Питома витрата теплоти на переробку буряків, МДж/т:

$$Qv = Bv * \frac{29300}{100} = 810{,}638.$$

Питома витрата газу на вироблення теплової енергії на переробку буряків m3/тонну (без елек. енерг.):

$$GgazTEX = Bv * \frac{10}{1{,}16} = 23{,}851.$$

Витрата пари на турбіну, *Dtur* на забезпечення теплового навантаження %

Ентальпія перегрітої пари, що поступає на турбіну, *Inn = 3180,* кДж/кг при *P = 18* бар; *to = 375 °C.*

Коефіцієнт відносної витрати пари після ОУ, *you = 1,07.*

Витрата пари через турбіну для забезпечення теплового навантаження на технологію, *Dtur*, %:

$$Dtur = \frac{Dtex}{you} = 30{,}624.$$

Питома витрата умовного палива на вироблення теплової та електричної енергії парою, що поступає на технологічні потреби, *Btv, %*:

$$Btv = Dtur * \frac{Inn - 4{,}192 * tvd}{\eta p * 29320} = 3{,}111.$$

Питома витрата природнього газу на вироблення теплової та електричної енергії на технологічні потреби, m3/тонну:

$$Ggazt = \frac{Btv * 10}{1{,}15} = 27{,}048.$$

Витрата пари з котлів на турбоустановку на технологічні потреби, т/год:

$$Dkot = Dtur * \frac{A * 1{,}03}{24 * 100} = 47{,}314.$$

Вироблення електричної енергії парою, що поступає на технологічні потреби, кВт:

1.	*Ентальпія пари при ізоентальпійному розширенні до тиску 3,2 бар, кДж/кг*	*Ina*	2732
2.	*Відносний внутрішній ккд турбіни*	*ηoi*	0,72
3.	*Електромеханічний ккб турбіни*	*ηet*	0,93

$$N = Dkot * (Inn - Ina) * \eta oi * \eta et * \frac{1}{3{,}6} = 3{,}943 * 10^3.$$

Питома витрата гострої пари на вироблення електроенергії, кг/кВт год:

$$d = \frac{Dkot * 10^3}{N} = 12{,}001.$$

3.2.2. Розрахунок температурного режиму ВУ

1 корпус ВУ (апарати Роберта)

	Задано:		
1.	*Потужність заводу*	*A, т/доб.*	3600
2.	*Навантаження (випарена волога)*	*W, %*	31,295
3.	*Температура гріючої пари (початок сезону)*	*tgr,*	129,5
4.	*Початкова концентрація соку*	*CPp, %*	18,417
5.	*Витрата соку*	*S, %*	*108,231*
6.	*Поверхня теплообміну*	*F, F1, м²*	2360
7.	*Довжина труб*	*L, м*	4,3
8.	*Висота п'єзометричного рівня*	*hp, %*	35
9.	*Температура соку на вході в апарат*	*tp, °C*	120
10.	*Товщина стінки труб*	*δs, м*	$1{,}5 * 10^{-3}$
11.	*Теплопровідність матеріалу труб*	*λst, Вт/м*	17
12.	*Доброякісність соку*	*Db, %*	92
	Задані значення:		
13.	*Температура вторинної пари початок сезону*	*tv*	122,5
14.	*Кратність циркуляції*	*Nzr*	2

$$CPk = S * \frac{CPp}{S - W} = 25{,}908 \qquad CPo = \frac{CPp}{Nzr} + CPk * \left(1 - \frac{1}{Nzr}\right) = 22{,}163$$

$$CPcp = \frac{CPo + CPk}{2} = 24{,}036.$$

ТФВ конденсату при *t1 = tgr – 2 = 127,5*

$$\nu(t) := \begin{cases} 1.43558 \cdot 10^{-6} - 2.7906 \cdot 10^{-8} \cdot t + 2.492 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 8.437 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.4451 \cdot 10^{-6} + 1.147 \cdot 10^{-10} \cdot t - 2.585 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 9.56 \cdot 10^{-14} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(t) := \begin{cases} 0.603 + 3.986 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2.467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1.68 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.61618 + 1.1062 \cdot 10^{-3} \cdot t - 4.375 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Cp(t) := \begin{cases} 4.2083 - 1.852 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2.703 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 7.29 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4.1676 - 8.286 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4.643 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.428 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$v(t1) = 2{,}376 * 10^{-7}$	$\lambda(t1) = 0{,}686$	$Cp(t1) = 4{,}262$

$$\rho 1(t) := 1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$Pr(t) := \left(9.175 - 0.154 \cdot t + 1.044 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) - 2.467 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$$

$$q := W \cdot \frac{r(tv) \cdot A}{(3.6 \cdot F) \cdot 2400}$$

$$Rek := q \cdot \frac{L}{r(tgr) \cdot \rho 1(t1) \cdot \nu(t1)}$$

$\rho 1(t1) = 936{,}039$	$r(t1) = 2{,}181 * 10^{-3}$	$Pr(t1) = 1{,}398$	$q = 12{,}13$	$Rek = 107{,}783$

$$\alpha 10 := \begin{cases} 0.925 \cdot \left(\frac{\lambda(t1)^3 \cdot \rho 1(t1) \cdot r(tgr) \cdot 9.81}{\nu(t1) \cdot L \cdot q}\right)^{0.3333} \cdot Rek^{0.053} & \text{if } Rek \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 \cdot Pr(tgr)^{-0.5} \cdot \left(Rek^{0.75} - 89\right)} \cdot \lambda(t1) \cdot \left(\frac{9.81}{\nu(t1)^2}\right)^{0.333} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\alpha 10 = 9{,}527 * 10^3$

$\alpha 1 = U * \alpha 10 = 8{,}574 * 10^3$

$$LA(t) := \left[(t + 100)^2 \cdot \left(7.5 \cdot 10^{-8} - 1.97 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp\right) + (t + 100) \cdot \left(4.8 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp - 2.3 \cdot 10^{-5}\right)\right]$$

$$\lambda s(t) := \left(0.603 - \frac{28.73}{t + 100}\right)^{0.5} + CPcp \cdot \left[\left(LA(t) - 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot CPcp\right) - 1.4 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 0.35$$

$$\sigma s(t) := \left[76 - 0.17 \cdot t + CPcp \cdot \left(5 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot Db - 0.34\right)\right] \cdot 10^{-3}$$

$$Cps(t) := 4187 - 4.187 \cdot CPcp \cdot (7.1 - 0.018 \cdot t - 0.011 \cdot Db)$$

$$PP(t) := (1563.77 - 0.6 \cdot t) \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right) - (182.5 + 0.1177 \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right)^{1.13} \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right)$$

$LA(tv) = -3{,}723 * 10^{-3}$	$\lambda s(tv) = 0{,}638$	$\sigma s(tv) = 0{,}058$	$Cps(tv) = 3{,}796 * 10^3$	$PP(tv) = 323{,}503$

$$\rho 1s(t) := \left(1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right) + PP(t)$$

$$B(t) := \left(0.6688 - \frac{98.4}{273.15 + t}\right)^{-1} + \left[2.357 \cdot 10^{12} \cdot (273.15 + t)^{-4.44} \cdot \left(\frac{1900 \cdot 100}{CPcp \cdot Db + 0.01} - 18\right)^{0.00245 \cdot (273.15+t) - 1.771}\right]$$

$$\nu s(t) := 10^{-9} \cdot 10^{B(t)}$$

$$\Delta do := \begin{cases} \frac{CPcp}{109.7 - 1.9 \cdot CPcp} & \text{if } CPcp < 37 \\ \frac{CPcp}{62.655 - 0.695 \cdot CPcp} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta d(t) := \Delta do \cdot 0.01622 \cdot \frac{(273.15 + t)^2}{r(t)}$$

*ρ1s(tv) = 1,038 * 10³*	*B(tv) = 2,616*	*νs(tv) = 4,128 * 10⁻⁷*	*Δd(tv) = 0,434*	*Δdo = 0,375*

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$\rho 2(t) := \begin{cases} -5.3326 \cdot 10^{-2} + 4.423 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8.826 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1.09 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ -1.255 + 0.041 \cdot t - 4.68 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$PS(t) := 2.086 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 - 8.76231 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 + 2.124 \cdot 10^{-14} \cdot t^8 - 2.2652 \cdot 10^{-17} \cdot t^9$$

$$P(t) := \left(22.0972 - 2.08711 \cdot t + 0.08665 \cdot t^2\right) - 2.0723 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3.151 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 3.1571 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 + PS(t)$$

*r(tv) = 2,195 * 10³*	*ρ2(tv) = 1,188*	*PS(tv) = 4,358 * 10³*	*P(tv) = 2,142*

$$a := \frac{\lambda s(tv)}{\rho 1s(tv) \cdot Cps(tv)}$$

$$Lp := \sqrt{\frac{\sigma s(tv)}{9.81 \cdot (\rho 1(tv) - \rho 2(tv))}}$$

$$Pe := q \cdot \frac{Lp}{a \cdot \rho 2(tv) \cdot r(tv)}$$

$$Ga := 9.81 \cdot \frac{Lp^3}{\nu s(tv)^2} +$$

$$Kp := P(tv) \cdot \frac{Lp \cdot 10^5}{\sigma s(tv)}$$

$$\alpha 2 := 3.25 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0.6} \cdot Kp^{0.7} \cdot Ga^{0.125} \cdot \frac{\lambda s(tv)}{Lp}$$

$$K := \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda st}\right)^{-1}$$

$$\Delta Tkor := \frac{q \cdot 1000}{K}$$

$$\Delta P := P(tgr) - P(tv)$$

$$tkip := tgr - \Delta Tkor$$

*a = 1,62 * 10 -7*
*Lp = 2,514 * 10 -3*
Pe = 72,185
*Ga = 9,142 * 10 5*
*Kp = 9,249 * 10 3*
*α2 = 3,573 * 10 3*
*K = 2,063 * 10 3*
ΔTkor = 5,88
ΔP = 0,515
tkip = 123,62

$$GR(t) := \left(0.0135712 - 5.271 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8.88 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 7.826 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3.532 \cdot 10^{-10} \cdot t^4\right) - 6.445 \cdot 10^{-13} \cdot t^5$$

$$\Delta dGR := GR(tv) \cdot \rho 1s(tkip) \cdot 9.81 \cdot hp \cdot \frac{L}{300}$$

$$tv := tkip - \Delta dGR - \Delta d(tkip)$$

$$\Delta Tn := tgr - tv$$

$$\Delta dz := \Delta d(tkip) + \Delta dGR$$

*GR(tv) = 1,52 * 10 -4*	*ΔdGR = 0,774*	*tv = 122,409*	*ΔTn = 7,091*	*Δdz = 1,211*

tgr1 := tgr	Δd1GR := ΔdGR
tv1 := tv	Δd1z := Δdz
tkip1 := tkip	q1 := q
CPp1 := CPp	α12 := α2
CPk1 := CPk	K1 := K
ΔTn1 := ΔTn	Pgr1 := P(tgr)
ΔTkor1 := ΔTkor	Pv1 := P(tv)
Δd1 := Δd(tkip)	ΔP1 := ΔP
S1 := S	W1 := W

tgr1 = 129,5	*Δd1GR = 0,774*
tv1 = 122,409	*Δd1z = 1,211*
tkip1 = 123,62	*q1 = 12,13*
CPp1 = 18,417	*α12 = 3,573 * 10³*
CPk1 = 25,908	*K1 = 2,063 * 10³*
ΔTn1 = 7,091	*Pgr1 = 2,657*
ΔTkor1 = 5,88	*Pv1 = 2,136*
Δd1 = 0,437	*ΔP1 = 0,515*
S1 = 108,231	*W1 = 31,295*

Режимні параметри випарного апарата №1

Таблиця результатів розрахунку

1. Т-ра гріючої пари С
2. Т-ра сокової пари С
3. Т-ра кипіння
4. Початкова концентрація соку, %
5. Кінцева концентрація соку, %
6. Наявна різниця температур.
7. Корисна різниця температур.
8. Фіз-хім. температ.депресія
9. Гідрост. температ. депресія
10. Сумарна температ. депресія
11. Тепловий потік, кВт/м2
12. Коеф. тепловіддачі при кипінні
13. Коеф. теплопередачі
14. Тиск гріючої пари, бар
15. Тиск сокової пари, бар
16. Різниця тисків пари, бар
17. Витрата соку на ВА%

1	tgr
2	tv
3	tkip
4	CPp
5	CPk
6	ΔTn
7	ΔTkor
8	Δd(tkip)
9	ΔdGR
10	Δdz
11	q
12	α2
13	K
14	P(tgr)
15	P(tv)
16	ΔP
17	S

=

	0	1
0	1	129.5
1	2	122.409
2	3	123.62
3	4	18.417
4	5	25.908
5	6	7.091
6	7	5.88
7	8	0.437
8	9	0.774
9	10	1.211
10	11	12.13
11	12	$3.573 \cdot 10^3$
12	13	$2.063 \cdot 10^3$
13	14	2.657
14	15	2.136
15	16	0.515
16	17	108.231

2 корпус ВУ (апарат Роберта)

	Задано:		
1.	*Навантаження (випарена волога)*	*W, %*	28,862
2.	*Температура гріючої пари (початок сезону)*	*tgr,*	121,809
3.	*Початкова концентрація соку*	*CPp, %*	25,908
4.	*Витрата соку*	*S, %*	*76,936*
5.	*Поверхня теплообміну*	*F, F2, м²*	3300
6.	*Довжина труб*	*L, м*	4,3
7.	*Висота п'єзометричного рівня*	*hp, %*	40
8.	*Температура соку на вході в апарат*	*tp, °C*	120
9.	*Товщина стінки труб*	*δs, м*	$1{,}5 * 10^{-3}$
10.	*Теплопровідність матеріалу труб*	*λst, Вт/м*	17
11.	*Доброякісність соку*	*Db, %*	92
	Задані значення:		
12.	*Температура вторинної пари початок сезону*	*tv*	114,7
13.	*Кратність циркуляції*	*Nzr*	2

$$CPk := S \cdot \frac{CPp}{S - W}$$

$$CPo := \frac{CPp}{Nzr} + CPk \cdot \left(1 - \frac{1}{Nzr}\right)$$

$$CPcp := \frac{CPo + CPk}{2}$$

$$t1 := tgr - 2$$

CPk = 41,463
CPo = 33,686
CPcp = 37,574
t1 = 119,809

ТФВ конденсату при:

$$\nu(t) := \begin{cases} 1.43558 \cdot 10^{-6} - 2.7906 \cdot 10^{-8} \cdot t + 2.492 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 8.437 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.4451 \cdot 10^{-6} + 1.147 \cdot 10^{-10} \cdot t - 2.585 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 9.56 \cdot 10^{-14} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(t) := \begin{cases} 0.603 + 3.986 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2.467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1.68 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.61618 + 1.1062 \cdot 10^{-3} \cdot t - 4.375 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Cp(t) := \begin{cases} 4.2083 - 1.852 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2.703 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 7.29 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4.1676 - 8.286 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4.643 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.428 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\nu(t1) = 2{,}522 * 10^{-7}$	*λ(t1) = 0,686*	*Cp(t1) = 4,249*

$$\rho 1(t) := 1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$Pr(t) := \left(9.175 - 0.154 \cdot t + 1.044 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) - 2.467 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$$

$$q := W \cdot \frac{r(tv) \cdot A}{(3.6 \cdot F) \cdot 2400}$$

$$Rek := q \cdot \frac{L}{r(tgr) \cdot \rho 1(t1) \cdot \nu(t1)}$$

ρ1(t1) = 942,584
*r(t1) = 2,203 * 10³*
Pr(t1) = 1,468
q = 8,08
Rek = 66,511

$$\alpha 10 := \begin{cases} 0.925 \cdot \left(\frac{\lambda(t1)^3 \cdot \rho 1(t1) \cdot r(tgr) \cdot 9.81}{\nu(t1) \cdot L \cdot q}\right)^{0.3333} \cdot Rek^{0.053} & \text{if } Rek \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 \cdot Pr(tgr)^{-0.5} \cdot \left(Rek^{0.75} - 89\right)} \cdot \lambda(t1) \cdot \left(\frac{9.81}{\nu(t1)^2}\right)^{0.333} & \text{otherwise} \end{cases}$$

*α10 = 1,048 * 10⁴*

ТФВ соку (сиропу) при середній концентрації *CPcp*

$$U := 0.7$$

$$\alpha 1 := U \cdot \alpha 10$$

$$LA(t) := \left[(t + 100)^2 \cdot \left(7.5 \cdot 10^{-8} - 1.97 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp\right) + (t + 100) \cdot \left(4.8 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp - 2.3 \cdot 10^{-5}\right)\right]$$

$$\lambda s(t) := \left(0.603 - \frac{28.73}{t + 100}\right)^{0.5} + CPcp \cdot \left[\left(LA(t) - 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot CPcp\right) - 1.4 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 0.35$$

$$\sigma s(t) := \left[76 - 0.17 \cdot t + CPcp \cdot \left(5 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot Db - 0.34\right)\right] \cdot 10^{-3}$$

*α1 = 7,337 * 10³*	*LA(tv) = -4,854 * 10⁻³*	*λs(tv) = 0,585*	*σs(tv) = 0,061*

$$Cps(t) := 4187 - 4.187 \cdot CPcp \cdot (7.1 - 0.018 \cdot t - 0.011 \cdot Db)$$

$$PP(t) := (1563.77 - 0.6 \cdot t) \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right) - (182.5 + 0.1177 \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right)^{1.13} \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right)$$

$$\rho 1s(t) := \left(1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right) + PP(t)$$

$$B(t) := \left(0.6688 - \frac{98.4}{273.15 + t}\right)^{-1} + \left[2.357 \cdot 10^{12} \cdot (273.15 + t)^{-4.44} \cdot \left(\frac{1900 \cdot 100}{CPcp \cdot Db + 0.01} - 18\right)^{0.00245 \cdot (273.15 + t) - 1.771}\right]$$

$Cps(tv) = 3{,}554 * 10^3$	$PP(tv) = 518{,}475$	$p1s(tv) = 1{,}109 * 10^3$	$B(tv) = 2{,}8$

$$\nu s(t) := 10^{-9} \cdot 10^{B(t)}$$

$$\Delta d(t) := \Delta do \cdot 0.01622 \cdot \frac{(273.15 + t)^2}{r(t)}$$

$$\Delta do := \begin{cases} \dfrac{CPcp}{109.7 - 1.9 \cdot CPcp} & \text{if } CPcp < 37 \\ \dfrac{CPcp}{62.655 - 0.695 \cdot CPcp} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$vs(tv) = 6{,}308 * 10^{-7}$
$\Delta d(tv) = 0{,}413$
$\Delta do = 1{,}028$
$r(tv) = 2{,}217 * 10^3$

$$\rho 2(t) := \begin{cases} -5.3326 \cdot 10^{-2} + 4.423 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8.826 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1.09 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ -1.255 + 0.041 \cdot t - 4.68 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$PS(t) := 2.086 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 - 8.76231 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 + 2.124 \cdot 10^{-14} \cdot t^8 - 2.2652 \cdot 10^{-17} \cdot t^9$$

$$P(t) := \left(22.0972 - 2.08711 \cdot t + 0.08665 \cdot t^2\right) - 2.0723 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3.151 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 3.1571 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 + PS(t)$$

$\rho 2(tv) = 0{,}938$	$PS(tv) = 3{,}02 * 10^3$	$P(tv) = 1{,}665$

$$a := \frac{\lambda s(tv)}{\rho 1s(tv) \cdot Cps(tv)}$$

$$Pe := q \cdot \frac{Lp}{a \cdot \rho 2(tv) \cdot r(tv)}$$

$$Ga := 9.81 \cdot \frac{Lp^3}{\nu s(tv)^2}$$

$$Lp := \sqrt{\frac{\sigma s(tv)}{9.81 \cdot (\rho 1(tv) - \rho 2(tv))}}$$

$$Kp := P(tv) \cdot \frac{Lp \cdot 10^5}{\sigma s(tv)}$$

$$\alpha 2 := 3.25 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0.6} \cdot Kp^{0.7} \cdot Ga^{0.125} \cdot \frac{\lambda s(tv)}{Lp}$$

$\alpha = 1{,}485 * 10^{-7}$
$Pe = 65{,}78$
$Ga = 3{,}915 * 10^5$
$Lp = 2{,}566 * 10^{-3}$
$Kp = 6{,}995 * 10^3$
$\alpha 2 = 2{,}246 * 10^3$

$$K := \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda st}\right)^{-1}$$

$$\Delta Tkor := \frac{q \cdot 1000}{K}$$

$$\Delta P := P(tgr) - P(tv)$$

$$tkip := tgr - \Delta Tkor$$

$K = 1{,}493 * 10^3$
$\Delta Tkor = 5{,}412$
$\Delta P = 0{,}43$
$tkip = 116{,}397$

$$GR(t) := \left(0.0135712 - 5.271 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8.88 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 7.826 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3.532 \cdot 10^{-10} \cdot t^4\right) - 6.445 \cdot 10^{-13} \cdot t^5$$

$$\Delta dGR := GR(tv) \cdot \rho 1s(tkip) \cdot 9.81 \cdot hp \cdot \frac{L}{300}$$

$$tv := tkip - \Delta dGR - \Delta d(tkip)$$

$$\Delta Tn := tgr - tv$$

$$\Delta dz := \Delta d(tkip) + \Delta dGR$$

$GR(tv) = 1{,}814 * 10^{-4}$	$\Delta dGR = 1{,}135$	$tv = 114{,}844$	$\Delta Tn = 6{,}964$	$\Delta dz = 1{,}553$

$tgr2 := tgr$	$\Delta d2 := \Delta d(tkip)$
$tv2 := tv$	$\Delta d2GR := \Delta dGR$
$tkip2 := tkip$	$\Delta d2z := \Delta dz$
$CPp2 := CPp$	$q2 := q$
$CPk2 := CPk$	$\alpha 22 := \alpha 2$
$\Delta Tn2 := \Delta Tn$	$K2 := K$
$\Delta Tkor2 := \Delta Tkor$	$Pgr2 := P(tgr)$
$Pv2 := P(tv)$	$S2 := S$
$\Delta P2 := \Delta P$	$W2 := W$

$tgr2 = 121{,}809$	$\Delta d2 = 0{,}418$
$tv2 = 114{,}844$	$\Delta d2GR = 1{,}135$
$tkip2 = 116{,}397$	$\Delta d2z = 1{,}553$
$CPp2 = 25{,}908$	$q2 = 8{,}08$
$CPk2 = 41{,}463$	$\alpha 22 = 2{,}246 * 10^3$
$\Delta Tn2 = 6{,}964$	$K2 = 1{,}493 * 10^3$
$\Delta Tkor2 = 5{,}412$	$Pgr2 = 2{,}096$

$Pv2 = 1{,}673$	$S2 = 76{,}936$
$\Delta P2 = 0{,}43$	$W2 = 28{,}862$

Режимні параметри випарного апарата №2

Таблиця результатів розрахунку

1. Т-ра гріючої пари С
2. Т-ра сокової пари С
3. Т-ра кипіння
4.Початкова концентрація соку, %
5.Кінцева концентрація соку, %
6.Наявна різниця температур.
7.Корисна різниця температур.
8.Фіз-хім. температ.депресія
9.Гідрост. температ. депресія
10.Сумарна температ. депресія
11.Тепловий потік, кВт/м2
12.Коеф. тепловіддачі при кипінні
13.Коеф. теплопередачі
14.Тиск гріючої пари, бар
15.Тиск сокової пари, бар
16.Різниця тисків пари, бар
17.Витрата соку на ВА%

1	tgr
2	tv
3	tkip
4	CPp
5	CPk
6	ΔTn
7	ΔTkor
8	Δd(tkip)
9	ΔdGR
10	Δdz
11	q
12	α2
13	K
14	P(tgr)
15	P(tv)
16	ΔP
17	S

=

	0	1
0	1	121.809
1	2	114.844
2	3	116.397
3	4	25.908
4	5	41.463
5	6	6.964
6	7	5.412
7	8	0.418
8	9	1.135
9	10	1.553
10	11	8.08
11	12	$2.246 \cdot 10^3$
12	13	$1.493 \cdot 10^3$
13	14	2.096
14	15	1.673
15	16	0.43
16	17	76.936

3 корпус ВУ (апарат Роберта)

	Задано:		
1.	*Навантаження (випарена волога)*	*W, %*	11,652
2.	*Температура гріючої пари (початок сезону)*	*tgr,*	114,144
3.	*Початкова концентрація соку*	*CPp, %*	41,463
4.	*Витрата соку*	*S, %*	48,074
5.	*Поверхня теплообміну*	*F, F3, м²*	2600
6.	*Довжина труб*	*L, м*	4,3
7.	*Висота п'єзометричного рівня*	*hp, %*	50
8.	*Температура соку на вході в апарат*	*tp, °C*	120
9.	*Товщина стінки труб*	*δs, м*	$1,5 * 10^{-3}$
10.	*Теплопровідність матеріалу труб*	*λst, Вт/м*	17
11.	*Доброякісність соку*	*Db, %*	92
	Задані значення:		
12.	*Температура вторинної пари початок сезону*	*tv*	105,7
13.	*Кратність циркуляції*	*Nzr*	2

$$CPk := S \cdot \frac{CPp}{S - W}$$

$$CPo := \frac{CPp}{Nzr} + CPk \cdot \left(1 - \frac{1}{Nzr}\right)$$

$$CPcp := \frac{CPo + CPk}{2}$$

CPk = 54,728
CPo = 48,095
CPcp = 51,411

ТФВ конденсату при:

$$\nu(t) := \begin{cases} 1.43558 \cdot 10^{-6} - 2.7906 \cdot 10^{-8} \cdot t + 2.492 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 8.437 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.4451 \cdot 10^{-6} + 1.147 \cdot 10^{-10} \cdot t - 2.585 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 9.56 \cdot 10^{-14} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(t) := \begin{cases} 0.603 + 3.986 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2.467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1.68 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.61618 + 1.1062 \cdot 10^{-3} \cdot t - 4.375 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Cp(t) := \begin{cases} 4.2083 - 1.852 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2.703 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 7.29 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4.1676 - 8.286 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4.643 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.428 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

*v(t1) = 2,677 * 10^{-7}*	*λ(t1) = 0,685*	*Cp(t1) = 4,237*

$$\rho 1(t) := 1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$Pr(t) := \left(9.175 - 0.154 \cdot t + 1.044 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) - 2.467 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$$

$$q := W \cdot \frac{r(tv) \cdot A}{(3.6 \cdot F) \cdot 2400} \qquad Rek := q \cdot \frac{L}{r(tgr) \cdot \rho 1(t1) \cdot \nu(t1)}$$

ρ1(t1) = 948,799
*r(t1) = 2,224 * 10^3*
Pr(t1) = 1,555
q = 4,186
Rek = 31,939

$$\alpha 10 := \begin{cases} 0.925 \cdot \left(\frac{\lambda(t1)^3 \cdot \rho 1(t1) \cdot r(tgr) \cdot 9.81}{\nu(t1) \cdot L \cdot q}\right)^{0.3333} \cdot Rek^{0.053} & \text{if } Rek \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 \cdot Pr(tgr)^{-0.5} \cdot \left(Rek^{0.75} - 89\right)} \cdot \lambda(t1) \cdot \left(\frac{9.81}{\nu(t1)^2}\right)^{0.333} & \text{otherwise} \end{cases}$$

*α10 = 1,236 * 10^4.*

ТФВ соку (сиропу) при середній концентрації *CPcp*

$$U := 0.7$$

$$\alpha 1 := U \cdot \alpha 10$$

$$LA(t) := \left[(t+100)^2 \cdot \left(7.5 \cdot 10^{-8} - 1.97 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp\right) + (t+100) \cdot \left(4.8 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp - 2.3 \cdot 10^{-5}\right)\right]$$

$$\lambda s(t) := \left(0.603 - \frac{28.73}{t+100}\right)^{0.5} + CPcp \cdot \left[\left(LA(t) - 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot CPcp\right) - 1.4 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 0.35$$

$$\sigma s(t) := \left[76 - 0.17 \cdot t + CPcp \cdot \left(5 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot Db - 0.34\right)\right] \cdot 10^{-3}$$

$$Cps(t) := 4187 - 4.187 \cdot CPcp \cdot (7.1 - 0.018 \cdot t - 0.011 \cdot Db)$$

$\alpha 1 = 8{,}651 * 10^3$	$LA(tv) = -5{,}792 * 10^{-3}$	$\lambda s(tv) = 0{,}519$	$\sigma s(tv) = 0{,}064$	$Cps(tv) = 3{,}286 * 10^3$

$$PP(t) := (1563.77 - 0.6 \cdot t) \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right) - (182.5 + 0.1177 \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right)^{1.13} \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right)$$

$$\rho 1s(t) := \left(1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right) + PP(t)$$

$$B(t) := \left(0.6688 - \frac{98.4}{273.15 + t}\right)^{-1} + \left[2.357 \cdot 10^{12} \cdot (273.15 + t)^{-4.44} \cdot \left(\frac{1900 \cdot 100}{CPcp \cdot Db + 0.01} - 18\right)^{0.00245 \cdot (273.15 + t) - 1.771}\right]$$

$PP(tv) = 727{,}017$	$\rho 1s(tv) = 1{,}19 * 10^3$	$B(tv) = 3{,}061$

$$\nu s(t) := 10^{-9} \cdot 10^{B(t)}$$

$$\Delta do := \begin{cases} \dfrac{CPcp}{109.7 - 1.9 \cdot CPcp} & \text{if } CPcp < 37 \\ \dfrac{CPcp}{62.655 - 0.695 \cdot CPcp} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta d(t) := \Delta do \cdot 0.01622 \cdot \frac{(273.15 + t)^2}{r(t)}$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$\rho 2(t) := \begin{cases} -5.3326 \cdot 10^{-2} + 4.423 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8.826 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1.09 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ -1.255 + 0.041 \cdot t - 4.68 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$vs(tv) = 1{,}15 * 10^{-6}$	$\Delta d(tv) = 1{,}983$	$\Delta do = 1{,}91$	$r(tv) = 2{,}241 * 10^3$	$\rho 2(tv) = 0{,}704$

$$PS(t) := 2.086 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 - 8.76231 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 + 2.124 \cdot 10^{-14} \cdot t^8 - 2.2652 \cdot 10^{-17} \cdot t^9$$

$$P(t) := \left(22.0972 - 2.08711 \cdot t + 0.08665 \cdot t^2\right) - 2.0723 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3.151 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 3.1571 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 + PS(t)$$

$$a := \frac{\lambda s(tv)}{\rho 1s(tv) \cdot Cps(tv)} \qquad Lp := \sqrt{\frac{\sigma s(tv)}{9.81 \cdot (\rho 1(tv) - \rho 2(tv))}}$$

$$Pe := q \cdot \frac{Lp}{a \cdot \rho 2(tv) \cdot r(tv)} \qquad Ga := 9.81 \cdot \frac{Lp^3}{\nu s(tv)^2}$$

$$Kp := P(tv) \cdot \frac{Lp \cdot 10^5}{\sigma s(tv)}$$

$$\alpha 2 := 3.25 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0.6} \cdot Kp^{0.7} \cdot Ga^{0.125} \cdot \frac{\lambda s(tv)}{Lp}$$

$PS(tv) = 1{,}911 * 10^3$	$P(tv) = 1{,}227$	$\alpha = 1{,}326 * 10^{-7}$	$Pe = 52{,}328$
$Lp = 2{,}618 * 10^{-3}$	$Ga = 1{,}33 * 10^5$	$Kp = 5{,}014 * 10^3$	$\alpha 2 = 1{,}177 * 10^3$

$$K := \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda st}\right)^{-1}$$

$$\Delta Tkor := \frac{q \cdot 1000}{K}$$

$$\Delta P := P(tgr) - P(tv)$$

$$tkip := tgr - \Delta Tkor$$

$$GR(t) := \left(0.0135712 - 5.271 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8.88 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 7.826 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3.532 \cdot 10^{-10} \cdot t^4\right) - 6.445 \cdot 10^{-13} \cdot t^5$$

$K = 949{,}216$	$\Delta Tkor = 4{,}409$	$\Delta P = 0{,}373$	$tkip = 109{,}08$	$GR(tv) = 2{,}332 * 10^{-4}$

$$\Delta dGR := GR(tv) \cdot \rho 1s(tkip) \cdot 9.81 \cdot hp \cdot \frac{L}{300}$$

$$tv := tkip - \Delta dGR - \Delta d(tkip)$$

$$\Delta Tn := tgr - tv$$

$$\Delta dz := \Delta d(tkip) + \Delta dGR$$

$\Delta dGR = 1{,}948$
$tv = 105{,}105$
$\Delta Tn = 8{,}384$
$\Delta dz = 3{,}975$

tgr3 := tgr	Δd3 := Δd(tkip)
tv3 := tv	Δd3GR := ΔdGR
tkip3 := tkip	Δd3z := Δdz
CPp3 := CPp	q3 := q
CPk3 := CPk	α32 := α2
ΔTn3 := ΔTn	K3 := K
ΔTkor3 := ΔTkor	Pgr3 := P(tgr)
Pv3 := P(tv)	S3 := S
ΔP3 := ΔP	W3 := W

tgr3 = 113,489	*Δd3 = 2,027*
tv3 = 105,105	*Δd3GR = 1,948*
tkip3 = 109,08	*Δd3z = 3,975*
CPp3 = 41,463	*q3 = 4,186*
CPk3 = 54,728	*α32 = 1,177 * 10³*
ΔTn3 = 8,384	*K3 = 949,216*
ΔTkor3 = 4,409	*Pgr3 = 1,6*

Pv3 = 1,202	*S3 = 48,074*
ΔP3 = 0,373	*W3 = 11,652*

Режимні параметри випарного апарата №3

Таблиця результатів розрахунку

1. Т-ра гріючої пари С
2. Т-ра сокової пари С
3. Т-ра кипіння
4. Початкова концентрація соку, %
5. Кінцева концентрація соку, %
6. Наявна різниця температур.
7. Корисна різниця температур.
8. Фіз-хім. температ.депресія
9. Гідрост. температ. депресія
10. Сумарна температ. депресія
11. Тепловий потік, кВт/м2
12. Коеф. тепловіддачі при кипінні
13. Коеф. теплопередачі
14. Тиск гріючої пари, бар
15. Тиск сокової пари, бар
16. Різниця тисків пари, бар
17. Витрата соку на ВА%

1	tgr
2	tv
3	tkip
4	CPp
5	CPk
6	ΔTn
7	ΔTkor
8	Δd(tkip)
9	ΔdGR
10	Δdz
11	q
12	α2
13	K
14	P(tgr)
15	P(tv)
16	ΔP
17	S

=

	0	1
0	1	113.489
1	2	105.105
2	3	109.08
3	4	41.463
4	5	54.728
5	6	8.384
6	7	4.409
7	8	2.027
8	9	1.948
9	10	3.975
10	11	4.186
11	12	$1.177 \cdot 10^3$
12	13	949.216
13	14	1.6
14	15	1.202
15	16	0.373
16	17	48.074

4 корпус ВУ (апарат Роберта)

	Задано:		
1.	*Навантаження (випарена волога)*	*W, %*	3,007
2.	*Температура гріючої пари (початок сезону)*	*tgr,*	104,405
3.	*Початкова концентрація соку*	*CPp, %*	54,728
4.	*Витрата соку*	*S, %*	36,422
5.	*Поверхня теплообміну*	*F, F4, м²*	1800
6.	*Довжина труб*	*L, м*	4,3
7.	*Висота п'єзометричного рівня*	*hp, %*	80
8.	*Температура соку на вході в апарат*	*tp, °C*	120
9.	*Товщина стінки труб*	*δs, м*	$1{,}5 * 10^{-3}$
10.	*Теплопровідність матеріалу труб*	*λst, Вт/м*	17
11.	*Доброякісність соку*	*Db, %*	92
	Задані значення:		
12.	*Температура вторинної пари початок сезону*	*tv*	92
13.	*Кратність циркуляції*	*Nzr*	3

$$CPk := S \cdot \frac{CPp}{S - W}$$

$$CPo := \frac{CPp}{Nzr} + CPk \cdot \left(1 - \frac{1}{Nzr}\right)$$

$$CPcp := \frac{CPo + CPk}{2}$$

CPk = 59,653
CPo = 58,011
CPcp = 58,832

ТФВ конденсату при:

$$\nu(t) := \begin{cases} 1.43558 \cdot 10^{-6} - 2.7906 \cdot 10^{-8} \cdot t + 2.492 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 8.437 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.4451 \cdot 10^{-6} + 1.147 \cdot 10^{-10} \cdot t - 2.585 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 9.56 \cdot 10^{-14} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(t) := \begin{cases} 0.603 + 3.986 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2.467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1.68 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.61618 + 1.1062 \cdot 10^{-3} \cdot t - 4.375 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Cp(t) := \begin{cases} 4.2083 - 1.852 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2.703 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 7.29 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4.1676 - 8.286 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4.643 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.428 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\nu(t1) = 2{,}884 * 10^{-7}$	*λ(t1) = 0,684*	*Cp(t1) = 4,223*

$$\rho 1(t) := 1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$Pr(t) := \left(9.175 - 0.154 \cdot t + 1.044 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) - 2.467 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$$

$$q := W \cdot \frac{r(tv) \cdot A}{(3.6 \cdot F) \cdot 2400} \qquad Rek := q \cdot \frac{L}{r(tgr) \cdot \rho 1(t1) \cdot \nu(t1)}$$

ρ1(t1) = 956,255
*r(t1) = 2,25 * 10³*
Pr(t1) = 1,704
q = 1,585
Rek = 11,009

$$\alpha 10 := \begin{cases} 0.925 \cdot \left(\frac{\lambda(t1)^3 \cdot \rho 1(t1) \cdot r(tgr) \cdot 9.81}{\nu(t1) \cdot L \cdot q}\right)^{0.3333} \cdot Rek^{0.053} & \text{if } Rek \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 \cdot Pr(tgr)^{-0.5} \cdot \left(Rek^{0.75} - 89\right)} \cdot \lambda(t1) \cdot \left(\frac{9.81}{\nu(t1)^2}\right)^{0.333} & \text{otherwise} \end{cases}$$

*α10 = 1,581 * 10⁴.*

ТФВ соку (сиропу) при середній концентрації *CPcp*

$$U := 0.7$$

$$\alpha 1 := U \cdot \alpha 10$$

$$LA(t) := \left[(t + 100)^2 \cdot \left(7.5 \cdot 10^{-8} - 1.97 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp\right) + (t + 100) \cdot \left(4.8 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp - 2.3 \cdot 10^{-5}\right)\right]$$

$$\lambda s(t) := \left(0.603 - \frac{28.73}{t + 100}\right)^{0.5} + CPcp \cdot \left[\left(LA(t) - 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot CPcp\right) - 1.4 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 0.35$$

$$\sigma s(t) := \left[76 - 0.17 \cdot t + CPcp \cdot \left(5 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot Db - 0.34\right)\right] \cdot 10^{-3}$$

$$Cps(t) := 4187 - 4.187 \cdot CPcp \cdot (7.1 - 0.018 \cdot t - 0.011 \cdot Db)$$

*α1 = 1,107 * 10⁴*	*LA(tv) = -5,869 *10⁻³*	*λs(tv) = 0,481*	*σs(tv) = 0,067*	*Cps(tv) = 3,095 * 10³*

$$PP(t) := (1563.77 - 0.6 \cdot t) \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right) - (182.5 + 0.1177 \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right)^{1.13} \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right)$$

$$\rho 1s(t) := \left(1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right) + PP(t)$$

$$B(t) := \left(0.6688 - \frac{98.4}{273.15 + t}\right)^{-1} + \left[2.357 \cdot 10^{12} \cdot (273.15 + t)^{-4.44} \cdot \left(\frac{1900 \cdot 100}{CPcp \cdot Db + 0.01} - 18\right)^{0.00245 \cdot (273.15 + t) - 1.771}\right]$$

$PP(tv) = 727{,}017$	$\rho 1s(tv) = 1{,}19 * 10^3$	$B(tv) = 3{,}061$

$$\nu s(t) := 10^{-9} \cdot 10^{B(t)}$$

$$\Delta d(t) := \Delta do \cdot 0.01622 \cdot \frac{(273.15 + t)^2}{r(t)}$$

$$\Delta do := \begin{cases} \dfrac{CPcp}{109.7 - 1.9 \cdot CPcp} & \text{if } CPcp < 37 \\ \dfrac{CPcp}{62.655 - 0.695 \cdot CPcp} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$\rho 2(t) := \begin{cases} -5.3326 \cdot 10^{-2} + 4.423 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8.826 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1.09 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ -1.255 + 0.041 \cdot t - 4.68 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$vs(tv) = 2{,}115 * 10^{-6}$	$\Delta d(tv) = 2{,}567$	$\Delta do = 2{,}703$	$r(tv) = 2{,}277 * 10^3$	$\rho 2(tv) = 0{,}455$

$$PS(t) := 2.086 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 - 8.76231 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 + 2.124 \cdot 10^{-14} \cdot t^8 - 2.2652 \cdot 10^{-17} \cdot t^9$$

$$P(t) := \left(22.0972 - 2.08711 \cdot t + 0.08665 \cdot t^2\right) - 2.0723 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3.151 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 3.1571 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 + PS(t)$$

$$a := \frac{\lambda s(tv)}{\rho 1s(tv) \cdot Cps(tv)} \qquad Ga := 9.81 \cdot \frac{Lp^3}{\nu s(tv)^2}$$

$$Pe := q \cdot \frac{Lp}{a \cdot \rho 2(tv) \cdot r(tv)} \qquad Lp := \sqrt{\frac{\sigma s(tv)}{9.81 \cdot (\rho 1(tv) - \rho 2(tv))}}$$

$PS(tv) = 874{,}366$	$P(tv) = 0{,}748$	$a = 1{,}251 * 10^{-7}$	$Pe = 31{,}984$	$Ga = 3{,}937 * 10^4$	$Lp = 2{,}66 * 10^{-3}$

$$Kp := P(tv) \cdot \frac{Lp \cdot 10^5}{\sigma s(tv)} \qquad \Delta Tkor := \frac{q \cdot 1000}{K}$$

$$\alpha 2 := 3.25 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0.6} \cdot Kp^{0.7} \cdot Ga^{0.125} \cdot \frac{\lambda s(tv)}{Lp} \qquad \Delta P := P(tgr) - P(tv)$$

$$K := \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda st}\right)^{-1} \qquad tkip := tgr - \Delta Tkor$$

$Kp = 2{,}975 * 10^3$	$a2 = 476{,}498$	$K = 439{,}131$	$\Delta Tkor = 1{,}67$	$\Delta P = 0{,}425$	$tkip = 102{,}735$

$$GR(t) := \left(0.0135712 - 5.271 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8.88 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 7.826 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3.532 \cdot 10^{-10} \cdot t^4\right) - 6.445 \cdot 10^{-13} \cdot t^5$$

$GR(tv) = 3{,}534 * 10^{-4}$

$$\Delta dGR := GR(tv) \cdot \rho 1s(tkip) \cdot 9.81 \cdot hp \cdot \frac{L}{300}$$

$$tv := tkip - \Delta dGR - \Delta d(tkip)$$

$$\Delta Tn := tgr - tv$$

$$\Delta dz := \Delta d(tkip) + \Delta dGR$$

$\Delta dGR = 1{,}948$
$tv = 105{,}105$
$\Delta Tn = 8{,}384$
$\Delta dz = 3{,}975$

$tgr4 := tgr$	$\Delta d4 := \Delta d(tkip)$
$tv4 := tv$	$\Delta d4GR := \Delta dGR$
$tkip4 := tkip$	$\Delta d4z := \Delta dz$
$CPp4 := CPp$	$q4 := q$
$CPk4 := CPk$	$\alpha 42 := \alpha 2$
$\Delta Tn4 := \Delta Tn$	$K4 := K$
$\Delta Tkor4 := \Delta Tkor$	$Pgr4 := P(tgr)$
$Pv4 := P(tv)$	$S4 := S$
$\Delta P4 := \Delta P$	$W4 := W$

$tgr4 = 104{,}405$	$\Delta d4 = 2{,}72$
$tv4 = 93{,}211$	$\Delta d4GR = 4{,}916$
$tkip4 = 100{,}847$	$\Delta d4z = 7{,}636$
$CPp4 = 54{,}728$	$q4 = 1{,}585$
$CPk4 = 59{,}653$	$\alpha 42 = 484{,}031$
$\Delta Tn4 = 11{,}194$	$K4 = 445{,}521$
$\Delta Tkor4 = 3{,}558$	$Pgr4 = 1{,}173$

$Pv4 = 0{,}782$	$S4 = 36{,}422$
$\Delta P4 = 0{,}425$	$W4 = 3{,}007$

Режимні параметри випарного апарата №4

Таблиця результатів розрахунку

1. Т-ра гріючої пари С
2. Т-ра сокової пари С
3. Т-ра кипіння
4.Початкова концентрація соку, %
5.Кінцева концентрація соку, %
6.Наявна різниця температур.
7.Корисна різниця температур.
8.Фіз-хім. температ.депресія
9.Гідрост. температ. депресія
10.Сумарна температ. депресія
11.Тепловий потік, кВт/м2
12.Коеф. тепловіддачі при кипінні
13.Коеф. теплопередачі
14.Тиск гріючої пари, бар
15.Тиск сокової пари, бар
16.Різниця тисків пари, бар
17.Витрата соку на ВА%

1	tgr
2	tv
3	tkip
4	CPp
5	CPk
6	ΔTn
7	ΔTkor
8	Δd(tkip)
9	ΔdGR
10	Δdz
11	q
12	α2
13	K
14	P(tgr)
15	P(tv)
16	ΔP
17	S

=

	0	1
0	1	104.405
1	2	93.211
2	3	100.847
3	4	54.728
4	5	59.653
5	6	11.194
6	7	3.558
7	8	2.72
8	9	4.916
9	10	7.636
10	11	1.585
11	12	484.031
12	13	445.521
13	14	1.173
14	15	0.782
15	16	0.425
16	17	36.422

5 корпус ВУ (апарат Роберта)

	Задано:		
1.	*Навантаження (випарена волога)*	*W, %*	1,319
2.	*Температура гріючої пари (початок сезону)*	*tgr,*	92,511
3.	*Початкова концентрація соку*	*CPp, %*	59,653
4.	*Витрата соку*	*S, %*	33,415
5.	*Поверхня теплообміну*	*F, F5, м²*	1500
6.	*Довжина труб*	*L, м*	4,3
7.	*Висота п'єзометричного рівня*	*hp, %*	90
8.	*Температура соку на вході в апарат*	*tp, °C*	120
9.	*Товщина стінки труб*	*δs, м*	$1,5 * 10^{-3}$
10.	*Теплопровідність матеріалу труб*	*λst, Вт/м*	17
11.	*Доброякісність соку*	*Db, %*	92
	Задані значення:		
12.	*Температура вторинної пари початок сезону*	*tv*	80
13.	*Кратність циркуляції*	*Nzr*	3

$$CPk := S \cdot \frac{CPp}{S - W}$$

$$CPo := \frac{CPp}{Nzr} + CPk \cdot \left(1 - \frac{1}{Nzr}\right)$$

$$CPcp := \frac{CPo + CPk}{2}$$

CPk = 62,104
CPo = 61,287
CPcp = 61,695

ТФВ конденсату при:

$$\nu(t) := \begin{cases} 1.43558 \cdot 10^{-6} - 2.7906 \cdot 10^{-8} \cdot t + 2.492 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 8.437 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.4451 \cdot 10^{-6} + 1.147 \cdot 10^{-10} \cdot t - 2.585 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 9.56 \cdot 10^{-14} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(t) := \begin{cases} 0.603 + 3.986 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2.467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1.68 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.61618 + 1.1062 \cdot 10^{-3} \cdot t - 4.375 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Cp(t) := \begin{cases} 4.2083 - 1.852 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2.703 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 7.29 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4.1676 - 8.286 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4.643 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.428 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

*v(t1) = 3,257 * 10^{-7}*	*λ(t1) = 0,681*	*Cp(t1) = 4,208*

$$\rho 1(t) := 1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$Pr(t) := \left(9.175 - 0.154 \cdot t + 1.044 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) - 2.467 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$$

$$q := W \cdot \frac{r(tv) \cdot A}{(3.6 \cdot F) \cdot 2400} \qquad Rek := q \cdot \frac{L}{r(tgr) \cdot \rho 1(t1) \cdot \nu(t1)}$$

ρ1(t1) = 964,69
*r(t1) = 2,281 * 10^3*
Pr(t1) = 1,96
q = 0,846
Rek = 5,085

$$\alpha 10 := \begin{cases} 0.925 \cdot \left(\frac{\lambda(t1)^3 \cdot \rho 1(t1) \cdot r(tgr) \cdot 9.81}{\nu(t1) \cdot L \cdot q}\right)^{0.3333} \cdot Rek^{0.053} & \text{if } Rek \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 \cdot Pr(tgr)^{-0.5} \cdot \left(Rek^{0.75} - 89\right)} \cdot \lambda(t1) \cdot \left(\frac{9.81}{\nu(t1)^2}\right)^{0.333} & \text{otherwise} \end{cases}$$

*α10 = 1,804 * 10^4.*

ТФВ соку (сиропу) при середній концентрації *CPcp*

$$U := 0.7$$

$$\alpha 1 := U \cdot \alpha 10$$

$$LA(t) := \left[(t+100)^2 \cdot \left(7.5 \cdot 10^{-8} - 1.97 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp\right) + (t+100) \cdot \left(4.8 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp - 2.3 \cdot 10^{-5}\right)\right]$$

$$\lambda s(t) := \left(0.603 - \frac{28.73}{t+100}\right)^{0.5} + CPcp \cdot \left[\left(LA(t) - 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot CPcp\right) - 1.4 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 0.35$$

$$\sigma s(t) := \left[76 - 0.17 \cdot t + CPcp \cdot \left(5 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot Db - 0.34\right)\right] \cdot 10^{-3}$$

$$Cps(t) := 4187 - 4.187 \cdot CPcp \cdot (7.1 - 0.018 \cdot t - 0.011 \cdot Db)$$

$\alpha 1 = 1{,}263 * 10^4$	$LA(tv) = -5{,}595 * 10^{-3}$	$\lambda s(tv) = 0{,}465$	$\sigma s(tv) = 0{,}069$	$Cps(tv) = 2{,}986 * 10^3$

$$PP(t) := (1563.77 - 0.6 \cdot t) \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right) - (182.5 + 0.1177 \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right)^{1.13} \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right)$$

$$\rho 1s(t) := \left(1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right) + PP(t)$$

$$B(t) := \left(0.6688 - \frac{98.4}{273.15 + t}\right)^{-1} + \left[2.357 \cdot 10^{12} \cdot (273.15 + t)^{-4.44} \cdot \left(\frac{1900 \cdot 100}{CPcp \cdot Db + 0.01} - 18\right)^{0.00245 \cdot (273.15 + t) - 1.771}\right]$$

$PP(tv) = 895{,}126$	$\rho 1s(tv) = 1{,}267 * 10^3$	$B(tv) = 3{,}522$

$$\nu s(t) := 10^{-9} \cdot 10^{B(t)}$$

$$\Delta do := \begin{cases} \dfrac{CPcp}{109.7 - 1.9 \cdot CPcp} & \text{if } CPcp < 37 \\ \dfrac{CPcp}{62.655 - 0.695 \cdot CPcp} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta d(t) := \Delta do \cdot 0.01622 \cdot \frac{(273.15 + t)^2}{r(t)}$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$\rho 2(t) := \begin{cases} -5.3326 \cdot 10^{-2} + 4.423 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8.826 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1.09 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ -1.255 + 0.041 \cdot t - 4.68 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\nu s(tv) = 3{,}328 * 10^{-6}$	$\Delta d(tv) = 2{,}734$	$\Delta do = 3{,}12$	$r(tv) = 2{,}308 * 10^3$	$\rho 2(tv) = 0{,}294$

$$PS(t) := 2.086 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 - 8.76231 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 + 2.124 \cdot 10^{-14} \cdot t^8 - 2.2652 \cdot 10^{-17} \cdot t^9$$

$$P(t) := \left(22.0972 - 2.08711 \cdot t + 0.08665 \cdot t^2\right) - 2.0723 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3.151 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 3.1571 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 + PS(t)$$

$$a := \frac{\lambda s(tv)}{\rho 1s(tv) \cdot Cps(tv)} \qquad Ga := 9.81 \cdot \frac{Lp^3}{\nu s(tv)^2}$$

$$Pe := q \cdot \frac{Lp}{a \cdot \rho 2(tv) \cdot r(tv)} \qquad Lp := \sqrt{\frac{\sigma s(tv)}{9.81 \cdot (\rho 1(tv) - \rho 2(tv))}}$$

PS(tv) = 395,668	*P(tv) = 0,47*	*a = 1,237 * 10^{-7}*	*Pe = 27,106*	*Ga = 1,721 * 10^{4}*	*Lp = 2,688 * 10^{-3}*

$$Kp := P(tv) \cdot \frac{Lp \cdot 10^5}{\sigma s(tv)} \qquad \Delta Tkor := \frac{q \cdot 1000}{K}$$

$$\alpha 2 := 3.25 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0.6} \cdot Kp^{0.7} \cdot Ga^{0.125} \cdot \frac{\lambda s(tv)}{Lp} \qquad \Delta P := P(tgr) - P(tv)$$

$$K := \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda st}\right)^{-1} \qquad tkip := tgr - \Delta Tkor$$

*Kp = 1,834 *10^3*	*a2 = 267,011*	*K = 255,584*	*ΔTkor = 3,309*	*ΔP = 0,292*	*tkip = 89,202*

$$GR(t) := \left(0.0135712 - 5.271 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8.88 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 7.826 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3.532 \cdot 10^{-10} \cdot t^4\right) - 6.445 \cdot 10^{-13} \cdot t^5$$

*GR(tv) = 5,213 * 10^{-4}*

$$\Delta dGR := GR(tv) \cdot \rho 1s(tkip) \cdot 9.81 \cdot hp \cdot \frac{L}{300}$$

$$tv := tkip - \Delta dGR - \Delta d(tkip)$$

$$\Delta Tn := tgr - tv$$

$$\Delta dz := \Delta d(tkip) + \Delta dGR$$

ΔdGR = 8,32
tv = 77,974
ΔTn = 14,537
Δdz = 11,228

tgr5 := tgr	Δd5 := Δd(tkip)
tv5 := tv	Δd5GR := ΔdGR
tkip5 := tkip	Δd5z := Δdz
CPp5 := CPp	q5 := q
CPk5 := CPk	α52 := α2
ΔTn5 := ΔTn	K5 := K
ΔTkor5 := ΔTkor	Pgr5 := P(tgr)
Pv5 := P(tv)	S5 := S
ΔP5 := ΔP	W5 := W

tgr5 = 92,511	*Δd5 = 2,908*
tv5 = 77,974	*Δd5GR = 8,32*
tkip5 = 89,202	*Δd5z = 11,228*
CPp5 = 59,653	*q5 = 0,846*
CPk5 = 62,104	*α52 = 267,011*
ΔTn5 = 14,537	*K5 = 255,584*
ΔTkor5 = 3,309	*Pgr5 = 0,762*

Pv5 = 0,433	*S5 = 33,415*
ΔP5 = 0,292	*W5 = 1,319*

Режимні параметри випарного апарата №5

Таблиця результатів розрахунку

1. Т-ра гріючої пари С
2. Т-ра сокової пари С
3. Т-ра кипіння
4. Початкова концентрація соку, %
5. Кінцева концентрація соку, %
6. Наявна різниця температур.
7. Корисна різниця температур.
8. Фіз-хім. температ.депресія
9. Гідрост. температ. депресія
10. Сумарна температ. депресія
11. Тепловий потік, кВт/м2
12. Коеф. тепловіддачі при кипінні
13. Коеф. теплопередачі
14. Тиск гріючої пари, бар
15. Тиск сокової пари, бар
16. Різниця тисків пари, бар
17. Витрата соку на ВА%

1	tgr
2	tv
3	tkip
4	CPp
5	CPk
6	ΔTn
7	ΔTkor
8	Δd(tkip)
9	ΔdGR
10	Δdz
11	q
12	α2
13	K
14	P(tgr)
15	P(tv)
16	ΔP
17	S

=

	0	1
0	1	92.511
1	2	77.974
2	3	89.202
3	4	59.653
4	5	62.104
5	6	14.537
6	7	3.309
7	8	2.908
8	9	8.32
9	10	11.228
10	11	0.846
11	12	267.011
12	13	255.584
13	14	0.762
14	15	0.433
15	16	0.292
16	17	33.415

(3о) корпус ВУ (апарат Роберта)

	Задано:		
1.	*Навантаження (випарена волога)*	*W, %*	14,586
2.	*Температура гріючої пари (початок сезону)*	*tgr,*	113,489
3.	*Початкова концентрація соку*	*CPp, %*	16,23
4.	*Витрата соку*	*S, %*	122,8
5.	*Поверхня теплообміну*	*F, F30, м²*	1800
6.	*Довжина труб*	*L, м*	4,3
7.	*Висота п'єзометричного рівня*	*hp, %*	40
8.	*Температура соку на вході в апарат*	*tp, °C*	120
9.	*Товщина стінки труб*	*δs, м*	$1,5 * 10^{-3}$
10.	*Теплопровідність матеріалу труб*	*λst, Вт/м*	17
11.	*Доброякісність соку*	*Db, %*	92
	Задані значення:		
12.	*Температура вторинної пари початок сезону*	*tv*	107,0
13.	*Кратність циркуляції*	*Nzr*	3

$$CPk := S \cdot \frac{CPp}{S - W}$$

$$CPo := \frac{CPp}{Nzr} + CPk \cdot \left(1 - \frac{1}{Nzr}\right)$$

$$CPcp := \frac{CPo + CPk}{2}$$

CPk = 18,418
CPo = 17,688
CPcp = 18,053

ТФВ конденсату при:

$$\nu(t) := \begin{cases} 1.43558 \cdot 10^{-6} - 2.7906 \cdot 10^{-8} \cdot t + 2.492 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 8.437 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.4451 \cdot 10^{-6} + 1.147 \cdot 10^{-10} \cdot t - 2.585 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 9.56 \cdot 10^{-14} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(t) := \begin{cases} 0.603 + 3.986 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2.467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1.68 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.61618 + 1.1062 \cdot 10^{-3} \cdot t - 4.375 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Cp(t) := \begin{cases} 4.2083 - 1.852 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2.703 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 7.29 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4.1676 - 8.286 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4.643 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.428 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\nu(t1) = 2,691 * 10^{-7}$	*λ(t1) = 0,685*	*Cp(t1) = 4,236*

$$\rho 1(t) := 1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$Pr(t) := \left(9.175 - 0.154 \cdot t + 1.044 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) - 2.467 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$$

$$q := W \cdot \frac{r(tv) \cdot A}{(3.6 \cdot F) \cdot 2400} \qquad Rek := q \cdot \frac{L}{r(tgr) \cdot \rho 1(t1) \cdot \nu(t1)}$$

ρ1(t1) = 949,316
*r(t1) = 2,226 * 10³*
Pr(t1) = 1,564
q = 7,556
Rek = 57,291

$$\alpha 10 := \begin{cases} 0.925 \cdot \left(\frac{\lambda(t1)^3 \cdot \rho 1(t1) \cdot r(tgr) \cdot 9.81}{\nu(t1) \cdot L \cdot q}\right)^{0.3333} \cdot Rek^{0.053} & \text{if } Rek \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 \cdot Pr(tgr)^{-0.5} \cdot \left(Rek^{0.75} - 89\right)} \cdot \lambda(t1) \cdot \left(\frac{9.81}{\nu(t1)^2}\right)^{0.333} & \text{otherwise} \end{cases}$$

*α10 = 1,046 * 10⁴.*

ТФВ соку (сиропу) при середній концентрації *CPcp*

$$U := 0.7$$

$$\alpha 1 := U \cdot \alpha 10$$

$$LA(t) := \left[(t + 100)^2 \cdot \left(7.5 \cdot 10^{-8} - 1.97 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp\right) + (t + 100) \cdot \left(4.8 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp - 2.3 \cdot 10^{-5}\right)\right]$$

$$\lambda s(t) := \left(0.603 - \frac{28.73}{t + 100}\right)^{0.5} + CPcp \cdot \left[\left(LA(t) - 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot CPcp\right) - 1.4 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 0.35$$

$$\sigma s(t) := \left[76 - 0.17 \cdot t + CPcp \cdot \left(5 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot Db - 0.34\right)\right] \cdot 10^{-3}$$

$$Cps(t) := 4187 - 4.187 \cdot CPcp \cdot (7.1 - 0.018 \cdot t - 0.011 \cdot Db)$$

*α1 = 7,319 * 10³*	*LA(tv) = -3,053 *10⁻³*	*λs(tv) = 0,649*	*σs(tv) = 0,06*	*Cps(tv) = 3,872 * 10³*

$$PP(t) := (1563.77 - 0.6 \cdot t) \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right) - (182.5 + 0.1177 \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right)^{1.13} \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right)$$

$$\rho 1s(t) := \left(1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right) + PP(t)$$

$$B(t) := \left(0.6688 - \frac{98.4}{273.15 + t}\right)^{-1} + \left[2.357 \cdot 10^{12} \cdot (273.15 + t)^{-4.44} \cdot \left(\frac{1900 \cdot 100}{CPcp \cdot Db + 0.01} - 18\right)^{0.00245 \cdot (273.15 + t) - 1.771}\right]$$

PP(tv) = 242,593	*ρ1s(tv) = 1,023 * 10³*	*B(tv) = 2,618*

$$\nu s(t) := 10^{-9} \cdot 10^{B(t)} \qquad \Delta do := \begin{cases} \dfrac{CPcp}{109.7 - 1.9 \cdot CPcp} & \text{if } CPcp < 37 \\ \dfrac{CPcp}{62.655 - 0.695 \cdot CPcp} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta d(t) := \Delta do \cdot 0.01622 \cdot \frac{(273.15 + t)^2}{r(t)}$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$\rho 2(t) := \begin{cases} -5.3326 \cdot 10^{-2} + 4.423 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8.826 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1.09 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ -1.255 + 0.041 \cdot t - 4.68 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$vs(tv) = 4,147 * 10^{-7}$	$\Delta d(tv) = 0,251$	$\Delta do = 0,239$	$r(tv) = 2,238 * 10^3$	$\rho 2(tv) = 0,735$

$$PS(t) := 2.086 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 - 8.76231 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 + 2.124 \cdot 10^{-14} \cdot t^8 - 2.2652 \cdot 10^{-17} \cdot t^9$$

$$P(t) := \left(22.0972 - 2.08711 \cdot t + 0.08665 \cdot t^2\right) - 2.0723 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3.151 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 3.1571 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 + PS(t)$$

$$a := \frac{\lambda s(tv)}{\rho 1s(tv) \cdot Cps(tv)} \qquad Ga := 9.81 \cdot \frac{Lp^3}{\nu s(tv)^2}$$

$$Pe := q \cdot \frac{Lp}{a \cdot \rho 2(tv) \cdot r(tv)} \qquad Lp := \sqrt{\frac{\sigma s(tv)}{9.81 \cdot (\rho 1(tv) - \rho 2(tv))}}$$

$PS(tv) = 2,047 * 10^3$	$P(tv) = 1,284$	$a = 1,638 * 10^{-7}$	$Pe = 71,062$	$Ga = 9,276 * 10^5$	$Lp = 2,533 * 10^{-3}$

$$Kp := P(tv) \cdot \frac{Lp \cdot 10^5}{\sigma s(tv)} \qquad \Delta Tkor := \frac{q \cdot 1000}{K}$$

$$\alpha 2 := 3.25 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0.6} \cdot Kp^{0.7} \cdot Ga^{0.125} \cdot \frac{\lambda s(tv)}{Lp} \qquad \Delta P := P(tgr) - P(tv)$$

$$K := \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda st}\right)^{-1} \qquad tkip := tgr - \Delta Tkor$$

$Kp = 5,426 * 10^3$	$a2 = 2,464 * 10^3$	$K = 1,585 * 10^3$	$\Delta Tkor = 4,766$	$\Delta P = 0,316$	$tkip = 108,723$

$$GR(t) := \left(0.0135712 - 5.271 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8.88 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 7.826 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3.532 \cdot 10^{-10} \cdot t^4\right) - 6.445 \cdot 10^{-13} \cdot t^5$$

$GR(tv) = 2,235 * 10^{-4}$

$$\Delta dGR := GR(tv) \cdot \rho 1s(tkip) \cdot 9.81 \cdot hp \cdot \frac{L}{300}$$

$$tv := tkip - \Delta dGR - \Delta d(tkip)$$

$$\Delta Tn := tgr - tv$$

$$\Delta dz := \Delta d(tkip) + \Delta dGR$$

ΔdGR = 1,291
tv = 107,178
ΔTn = 6,311
Δdz = 1,545

tgr0 := tgr	Δd0 := Δd(tkip)
tv0 := tv	Δd0GR := ΔdGR
tkip0 := tkip	Δd0z := Δdz
CPp0 := CPp	q0 := q
CPk0 := CPk	α02 := α2
ΔTn0 := ΔTn	K0 := K
ΔTkor0 := ΔTkor	Pgr0 := P(tgr)
Pv0 := P(tv)	S0 := S
ΔP0 := ΔP	W0 := W

tgr0 = 1,291	*Δd0 = 0,254*
tv0 = 107,178	*Δd0GR = 1,291*
tkip0 = 108,723	*Δd0z = 1,545*
CPp0 = 16,23	*q0 = 7,556*
CPk0 = 18,418	*α02 = 2,464 * 10³*
ΔTn0 = 6,311	*K0 = 1,585 * 10³*
ΔTkor0 = 4,766	*Pgr0 = 1,6*

Pv0 = 1,292	*S0 = 122,8*
ΔP0 = 0,316	*W0 = 14,586*

ΔP = Pv0 – Pgr0 = -0,308

tv = 107,178.

Режимні параметри випарного апарата №(3о)

Таблиця результатів розрахунку

1. Т-ра гріючої пари С
2. Т-ра сокової пари С
3. Т-ра кипіння
4.Початкова концентрація соку, %
5.Кінцева концентрація соку, %
6.Наявна різниця температур.
7.Корисна різниця температур.
8.Фіз-хім. температ.депресія
9.Гідрост. температ. депресія
10.Сумарна температ. депресія
11.Тепловий потік, кВт/м2
12.Коеф. тепловіддачі при кипінні
13.Коеф. теплопередачі
14.Тиск гріючої пари, бар
15.Тиск сокової пари, бар
16.Різниця тисків пари, бар
17.Витрата соку на ВА%

$$\begin{pmatrix} tgr \\ tv \\ tkip \\ CPp \\ CPk \\ \Delta Tn \\ \Delta Tkor \\ \Delta d(tkip) \\ \Delta dGR \\ \Delta dz \\ q \\ \alpha 2 \\ K \\ P(tgr) \\ Pv0 \\ \Delta P \\ S \end{pmatrix} =$$

	0
0	113.489
1	107.178
2	108.723
3	16.23
4	18.418
5	6.311
6	4.766
7	0.254
8	1.291
9	1.545
10	7.556
11	2.464·103
12	1.585·103
13	1.6
14	1.292
15	-0.308
16	122.8
17	
18	
19	

Результати розрахунку показників роботи ВУ

А = 3600 (на чисту поверхню теплообміну)

Сік поступає на 3о корпус ВУ (по вторинній парі 3 корпус ВУ)

ВА 1 кристалізації споживають пару з окремого 3о корпусу ВУ

	1K	2K	3K	4K	5K
0	tgr1	tgr2	tgr3	tgr4	tgr5
1	tv1	tv2	tv3	tv4	tv5
2	tkip1	tkip2	tkip3	tkip4	tkip5
3	CPp1	CPp2	CPp3	CPp4	CPp5
4	CPk1	CPk2	CPk3	CPk4	CPk5
5	ΔTn1	ΔTn2	ΔTn3	ΔTn4	ΔTn5
6	ΔTkor1	ΔTkor2	ΔTkor3	ΔTkor4	ΔTkor5
7	Δd1	Δd2	Δd3	Δd4	Δd5
8	Δd1GR	Δd2GR	Δd3GR	0	0
9	Δd1z	Δd2z	Δd3z	Δd4z	Δd5z
10	q1	q2	q3	q4	q5
11	α12	α22	α32	α42	α52
12	K1	K2	K3	K4	K5
13	Pgr1	Pgr2	Pgr3	Pgr4	Pgr5
14	Pv1	Pv2	Pv3	Pv4	Pv5
15	ΔP1	ΔP2	ΔP3	ΔP4	ΔP5
16	S1	S2	S3	S4	S5
17	W1	W2	W3	W4	W5
18	F1	F2	F3	F4	F5

=

	1K	2K	3K	4K	5K
	0	1	2	3	4
0	129.5	121.809	113.489	104.405	92.511
1	122.409	114.189	105.105	93.211	77.974
2	123.62	116.469	109.08	100.847	89.202
3	18.417	25.908	41.463	54.728	59.653
4	25.908	41.463	54.728	59.653	62.104
5	7.091	7.619	8.384	11.194	14.537
6	5.88	5.34	4.409	3.558	3.309
7	0.437	1.144	2.027	2.72	2.908
8	0.774	1.135	1.948	0	0
9	1.211	2.28	3.975	7.636	11.228
10	12.13	8.08	4.186	1.585	0.846
11	$3.573 \cdot 10^3$	$2.292 \cdot 10^3$	$1.177 \cdot 10^3$	484.031	267.011
12	$2.063 \cdot 10^3$	$1.513 \cdot 10^3$	949.216	445.521	255.584
13	2.657	2.096	1.6	1.173	0.762
14	2.136	1.637	1.202	0.782	0.433
15	0.515	0.43	0.373	0.425	0.292
16	108.231	76.936	48.074	36.422	33.415
17	31.295	28.862	11.652	3.007	1.319
18	$2.36 \cdot 10^3$	$3.3 \cdot 10^3$	$2.6 \cdot 10^3$	$1.8 \cdot 10^3$	$1.5 \cdot 10^3$
19					

Найменування величин: 0-т-ра гріючої пари, С;1-т-ра сокової пари, С; 2- т-ра кипіння, С; 3- початкова концентр. соку, %; 4-кінцева концентр соку, %; 5- наявна різниця т-тур, С 6- корисна різниця т-тур,С;7-фіз.хім. темп. депрес., С; 8- гідрост. темпер. депресія, С; 9- сум. темпер. депресія, С; 10-тепловий потік, кВт/м2 11- коефіц. тепловіддачі при кипінні, вТ/м2 К; 12- коефіц. теплоперед, вТ/м2К; 13- тиск гріючої пари, бар; 14-тиск вторинної пари, бар; 15-різниця тисків, бар; 16-витрата соку на апарат, %; 17 - випарена волога, %.18 - поверхня теплообміну.

3.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ НА ОСНОВІ ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ З АПАРАТАМИ РОБЕРТА НА ГОЛОВНІЙ ЧАСТИНІ ТА ПЛІВКОВИМИ НА ХВОСТОВІЙ.

3.3.1. Розрахунок теплової схеми А=3600 (клеровка сиропом)

Вихідні дані:

	Результати розрахунку продуктів:		
1.	*Продуктивність заводу*	*А, т/доб.*	3600
2.	*Витрата дифузійного соку*	*Sds, %*	115
3.	*Витр. нефільтр. соку на потреби деф.*	*Scv*	30
4.	*Витр. суспен. 2 сат. на ПД*	*Sc2*	2,5
5.	*Витр. диф. соку та сусп. 2 сат. на ТО*	*Spd, %*	*CPdc* = 16,54
6.	*Витрата соку перед 1 фільтрацією*	*Splf, %*	123
7.	*Витрата соку перед 2 сатурацією*	*S2c, %*	122,87
8.	*Сік на клеровку*	*Sskl, %*	
9.	*Сік на випарну установку ВУ*	*Spvu, %*	122,82
		Cpvu	16,23
10.	*Клеровка*	*Skl, %*	
11.	*Зелена патока 1 прод. на варку*	*Spz1*	8,74
		CPzp1	81,4
12.	*Біла патока 1 прод.*	*Spb1*	5,73
		CPpb1	80,1
13.	*Зелена патока 2 прод. на варку*	*Spz2*	6,07
		CPpz2	84
14.	*Афінаційний відтік*	*Saf3*	

$Szcax2 = 6{,}45;$ $Szcax3 = 2{,}35;$ $Szcax = Szcax + Szcax3 = 8{,}8.$

	Режимні параметри та температурний режим:		
1.	*Температура соку після дифузії*	*tds, °C*	32
2.	*Температура сусп.2, що повертається в збірн.дифсоку*	*tcp2, °C*	82
3.	*Температура соку у збірнику перед ВУ*	*tpvu, °C*	89
4.	*Температура ретурної пари*	*tret, °C*	129,5
5.	*Температура сокових парів 1 корпусу ВУ*	*t1*	122,5
6.	*Температура сокових парів 2 корпусу ВУ*	*t2*	114,3
7.	*Температура сокових парів 3 корпусу ВУ*	*t3*	104,0
8.	*Температура сокових парів 4 корпусу ВУ*	*t4*	98
9.	*Температура сокових парів 5 корпусу ВУ*	*t5*	94
		t3o	107
	Температура конденсату після збірника конденсату ЗК-4	*tkond4 = t4 + 0,1*	98,1

	Кількість бараометричної води на дифустановку *Sbv, %*:		
1.	*Температура конденсату із останнього збірника*	*tkon, °C*	98,1
2.	*Температура жомопресової води*	*tzpro, °C*	60
3.	*Витрата жомопресової води*	*Szpr, %*	50
4.	*Витрата конденсату на дифустановку*	*Skond, %*	45
5.	*Витрата барометричної води на дифустановку*	*Sbv, %*	0

$$Sbv = Sds - Sstr - Szpr - Skond + Szom = 0$$

ВИТРАТА ПАРИ НА СПОЖИВАЧІВ

Витрата пари на дифустановку:

1.	*Температура жому*	*tzom, °C*	71
2.	*Температура стружки*	*tstr, °C*	5
3.	*Температура жомопресової води*	*tzpr, °C*	72
4.	*Температура дифузійного соку*	*tds, °C*	32
5.	*Температура барометричної води*	*tk, °C*	70
6.	*Температура конденсату*	*tkon, °C*	70

$$CP = 15;\ Czom = 3,7;\ Cstr = 3,6;\ tgrd = 115;\ Sds = 115$$

$$Cp(t) = \begin{cases} 4,2083 - 1,852 * 10^{-3} * t + 2,703 * 10^{-5} * t^2 - 7,29 * 10^{-8} * t^3 & if\ t \le 100 \\ 4,1676 - 8,286 * 10^{-5} * t + 4,643 * 10^{-6} * t^2 + 1,428 * 10^{-8} * t^3 & otherwise \end{cases}$$

$$Czpr(t) = Cp(t) - CP * (25 + 0,08 * t) * 10^{-3} = 3,726.$$

$$r(t) = 2503,91 - 2,498 * t + 2,07 * 10^{-3} * t^2 - 1,823 * 10^{-5} * t^3 = 2,216 * 10^3.$$

$$Czpr(tzpr) = 3,726;\ Cp(tk) = 4,186;\ Czpr(tds) = 3,761;\ Skond = 45;\ Szpr = 50;$$

$$Sbv = 0;\ Sstr = 100$$

$$Qaut = Sds * Czpr(tds) * tds + Szom * Czom * tzom = 3,486 * 10^4.$$

$$Qin = Sstr * Cstr * tstr + Szpr * Czpr(tzpr) * tzpr + Skond * Cp(tk) * tkon + Sbv * * Cp(tk) * tk = 2,84 * 10^4.$$

$$Qdif = Qaut * Qin = 6,455 * 10^3.$$

$$Ddif = \frac{Qdif * 1{,}2}{r(tgrd)} = 3{,}495.$$

Ddif2 = Ddif * 0,3 = 1,048.

Ddif3 = Ddif * 0,7 = 2,446.

E2dif = Ddif2.

E3dif = Ddif3

Розрахунок температури дифузійного соку на виході із підігрівача на утфельній парі

1.	*Кількість труб в 1 ході*	*nz*	26
2.	*Температура утфельної пари (розрідж. 0,82 бар)*	*tsat*	57,8
3.	*Кількість теплообмінних пучків*	*Z*	16
4.	*Середнє число труб по вертикалі пучку*	*N*	3,645
5.	*Довжина труб теплообмінних секцій*	*L*	4,1
6.	*Витрата дифузійного соку*	*G*	47,917
7.	*Поверхня тепообміну теплообмінника*	*F*	168,701
8.	*Товщина та теплообмінність відкладень на трубі*	*δn* *λn*	0,0003 2
9.	*Температура дифузійного соку на виході із дифузійного апарата*	*tds*	32
10.	*Температура дифузійного соку на виході із теплообмінника*	*tko*	55,71
11.	*Середня температура дифузійного соку в теплообміннику*	*tc*	43,855
12.	*Середня температура соку*	*tc*	48,366

$$tc = \frac{tds + tko}{2} = 43{,}855$$

tk = tko; tp = tds

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tsat - tp}{tsat - tk}\right)\right)} = 9{,}434.$$

$tc = tsat - \Delta t = 48{,}366.$

Теплофізичні властивості конденсату

$$v(t) = \begin{cases} 1{,}43558 * 10^{-6} - 2{,}7906 * 10^{-8} * t + 2{,}492 * 10^{-10} * t^2 - 8{,}437 * 10^{-13} * t^3 \\ \text{if } t \le 100 \\ 0{,}4451 * 10^{-6} + 1{,}147 * 10^{-10} * t - 2{,}585 * 10^{-11} * t^2 + 9{,}56 * 10^{-14} * t^3 \\ \text{otherwise} \end{cases}$$

$v(tsat) = 4{,}922 * 10^{-7}.$

$$\lambda(t) = \begin{cases} 0{,}603 + 3{,}986 * 10^{-6} * t + 2{,}467 * 10^{-5} * t^2 - 1{,}68 * 10^{-7} * t^3 \text{ if } t \le 100 \\ 0{,}61618 + 1{,}1062 * 10^{-3} * t - 4{,}375 * 10^{-6} * t^2 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$\lambda(tsat) = 0{,}653.$

$Pr(t) = (9{,}175 - 0{,}154 * t + 1{,}044 * 10^{-3} * t^2) - 2{,}467 * 10^{-6} * t^3 = 3{,}285.$

$$Cp(t) = \begin{cases} 4{,}2083 - 1{,}852 * 10^{-3} * t + 2{,}703 * 10^{-5} * t^2 - 7{,}29 * 10^{-8} * t^3 \text{ if } t \le 100 \\ 4{,}1676 - 8{,}286 * 10^{-5} * t + 4{,}643 * 10^{-6} * t^2 + 1{,}428 * 10^{-8} * t^3 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$Cp(t) = 4{,}177.$

$p1(tsat) = 1004{,}7 - 0{,}206 * t - 2{,}608 * 10^{-3} * t^2 = 984{,}08.$

$\mu(tsat) = v(t) * p1(t) = 4{,}844 * 10^{-4}.$

Теплофізичні властивості соку

$J(t) = log(\mu(t) * 1000) + CP * (0{,}0157 - 7 * 10^{-5} * t) = -0{,}062.$

$\mu c(t) = 10^{J(t)} * 10^{-3} = 8{,}673 * 10^{-4}.$

$\lambda c(t) = \lambda(t) - 0{,}0033 * CP = 0{,}592.$

$\rho c(t) = \rho 1(t) + 4 * CP = 1{,}049 * 10^3$

$$Cpc(t) = Cp(t) - CP * \frac{25 + 0{,}08 * tc}{1000} = 3{,}741.$$

$$vc(t) = \frac{\mu c(t)}{\rho c(t)} = 8{,}271 * 10^{-7}.$$

$$Prc(t) = \mu c(t) * \frac{Cpc(t) * 1000}{\lambda c(t)} = 5{,}477.$$

1.	*Тепловидатність*	*Q*	$4{,}25 * 10^3$
2.	*Тепловий потік*	*q*	25,191
3.	*Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації*	*U*	0,8
4.	*Швидкість соку в трубах*	*w*	2,488

Тепловидатність: $Q = G * Cpc(tc) * (tk - tp) = 4{,}25 * 10^3$.

Тепловий потік: $q = \frac{Q}{F} = 25{,}191.$

$$\alpha 10 = 0{,}655 * \left[\left(\frac{\lambda(tsat)^3 * p1(tsat) * r(tsat) * 9{,}81}{v(tsat) * dz * q}\right)^{0{,}333}\right] * N^{-\frac{1}{6}} = 1{,}304 * 10^4.$$

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації U:

$$\alpha 1 = \alpha 10 * U = 1{,}043 * 10^4.$$

Швидкість соку в трубах:

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(t) * 3{,}14 * dv^2 * nz} = 2{,}488.$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 9{,}023 * 10^4.$$

Коефіцієнт тепловіддачі до соку

$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2}$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \dfrac{\lambda c(t)}{dv} & if \ \ Re \geq 1000 \\ \left[\dfrac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \dfrac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\dfrac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\dfrac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \dfrac{\lambda c(t)}{dv} & otherwise \end{cases}$$

*α2 = 8,258 * 10³.*

Коефіцієнт теплопередачі

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 4{,}43 * 10^3$$

$$K = \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} = 2{,}661 * 10^3$$

1.	*Число одиниць одиниць перенесення тепла*	*NTU*	2,505
2.	*Ефективність теплообмінника*	*ε*	0,918
3.	*Температура соку на виході із теплообмінника*	*tk*	55,692

tutf = tk

ΔTutf = tk – tp = 23,692.

Гідравлічний опір ТО (соковий простір) *Δe = 0,0003*

$$\xi g = 0{,}11 * \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta e}{dv}\right)^{0{,}25} = 0{,}035$$

$$\Delta P = \left[\xi g * L * \frac{Z}{dv} + (Z - 1) * 2{,}5 + 3\right] * \rho c(t) * \frac{w^2}{2 * 10^5} = 3{,}827.$$

Розрахунок температури нефільтрованого соку 1-ї сатурації, після регенеративного теплообмінника

1.	*Температура нефільтрованого соку на вході*	*tlp*	86
2.	*Задаємо температуру нефільтрованого соку на виході*	*tlk*	63,15
3.	*Витрата нефільтрованого соку*	*G1, кг/с*	12,5
4.	*Температура соку на виході із попереднього дефекатора на вході в реген. теплообм.(задаємо)*	*t2p*	57,64
5.	*Витрата соку*	*G2, кг/с*	61,933
6.	*Температура соку на виході із реген. теплообм.*	*t2k*	62,252
7.	*Середня температура нефільтрованого соку*	*t1c*	74,575
8.	*Середня температура соку після попереднього вапнування*	*t2c*	59,946
9.	*Ширина пластини*	*b*	0,6
10.	*Висота пластини*	*H*	1,4
11.	*Ширина каналу (зазору) між пластинами*	*δz*	0,012
12.	*Загальне число пластин*	*n*	60
13.	*Поверхня теплообміну*	*F*	48,72

Spd = Sds + Sv2 + Scv + Svap = 148,64

Теплообмінник 4, ходовий по нефільтрованому соку та теплообмінник 1 ходовий по соку

$$fz1 = b * \delta z * \left[\left(\frac{n}{8}\right) - 1\right] = 0{,}047$$

$$fz2 = b * \delta z * \left[\left(\frac{n}{2}\right) - 1\right] = 0{,}209$$

*dek = 2 * δz = 0,024.*

$$w1 = \frac{G1}{\rho c(t1c) * fz1} = 0{,}258$$

$$w2 = \frac{G2}{\rho c(t2c) * fz2} = 0{,}284$$

$$Re1 = w1 * \frac{dek}{vc(t1c)} = 1{,}173 * 10^4$$

$$Re2 = w2 * \frac{dek}{vc(t2c)} = 1{,}022 * 10^4$$

$$\xi t1 = \begin{cases} 79 * \frac{(1000 * \delta z)^{0,6}}{Re1^{0,85}} & if\ Re1 < 1000 \\ 3{,}05 * \frac{(1000 * \delta z)^{0,6}}{Re1^{0,38}} & otherwise \end{cases} \qquad \xi t1 = 0{,}385.$$

$$\alpha 1 = 0{,}092 * \xi t1^{0,5} * Re1^{0,845} * Prc(t1c)^{0,25} * \left(1 + 4 * \frac{\log\left(Rrc(t1c)\right)}{Rrc(t1c)}\right) * \frac{\lambda c(t1c)}{dek}$$

$$\alpha 1 = 8{,}905 * 10^3$$

$$\xi t2 = \begin{cases} 79 * \frac{(1000 * \delta z)^{0,6}}{Re2^{0,85}} & if\ Re2 < 1000 \\ 3{,}05 * \frac{(1000 * \delta z)^{0,6}}{Re2^{0,38}} & otherwise \end{cases} \qquad \xi t2 = 0{,}406.$$

$$\alpha 2 = 0{,}092 * \xi t2^{0,5} * Re2^{0,845} * Prc(t2c)^{0,25} * \left(1 + 4 * \frac{\log\left(Rrc(t2c)\right)}{Rrc(t2c)}\right) * \frac{\lambda c(t1c)}{dek}$$

$$\alpha 2 = 8{,}276 * 10^3$$

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 4{,}133 * 10^3$$

$$K = \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} = 2{,}033 * 10^3$$

$$NTU1 = K * \frac{F * 10^{-3}}{G1 * Cpc(t1c)} = 2{,}109$$

$$NTU2 = K * F\ \frac{10^{-3}}{G2 * Cpc(t2c)} = 0{,}427$$

ΔN = NTU1 – NTU2 = 1,682

$NTU = \begin{cases} NTU1 \ \ if \ \Delta N \geq 0 \\ NTU2 \ \ otherwise \end{cases}$ $NTU = 2{,}109$

$C1 = G1 * Cpc(t1c) = 46{,}965$

$C2 = G2 * Cpc(t2c) = 231{,}982$

$\Delta C = C1 - C2 = -185{,}016$

$Cmin = \begin{cases} C1 \ \ if \ \Delta C < 0 \\ C2 \ \ otherwise \end{cases}$ $Cmin = 46{,}965$

$Cmax = \begin{cases} C1 \ \ if \ \Delta C > 0 \\ C2 \ \ otherwise \end{cases}$ $Cmax = 231{,}982$

$$\varepsilon prot = \frac{1 - \exp\left[-NTU * \left(1 - \frac{Cmin}{Cmax}\right)\right]}{1 - \left(\frac{Cmin}{Cmax}\right) * \left[\exp\left[-NTU * \left(1 - \frac{Cmin}{Cmax}\right)\right]\right]} = 0{,}846$$

$$\varepsilon prym = \frac{1 - \exp\left[-NTU * \left(1 + \frac{Cmin}{Cmax}\right)\right]}{1 + \left(\frac{Cmin}{Cmax}\right)} = 0{,}766$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon prot + \varepsilon prym}{2} = 0{,}806$$

$$t1k = t1p - (t1p - t2p) * \varepsilon * \left(\frac{Cmin}{C1}\right) = 63{,}148$$

$$t2k = t2p + (t1p - t2p) * \varepsilon * \left(\frac{Cmin}{C2}\right) = 62{,}266$$

$\delta t1 = t1p - t1k = 22{,}852$

$\delta t2 = t2k - t2p = 4{,}626.$

Основні показники роботи пластинчастого регенеративного ТО (рідина-рідина)

1.Поверхня теплообміну, м2
2.Число пластин в одному ході
3. Число ходів
4.Довжина каналу
5.Ширина каналу, м
6.Ширина щілини, мм
7.Витрата нефільтр.соку на переддефек., т/год
8.Витрата соку після переддефекатора, т/год
9Швидкість нефільтр. соку ω1. ,м/с
10.Швидкість дефеков. соку ω2 , м/с
11.Товщина накипу, або коефіц.ф.
12.Коефіц. теплопередачі, K Вт/м2 K
13.Ефективність ε ТО
14.Початков. т-ра нефільтр. соку t1p, C
15.Початков. т-ра переддефеков. соку, t2p C
16.Кінцева т-ра нефільтров. соку , t1kC
17.Кінцева т-ра переддефеков.соку, t2k C
18Гідравлічн. опір, Бар

$$\begin{pmatrix} 1 & F \\ 2 & nz \\ 3 & Z \\ 4 & L \\ 5 & b \\ 6 & \delta z \\ 7 & G1 \\ 8 & G2 \\ 9 & w1 \\ 10 & w2 \\ 11 & \delta n \\ 12 & K \\ 13 & \varepsilon \\ 14 & t1p \\ 15 & t2p \\ 16 & t1k \\ 17 & t2k \end{pmatrix} =$$

	0	1
0	1	48.72
1	2	26
2	3	16
3	4	4.1
4	5	0.6
5	6	0.012
6	7	12.5
7	8	61.933
8	9	0.258
9	10	0.284
10	11	$5 \cdot 10^{-4}$
11	12	$2.033 \cdot 10^{3}$
12	13	0.806
13	14	86
14	15	57.64
15	16	63.148
16	17	62.266
17		

Температура соку на виході із попереднього дефекатора

*Cds(t) = Cp(t) – CP * (25 + 0,08 *t) * 10 -3 = 3,73*

Spd = Sds + Sv2 + Scv + Svap = 148,64

$$tpd = \frac{Sds * tds * Cds(tds) + (Sv2) * tcp2 * Csusp + Scv * Cds(tcv) * tcv}{(Sds * Cds(tds) + Sv2 * Csusp) + Scv * Cds(tcv)} = 57{,}661.$$

ВИТРАТА ПАРИ НА ТЕПЛООБМІННИК

Витрата пари на підігрівачі перед основним вапнуванням

Теплообмінник ПДС2

(теплообмінник решофер) kondensat

t2p = t2k = 62,266; t1p = tkond4 = 98,1; SkondTO = 45

Режимні параметри гарячого конденсату та соку

1.	*Витрата конденсату*	*G1, т/год*	67,5
2.	*Витрата соку*	*G2, т/год*	222,96
3.	*Початкова температура конденсату*	*t1p, °C*	98,1
4.	*Початкова температура дифузійного соку*	*t2p, °C*	62,266

$$G1 = SkondTO * \frac{A}{24 * 100} = 67{,}5$$

$$G2 = Spd * \frac{A}{24 * 100} = 222{,}96.$$

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*Z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби*	*L*, м	3,5
4.	*Діаметр корпусу*	*Dvn,* м	1,2
5.	*Внутрішній діаметр т-ної труби*	*dv*, м	0,03
6.	*Зовнішній діаметр т-ної труби*	*dz,* м	0,033
7.	*Товщина стінки труби*	*δs,* м	0,0015
8.	*Середній діаметр т-ної труби*	*dc,* м	0,032
9.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ*	0,85
10.	*Живий переріз трубного простору*	*fz2,* м	0,032
11.	*Живий переріз міжтрубного простору*	*fz1,* м	0,074
12.	*Еквівалентний діаметр міжтрубного простору*	*dek*	0,035

*dc = (dv + dz) * 0,5 = 0,032*

$$fz2 = 3{,}14 * dv^2 * \frac{nz}{4} = 0{,}032$$

$$fz1 = 3{,}14 * \frac{Dvn^2 - dz^2 * nz * z}{4 * z} = 0{,}074$$

$$dek = 4 * \frac{fz1}{3{,}14 * (Dvn + dz * nz)} = 0{,}035.$$

Розрахунок кінцевих температур теплоносіїв

1.	*Задаємося температурою соку на виході із ТО*	*t2k*	73
2.	*Температура конденсату на виході із ТО*	*t1k*	66,546
3.	*Середні температури конденсату та соку*	*t1c*	82,323
		t2c	67,633

$$t1k = t1p - G2 * \frac{(t2k - t2p) * 0{,}89}{G1} = 66{,}546$$

$$t1c = \frac{t1p + t1k}{2} = 82{,}323$$

$$t2c = \frac{t2p + t2k}{2} = 67{,}633$$

Теплофізичні властивості конденсату

$$\nu(t) = \begin{cases} 1{,}43558 * 10^{-6} - 2{,}7906 * 10^{-8} * t + 2{,}492 * 10^{-10} * t^2 - 8{,}437 * 10^{-13} * t^3 \\ \text{if } t \le 100 \\ 0{,}4451 * 10^{-6} + 1{,}147 * 10^{-10} * t - 2{,}585 * 10^{-11} * t^2 + 9{,}56 * 10^{-14} * t^3 \\ \text{otherwise} \end{cases}$$

$\nu(t1c) = 3{,}564 * 10^{-7}$

$$\lambda(t) = \begin{cases} 0{,}603 + 3{,}986 * 10^{-6} * t + 2{,}467 * 10^{-5} * t^2 - 1{,}68 * 10^{-7} * t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0{,}61618 + 1{,}1062 * 10^{-3} * t - 4{,}375 * 10^{-6} * t^2 & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \lambda(t1c) = 0{,}677$$

$Pr(t1c) = (9{,}175 - 0{,}154 * t + 1{,}044 * 10^{-3} * t^2) - 2{,}467 * 10^{-6} * t^3 = 2{,}196$

$$Cp(t) = \begin{cases} 4{,}2083 - 1{,}852 * 10^{-3} * t + 2{,}703 * 10^{-5} * t^2 - 7{,}29 * 10^{-8} * t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4{,}1676 - 8{,}286 * 10^{-5} * t + 4{,}643 * 10^{-6} * t^2 + 1{,}428 * 10^{-8} * t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Cp(t1c) = 4{,}198$

$\rho 1(t1c) = 1004,7 - 0,206 * t - 2,608 * 10^{-3} * t^2 = 970,067.$

Теплофізичні властивості соку

$J(t) = \log(\mu(t) * 1000) + CP * (0,0157 - 7 * 10^{-5} * t) = -0,197$

$\mu c(t) = 10^{J(t)} * 10^{-3} = 6,348 * 10^{-4}$

$\lambda c(t) = \lambda(t) - 0,0033 * CP = 0,61$

$\rho c(t) = \rho 1(t) + 4 * CP = 1,045 * 10^3$

$$Cpc(t) = Cp(t) - CP * \frac{25 + 0,08 * t2c}{1000} = 3,681$$

$$vc(t) = \frac{\mu c(t)}{\rho c(t)} = 6,074 * 10^{-7}$$

$$Prc(t) = \mu c(t) * \frac{Cpc(t) * 1000}{\lambda c(t)} = 3,833.$$

Швидкості соку w_2 в трубах та конденсату w_1 в міжтрубному просторі

$$w1 = \frac{G1}{\rho 1(t1c) * fz1 * 3,6} = 0,262; \qquad w2 = \frac{G2}{\rho 1(t2c) * fz2 * 3,6} = 1,824.$$

Числа Рейнольдса в трубах та міжтрубному просторі

$$Re1 = w1 * \frac{dek}{v(t1c)} = 2,542 * 10^4; \qquad Re2 = w2 * \frac{dv}{vc(t2c)} = 9,007 * 10^4.$$

Коефіцієнти тепловіддачі до соку

$\xi t1 = (1,82 * \log(Re1) - 1,64)^{-2} = 0,025$

$$\alpha 1 = \begin{cases} 0,023 * Re1^{0,8} * \Pr(t1c)^{0,4} * \frac{\lambda(t1c)}{dek} & if\ Re1 \geq 1000 \\ \left[\frac{\left[(Re1 - 1000) * \Pr(t1c) * \frac{\xi t1}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dek}{L}\right)^{0,666}\right]}{1 + 12,7 * (\Pr(t1c)^{0,666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0,5}}\right] * \frac{\lambda(t1c)}{dek} & otherwise \end{cases}$$

$\alpha 1 = 2,063 * 10^3.$

Коефіцієнти тепловіддачі до соку

$\xi t2 = (1,82 * \log(Re2) - 1,64)^{-2} = 0,018$

$$\alpha 2 = \left| \begin{array}{l} 0{,}023 * Re2^{0{,}8} * \Pr(t2c)^{0{,}4} * \dfrac{\lambda c(t2c)}{dv} \quad if\ Re2 \geq 1000 \\ \left[\dfrac{\left[(Re2 - 1000) * \Pr c(t2c) * \dfrac{\xi t2}{8} \right] * \left[1 + \left(\dfrac{dv}{L} \right)^{0{,}666} \right]}{1 + 12{,}7 * (\Pr(t2c)^{0{,}666} - 1) * \left(\dfrac{\xi t2}{8} \right)^{0{,}5}} \right] * \dfrac{\lambda c(t2c)}{dv} \quad otherwise \end{array} \right.$$

$\alpha 2 = 7{,}357 * 10^3.$

Коефіцієнт теплопередачі

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s} \right)^{-1} = 1{,}491 * 10^3$$

$$K = \left| \begin{array}{l} \left(Ko^{-1} + \dfrac{\delta n}{\lambda n} \right)^{-1} \quad if\ \delta n > 0 \qquad K = 1{,}267 * 10^3 \\ Ko * \varphi \quad otherwise \end{array} \right.$$

Число одиниць перенесення тепла

$$NTU1 = K * \frac{(F * 10^{-3}) * 3{,}6}{G1 * Cp(t1c)} = 2{,}564$$

$$NTU2 = K * F * \frac{10^{-3} * 3{,}6}{G2 * Cp(t2c)} = 0{,}779$$

ΔN = NTU1 – NTU2 = 1,785

$$NTU = \left| \begin{array}{l} NTU1 \quad if\ \Delta N \geq 0 \\ NTU2 \quad otherwise \end{array} \right.$$

*C1 = G1 * Cp(t1c) = 283,389;* *C2 = G2 * Cpc(t2c) = 820,747*

ΔC = C1 – C2 = -537,358

$$Cmin = \left| \begin{array}{l} C1 \quad if\ \Delta C < 0 \quad = 283{,}389; \\ C2 \quad otherwise \end{array} \right. \qquad Cmax = \left| \begin{array}{l} C1 \quad if\ \Delta C > 0 \quad = 820{,}747. \\ C2 \quad otherwise \end{array} \right.$$

Ефективність теплообмінника

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\left[-NTU * \left(1 - \dfrac{Cmin}{Cmax} \right) \right]}{1 - \left(\dfrac{Cmin}{Cmax} \right) * \left[\exp\left[-NTU * \left(1 - \dfrac{Cmin}{Cmax} \right) \right] \right]} = 0{,}869.$$

Температура конденсату на виході із теплообмінника

$$t1k = t1p - \ (t1p - t2p) * \ \varepsilon * \left(\frac{Cmin}{C1}\right) = 66{,}946.$$

Температура соку на виході із теплообмінника

$$t2k = t2p + \ (t1p - t2p) * \ \varepsilon * \left(\frac{Cmin}{C2}\right) = 73{,}023.$$

Змінна температура теплоносіїв

$\delta t1 = t1p - t1k = 31{,}154;$ $\delta t2 = t2k - t2p = 10{,}757.$

Тепловидатність

$$Q = G1 * Cp(t1c) * \frac{t1p - t1k}{3{,}6} = 2{,}452 * \ 10^3.$$

Гідравлічний опір ТО (соковий промтір)

$$\xi g = 0{,}11 * \left(\frac{68}{Re2} + \frac{\Delta e}{dv}\right)^{0{,}25} = 0{,}038$$

$$\Delta P = \left[\xi g * L * \frac{z}{dv} + (z - 1) * 2{,}5 + 3\right] * \ \rho c(t2c) * \frac{w2^2}{2 * \ 10^5} = 1{,}211$$

$\Delta P1 = \Delta P.$

1.	*Початкова температура:* *- соку* *- конденсату*	 *t2p* *t1p*	 62,266 98,1
2.	*Кінцева температура:* *- соку* *- конденсату*	 *t2k* *t1k*	 73,023 66,946
3.	*Тепловидатність, кВт*	*Q*	$2{,}452 * 10^3$

tkon1 = t1k

Tdif1p = t2p; Tdif1k = t2k

Tto2p = t1p; Tto2k = t1k

ΔTdif1 = t2k – t2p = 9,334

G1pdc = G1 = 67,5; G2pdc = G2 = 222,96

Основні показники роботи ТО ПДС-1

0.Витрата конденсату, т/год
1.Витрата соку, т/год
2Швидкість конденс. в міжтрубн. прост.,м/с
3.Швидкість соку в трубах, м/с
4. коефіц.викор.
5.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
6.Ефективність ТО
7.Початков. т-ра конденсату, С
8.Початков. т-ра соку, С
9.Кінцева т-ра конденсату, С
10.Кінцева т-ра соку, С
11Гідравлічн. опір, Бар
12.Степінь нагрівання соку, С

$$\begin{pmatrix} 0 & G1 \\ 1 & G2 \\ 2 & w1 \\ 3 & w2 \\ 4 & \phi \\ 5 & K \\ 6 & \varepsilon \\ 7 & t1p \\ 8 & t2p \\ 9 & t1k \\ 10 & t2k \\ 11 & \Delta P1 \\ 12 & \Delta Tdif1 \end{pmatrix} =$$

	0	1
0	0	67.5
1	1	222.96
2	2	0.262
3	3	1.824
4	4	0.85
5	5	$1.267 \cdot 10^3$
6	6	0.869
7	7	98.1
8	8	62.266
9	9	66.946
10	10	73.023
11	11	1.211
12	12	10.757

Підігрівач перед основним вапнуванням пари 5 корп.

підігр. 2 гупи ППДС

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	222,96
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	92
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	73,023

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,8

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 88,0*

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 9{,}619$$

$$tc = tgr - \Delta t = 82{,}381$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 3{,}428 * 10^3$$

$$q = \frac{Q}{F} = 21{,}525$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 107{,}112$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} & if\ Re \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} & othe. \end{cases}$$

*α10 = 7,765 * 10³.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,7*

*α1 = α10 * U = 5,435 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}839$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}133 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}018$$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & if\ Re \ge 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & otherwise \end{cases}$$

*α2 = 8,177 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 2{,}807 * 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} & if\ \delta n > 0 \\ Ko * \varphi & otherwise \end{cases} = 2{,}245 * 10^{3}$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 1{,}562$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}79$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 88{,}022$$

Витрата пари на підігрівник

$$E5pd = 1{,}01 * Spd * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 3{,}654$$

PDCv5 = E5pd = 3,654

δtn = tgr – tk = 3,978.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 71,222; tk = 74,238*

Tdif5p = tp; Tdif5k = tk; ΔTdif5 = tk – tp = 14,998.

Гідравлічний опір

$$\xi g = 0{,}11 * \left(\frac{68}{Re2} + \frac{\Delta e}{dv}\right)^{0{,}25} = 0{,}038$$

$$\Delta P = \left[\xi g * L * \frac{z}{dv} + (z - 1) * 2{,}5 + 3\right] * \rho c(t2c) * \frac{w^2}{2 * 100000} = 1{,}231$$

ΔP5 = ΔP = 1,231.

Основні показники роботи ТО ПДС-2

.
1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
2.Ефективність ТО
3.Т-ра гріюч. пари, С
4.Початков. т-ра соку, С
5.Кінцева т-ра соку, С
6Гідравлічн. опір, Бар
7.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & K \\ 2 & \varepsilon \\ 3 & tgr \\ 4 & tp \\ 5 & tk \\ 6 & \Delta P \\ 7 & PDCv5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2.245 \times 10^{3} \\ 2 & 0.79 \\ 3 & 92 \\ 4 & 73.023 \\ 5 & 88.022 \\ 6 & 1.231 \\ 7 & 3.654 \end{pmatrix}$$

Підігрівач соку перед гарячим вапнуванням ПДСЗ

Гріюча пара – пара із 4 корпусу ВУ *F = 200 m²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	222,96
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	93
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	88,022

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	57
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,7

Розрахунок кінцевої температури соку на виході із ТО

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 92*

$$F = 3{,}14 * L * nz * \frac{dv + dz}{2} * z = 197{,}325$$

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 2{,}479$$

$$tc = tgr - \Delta t = 90{,}521$$

Теплофізичні властивості конденсату:

$$v(tgr) = 3{,}311 * 10^{-7};\ \rho 1(tgr) = 962{,}985;\ \lambda(tgr) = 0{,}682;$$

$$r(tgr) = 2{,}275 * 10^{3};\ \ Pr(tgr) = 1{,}898$$

Теплофізичні властивості соку:

$$vc(tc) = 4{,}353 * 10^{-7};\ \rho c(tc) = 1{,}031 * 10^{3};$$

$$\lambda c(tc) = 0{,}626;\ \ Prc(tc) = 2{,}655$$

Тепловидатність:

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 2{,}463 * 10^{3}$$

Тепловий потік:

$$q = \frac{Q}{F} = 12{,}481$$

Тепловіддача від пари до труб:

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 23{,}316$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} & if\ Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} & othewi. \end{cases}$$

*α10 = 1,2 * 10⁴.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,7*

*α1 = α10 * U = 8,397 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}491$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}028 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}018$$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & if\ Re \geq 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & otherwise \end{cases}$$

*α2 = 7,253 * 10³.*

Коефіцієнт теплопередачі:

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 3{,}258 * 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} & if\ \delta n > 0 \quad = 2{,}28 * 10^3 \\ Ko * \varphi & otherwise \end{cases}$$

Число одиниць перенесення тепла:

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 1{,}961$$

Ефективність теплообмінника:

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}859.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 92{,}299.$$

Витрата пари

$$D4 = 1{,}01 * Spd * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 1{,}046.$$

Витрата пари на підігрівник

$$E4pd = 1{,}01 * Spd * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 1{,}046$$

PDC3v4 = E4pd

δtn = tgr – tk = 0,701.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 88,022; tk = 92,299*

Tdif4p = tp; Tdif4k = tk; ΔTdif4 = tk – tp = 4,278.

Гідравлічний опір

$$\xi g = 0{,}11 * \left(\frac{68}{Re2} + \frac{\Delta e}{dv}\right)^{0{,}25} = 0{,}038$$

$$\Delta P = \left[\xi g * L * \frac{z}{dv} + (z - 1) * 2{,}5 + 3\right] * \rho c(t2c) * \frac{w^2}{2 * 100000} = 0{,}81$$

ΔP2 = ΔP = 0,81.

Основні показники підігрівача ПДС-3

1.Ефективність ТО
2.Т-ра гріюч. пари, С
3.Початков. т-ра соку, С
4.Кінцева т-ра соку,

$$\begin{pmatrix} 1 & \varepsilon \\ 2 & tgr \\ 3 & tp \\ 4 & tk \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0.859 \\ 2 & 93 \\ 3 & 88.022 \\ 4 & 92.299 \end{pmatrix}$$

Підігрівач соку перед гарячим вапнуванням ПДС3б

Гріюча пара – пара із 4 корпусу ВУ *F = 160 m²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	222,96
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	93
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	92,299

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,7

Розрахунок кінцевої температури соку на виході із ТО

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 92,78*

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 0{,}415$$

$$tc = tgr - \Delta t = 92{,}585$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 110{,}344$$

$$q = \frac{Q}{F} = 0{,}693$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 3{,}492$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} \; if \; Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} \; othe. \end{cases}$$

*α10 = 2,043 * 10⁴.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,7*

*α1 = α10 * U = 1,43 * 10⁴*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}851$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}311 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}017$$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & if\ Re \geq 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & otherwise \end{cases}$$

*α2 = 8,72 * 10³.*

Коефіцієнт теплопередачі

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 46262 * 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} & if\ \delta n > 0 \\ Ko * \varphi & otherwise \end{cases} = 2{,}983 * 10^3$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 2{,}069$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}874.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 92{,}912.$$

Витрата пари

$$E4pd = 1{,}01 * Spd * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 0{,}15$$

PDC3bv4 = 0.

Основні показники підігрівача ПДС-2b

1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
2.Ефективність ТО
3.Т-ра гріюч. пари, С
4.Початков. т-ра соку, С
5.Кінцева т-ра соку, С
6.Гідравлічн. опір, Бар
7.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & K \\ 2 & \varepsilon \\ 3 & tgr \\ 4 & tp \\ 5 & tk \\ 6 & \Delta P \\ 7 & PDC3bv4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2.983 \times 10^3 \\ 2 & 0.874 \\ 3 & 93 \\ 4 & 92.299 \\ 5 & 92.912 \\ 6 & 0.81 \\ 7 & 0 \end{pmatrix}$$

Підігрівач соку перед гарячим вапнуванням ПДС4

Гріюча пара – пара із 3 корпусу ВУ *F = 160 m²*

на чисту поверхню не використовується

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	222,96
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	93
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	93,912

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,5

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 92,98*

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 0{,}046$$

$$tc = tgr - \Delta t = 92{,}954$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 15{,}728$$

$$q = \frac{Q}{F} = 0{,}099$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \ \rho1(tgr) * v(tgr)} = 0{,}498$$

$$\alpha10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \ \rho1(tgr) * \ r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * \ Rek^{0{,}053} \ if \ Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \ \mathrm{Pr}(tgr)^{-0{,}5} * \ (Rek^{0{,}75} - 89)} * \ \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} \ othe. \end{cases}$$

*α10 = 3,526 * 10⁴.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,5*

*α1 = α10 * U = 1,763 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * \ dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}851$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}318 \ * \ 10^5$$

$$\xi t = \ (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}017$$

$$\alpha2 = \begin{cases} 0{,}023 * \ Re^{0{,}8} * \ Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \ \ if \ Re \geq 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \ \ otherwise \end{cases}$$

*α2 = 8,739 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha1^{-1} + \ \alpha2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 4{,}522 \ * \ 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} \ \ if \ \delta n \ > 0 \ \ = 2{,}261 \ * \ 10^3 \\ Ko * \ \varphi \ \ otherwise \end{cases}$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * \ 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 1{,}568$$

$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}791.$

Температура соку на виході із ТО

$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 92{,}98.$

PDC4v3 = 0.

Основні показники роботи ТО ПДС-3

.
1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
2.Ефективність ТО
3.Т-ра гріюч. пари, С
4.Початков. т-ра соку, С
5.Кінцева т-ра соку, С
6Гідравлічн. опір, Бар
7.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & K \\ 2 & \varepsilon \\ 3 & tgr \\ 4 & tp \\ 5 & tk \\ 6 & \Delta P \\ 7 & PDC4v3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2.261 \times 10^3 \\ 2 & 0.791 \\ 3 & 93 \\ 4 & 92.912 \\ 5 & 92.982 \\ 6 & 1.247 \\ 7 & 0 \end{pmatrix}$$

ΣΔP = ΔP1 + ΔP2 + ΔP3 = 3,27

t1sat = 92

Підігрівач перед 1 фільтрацією ПП1Ф

Гріюча пара – пара із 3 корпусу ВУ *F = 160 м²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	184,5
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	93
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	86,5

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,8

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 92*

F = 159,245

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 2{,}938$$

$$tc = tgr - \Delta t = 90{,}062$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 1{,}044 * 10^3$$

$$q = \frac{Q}{F} = 6{,}557$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 33{,}047$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} \; if \; Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} \; othe. \end{cases}$$

*α10 = 1,088 * 10⁴.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,5*

*α1 = α10 * U = 5,439 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}529$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}047 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}018$$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \; if \; Re \geq 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \; otherwise \end{cases}$$

*α2 = 7,379 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 2{,}707 * 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} & if\ \delta n > 0 \quad = 2{,}166 * 10^3 \\ Ko * \varphi & otherwise \end{cases}$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 1{,}817$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}837.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 91{,}943.$$

Витрата пари на підігрівник перед 1 фільтрац.

$$E4p1f = 1{,}01 * S2s * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 1{,}101$$

δtn = tgr – tk = 1,057.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 86,5; tk = 91,943*

Tp1fp = tp; Tp1fk = tk; ΔTp1f = tk – tp = 5,443; PP1Fv3 = E4p1f.

Основні показники роботи ТО ПП1Ф

1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К	1	K	1 2.166 × 10^3
2.Ефективність ТО	2	ε	2 0.837
3.Т-ра гріюч. пари, С	3	tgr	3 93
4.Початков. т-ра соку, С	4	tp	4 86.5
5.Кінцева т-ра соку, С	5	tk	5 91.943
6.Тепловидптність, кВт	6	Q	6 1.044 × 10^3
7.Витрата пари, %	7	PP1Fv3	7 1.101

Підігрівач перед 2 сатурацією П2Сат

Гріюча пара – пара із 3 корпусу ВУ *F = 160 m²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	184,305
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °C	96,5
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °C	86,5

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,8

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 95,4*

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 4{,}032$$

$$tc = tgr - \Delta t = 92{,}468$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 1{,}689 * 10^3$$

$$q = \frac{Q}{F} = 10{,}608$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 55{,}919$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} \; if \; Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} \; othe. \end{cases}$$

*α10 = 9,638 * 10³.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,8*

*α1 = α10 * U = 7,711 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}53$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}082 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}018$$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & if\ Re \geq 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} & otherwise \end{cases}$$

*α2 = 7,482 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 3{,}191 * 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} & if\ \delta n > 0 \quad = 2{,}553 * 10^3 \\ Ko * \varphi & otherwise \end{cases}$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 2{,}142$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-N} \quad = 0{,}883.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 95{,}326.$$

Витрата пари на підігрівник соку перед 2 сатур.

$$E32s = 1{,}01 * S2s * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 1{,}792$$

δtn = tgr – tk = 1,174.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 86,5; tk = 95,326*

Tc2p = tp; Tc2k = tk; ΔTc2 = tk – tp = 8,826; E32s = 1,792; P2Cv3 = E32s.

Основні показники роботи ТО перед 2 сатурацією ПП2С

1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
2.Ефективність ТО
3.Т-ра гріюч. пари, С
4.Початков. т-ра соку, С
5.Кінцева т-ра соку, С
6.Тепловидптність, кВт
7.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & K \\ 2 & \varepsilon \\ 3 & tgr \\ 4 & tp \\ 5 & tk \\ 6 & Q \\ 7 & P2Cv3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2.553 \times 10^3 \\ 2 & 0.883 \\ 3 & 96.5 \\ 4 & 86.5 \\ 5 & 95.326 \\ 6 & 1.689 \times 10^3 \\ 7 & 1.792 \end{pmatrix}$$

Система підігрівачів перед випарною установкою

Підігрівач перед ВУ 1 групи ПВУ1

Гріюча пара – пара із 3 корпусу ВУ *F = 160 m²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	184,23
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	103
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	89

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46

3.	*Довжина труби*	*L,* м	3,5
	- внут. діаметр т-нної труби	*dv,* м	0,03
	-зовн. діаметр т-нної труби	*dz,* м	0,033
	- товщина стінки труби	*δs,* м	0,0015
	- середній діаметр т-нної труби	*dc,* м	0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,85

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 107,0*

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 5{,}834$$

$tc = tgr - \Delta t = 97{,}166$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 2{,}338 * 10^3$$

$$q = \frac{Q}{F} = 14{,}679$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \ \rho1(tgr) * v(tgr)} = 83{,}25$$

$$\alpha10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \ \rho1(tgr) * \ r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * \ Rek^{0{,}053} \ if \ Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \ \mathrm{Pr}(tgr)^{-0{,}5} * \ (Rek^{0{,}75} - 89)} * \ \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} \ othe. \end{cases}$$

*α10 = 8,997 * 10³.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,7*

*α1 = α10 * U = 6,298 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * \ dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}534$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}157 \ * \ 10^5$$

$$\xi t = \ (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}017$$

$$\alpha2 = \begin{cases} 0{,}023 * \ Re^{0{,}8} * \ Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \ \ if \ Re \geq 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \ \ otherwise \end{cases}$$

*α2 = 7,695 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha1^{-1} + \ \alpha2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 2{,}952 \ * \ 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} \ \ if \ \delta n \ > 0 \ \ = 2{,}509 \ * \ 10^3 \\ Ko * \ \varphi \ \ otherwise \end{cases}$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 2{,}103$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-NT} = 0{,}878.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 101{,}29.$$

Витрата пари на підігрівник соку перед ВУ1 групи

$$E3pvu = 1{,}01 * Spvu * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 2{,}518$$

δtn = tgr – tk = 1,71.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 89; tk = 101,29*

Tpvu1p = tp; Tpvu1k = tk; ΔTpvu1 = tk – tp = 12,29; E3pvu = 2,518; PVU1v3 = E3pvu.

Основні показники підігрівача ПВУ-1

1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
2.Ефективність ТО
3.Т-ра гріюч. пари, С
4.Початков. т-ра соку, С
5.Кінцева т-ра соку, С
6.Тепловидптність, кВт
7.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & K \\ 2 & \varepsilon \\ 3 & tgr \\ 4 & tp \\ 5 & tk \\ 6 & Q \\ 7 & PVU1v3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2.509 \times 10^3 \\ 2 & 0.878 \\ 3 & 103 \\ 4 & 89 \\ 5 & 101.29 \\ 6 & 2.338 \times 10^3 \\ 7 & 2.518 \end{pmatrix}$$

Підігрівач перед ВУ 2 групи ПВУ2

Гріюча пара – пара із 2 корпусу ВУ *F = 160 m²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	184,23
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	107,8
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	101,29

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46
3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,8

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 107,0*

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 2{,}724$$

$$tc = tgr - \Delta t = 105{,}076$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 1{,}088 * 10^3$$

$$q = \frac{Q}{F} = 6{,}833$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 40{,}579$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} & if\ Re \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} & othe. \end{cases}$$

*α10 = 1,129 * 10⁴.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,69*

*α1 = α10 * U = 7,791 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}543$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}274 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}017$$

$$\alpha 2 = \begin{cases} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \dfrac{\lambda c(tc)}{dv} & if\ Re \geq 10000 \\ \left[\dfrac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \dfrac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\dfrac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\dfrac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \dfrac{\lambda c(tc)}{dv} & otherwise \end{cases}$$

*α2 = 8,02 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 3{,}3 * 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \dfrac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} & if\ \delta n > 0 \quad = 2{,}64 * 10^3 \\ Ko * \varphi & otherwise \end{cases}$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 2{,}206$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} = 0{,}89.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 107{,}083.$$

Витрата пари на підігрівник соку перед ВУ3 групи

$$E2pvu = 1{,}02 * Spvu * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 1{,}197$$

δtn = tgr – tk = 0,717.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 101,29; tk = 107,083*

Tpvu2p = tp; Tpvu2k = tk; ΔTpvu2 = tk – tp = 5,793; E2pvu = 1,197; PVU2v2 = E2pvu.

Основні показники підігрівника ПВУ-2

1.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
2.Ефективність ТО
3.Т-ра гріюч. пари, С
4.Початков. т-ра соку, С
5.Кінцева т-ра соку, С
6.Тепловидптність, кВт
7.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & K \\ 2 & \varepsilon \\ 3 & tgr \\ 4 & tp \\ 5 & tk \\ 6 & Q \\ 7 & PVU2v2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 2.64 \times 10^3 \\ 2 & 0.89 \\ 3 & 107.8 \\ 4 & 101.29 \\ 5 & 107.083 \\ 6 & 1.088 \times 10^3 \\ 7 & 1.197 \end{pmatrix}$$

Підігрівач перед ВУ 3 групи ПВУ3

Гріюча пара – пара із 1 корпусу ВУ *F = 160 m²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	167,73
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	120,5
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	107,5

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46

3.	*Довжина труби*	*L,* м	3,5
	- внут. діаметр т-нної труби	*dv,* м	0,03
	-зовн. діаметр т-нної труби	*dz,* м	0,033
	- товщина стінки труби	*δs,* м	0,0015
	- середній діаметр т-нної труби	*dc,* м	0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,85

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 120*

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 3{,}837$$

$$tc = tgr - \Delta t = 116{,}663$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 2{,}179 * 10^3$$

$$q = \frac{Q}{F} = 13{,}681$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \ \rho1(tgr) * v(tgr)} = 92{,}065$$

$$\alpha10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \ \rho1(tgr) * \ r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * \ Rek^{0{,}053} \ if \ Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \ \mathrm{Pr}(tgr)^{-0{,}5} * \ (Rek^{0{,}75} - 89)} * \ \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} \ othe. \end{cases}$$

*α10 = 9,603 * 10³.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,8*

*α1 = α10 * U = 7,682 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * \ dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}417$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}321 \ * \ 10^5$$

$$\xi t = \ (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}017$$

$$\alpha2 = \begin{cases} 0{,}023 * \ Re^{0{,}8} * \ Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \ \ if \ Re \geq 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8}\right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L}\right)^{0{,}666}\right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8}\right)^{0{,}5}}\right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \ \ otherwise \end{cases}$$

*α2 = 7,863 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha1^{-1} + \ \alpha2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s}\right)^{-1} = 3{,}254 * \ 10^3$$

$$K = \begin{cases} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n}\right)^{-1} \ \ if \ \delta n \ > 0 \ \ = 2{,}766 \ * \ 10^3 \\ Ko * \ \varphi \ \ otherwise \end{cases}$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * \ 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 2{,}527$$

$\varepsilon = 1 - e^{-NT} = 0{,}92.$

Температура соку на виході із ТО

$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 119{,}461.$

Витрата пари на підігрівник соку перед ВУ4

$$E1pvu = 1{,}02 * Spvu * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 2{,}547$$

δtn = tgr – tk = 1,039.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 107,5; tk = 119,461*

Tpvu3p = tp; Tpvu3k = tk; ΔTpvu3 = tk – tp = 11,961; E1pvu = 2,547; PVU3vr1 = E1pvu.

Основні показники підігрівача ПВУ-3

1.Поверхня теплообміну, м2
2.Витрата соку, т/год
3.Швидкість соку в трубах,м/с
4.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
5.Ефективність ТО
6.Т-ра гріюч. пари, С
7.Початков. т-ра соку, С
8.Кінцева т-ра соку, С
9.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & F \\ 2 & G \\ 3 & w \\ 4 & K \\ 5 & \varepsilon \\ 6 & tgr \\ 7 & tp \\ 8 & tk \\ 9 & PVU3v1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 159.245 \\ 2 & 167.73 \\ 3 & 1.417 \\ 4 & 2.766 \times 10^3 \\ 5 & 0.92 \\ 6 & 120.5 \\ 7 & 107.5 \\ 8 & 119.461 \\ 9 & 2.547 \end{pmatrix}$$

Підігрівач перед ВУ 4 групи ПВУ4

Гріюча пара – пара ретурна ВУ *F = 160 m²*

1.	*Витрата соку*	*G,* т/год	167,73
2.	*Температура нагрівної пари*	*tgr,* °С	122,5
3.	*Початкова температура дифузійного соку*	*tp,* °С	119,461

Геометричні параметри теплообмінника

1.	*Число секцій теплообмінника*	*z*	10
2.	*Число труб в одному ході теплообмінника*	*nz*	46

3.	*Довжина труби* *- внут. діаметр т-нної труби* *-зовн. діаметр т-нної труби* *- товщина стінки труби* *- середній діаметр т-нної труби*	*L,* м *dv,* м *dz,* м *δs,* м *dc,* м	3,5 0,03 0,033 0,0015 0,032
4.	*Коефіцієнт використання поверхні теплообміну*	*φ,*	0,75

Задаємося температурою соку на виході із ТО: *tk = 122,0*

$$\Delta t = \frac{tk - tp}{\ln\left(\left(\frac{tgr - tp}{tgr - tk}\right)\right)} = 1{,}407$$

$$tc = tgr - \Delta t = 121{,}093$$

$$Q = \frac{G * Cpc(tc) * (tk - tp)}{3{,}6} = 443{,}344$$

$$q = \frac{Q}{F} = 2{,}784$$

$$Rek = q * \frac{L}{r(tgr) * \rho 1(tgr) * v(tgr)} = 19{,}111$$

$$\alpha 10 = \begin{cases} 0{,}925 * \left[\left(\frac{\lambda(tgr)^3 * \rho 1(tgr) * r(tgr) * 9{,}81}{v(tgr) * L * q}\right)^{0{,}3333}\right] * Rek^{0{,}053} \; if \; Re \leq 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 * \Pr(tgr)^{-0{,}5} * (Rek^{0{,}75} - 89)} * \lambda(tgr) * \left(\frac{9{,}81}{v(tgr)^2}\right)^{0{,}333} \; othe. \end{cases}$$

*α10 = 1,508 * 10⁴.*

Коефіцієнт, що враховує вплив газів на тепловіддачу при конденсації: *U = 0,5*

*α1 = α10 * U = 7,539 * 10³*

$$w = \frac{4 * G}{\rho c(tc) * 3{,}141 * dv^2 * nz * 3{,}6} = 1{,}422$$

$$Re = w * \frac{dv}{vc(tc)} = 1{,}389 * 10^5$$

$$\xi t = (1{,}82 * \log(Re) - 1{,}64)^{-2} = 0{,}017$$

$$\alpha 2 = \left| \begin{array}{l} 0{,}023 * Re^{0{,}8} * Prc(tc)^{0{,}4} * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \quad if\ Re \geq 10000 \\ \left[\frac{\left[(Re - 1000) * Prc(tc) * \frac{\xi t}{8} \right] * \left[1 + \left(\frac{dv}{L} \right)^{0{,}666} \right]}{1 + 12{,}7 * (Prc(tc)^{0{,}666} - 1) * \left(\frac{\xi t}{8} \right)^{0{,}5}} \right] * \frac{\lambda c(tc)}{dv} \quad otherwise \end{array} \right.$$

*α2 = 8,031 * 10³.*

$$Ko = \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda s} \right)^{-1} = 3{,}256 * 10^3$$

$$K = \left| \begin{array}{l} \left(Ko^{-1} + \frac{\delta n}{\lambda n} \right)^{-1} \quad if\ \delta n > 0 \quad = 2{,}442 * 10^3 \\ Ko * \varphi \quad otherwise \end{array} \right.$$

$$NTU = K * \frac{F * 3{,}6 * 10^{-3}}{G * Cpc(tc)} = 2{,}227$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-NT} = 0{,}892.$$

Температура соку на виході із ТО

$$tk = tp + (tgr - tp) * \varepsilon = 122{,}172.$$

Витрата пари на підігрівник соку перед ВУ4

$$ERpvu = 1{,}02 * Spvu * Cpc(tc) * \frac{tk - tp}{r(tgr)} = 0{,}58$$

δtn = tgr – tk = 1,039.

Початкова та кінцева температура соку: *tp = 119,461; tk = 122,172*

Tpvu4p = tp; Tpvu4k = tk; ΔTpvu4 = tk – tp = 2,711; ERpvu = 2,711; PVU3vr = ERpvu.

Основні показники підігрівача ПВУ-4

1.Т-ра гріюч. пари, С
2.Початков. т-ра соку, С
3.Кінцева т-ра соку, С
4.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & tgr \\ 2 & tp \\ 3 & tk \\ 4 & ERpvu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 122.5 \\ 2 & 119.461 \\ 3 & 122.172 \\ 4 & 0.58 \end{pmatrix}$$

Основні показники підігрівача ПВУ-4

1.Поверхня теплообміну, м2
2.Число труб в одному ході, шт
3. Число ходів, шт
4.Довжина труб, м
5.Витрата соку, т/год
6.Швидкість соку в трубах,м/с
7.Коеф.загазованості гріюч.камери
8.Товщина накипу, або коефіц.викор.
9.Коефіц. теплопередачі, Вт/м2 К
10.Ефективність ТО
11.Т-ра гріюч. пари, С
12.Початков. т-ра соку, С
13.Кінцева т-ра соку, С
14Недогрів до т-ри пари, С
15.Степінь нагрівання соку, С
16.Тепловидптність, кВт
17.Витрата пари, %

$$\begin{pmatrix} 1 & F \\ 2 & nz \\ 3 & z \\ 4 & L \\ 5 & G \\ 6 & w \\ 7 & U \\ 8 & \phi \\ 9 & K \\ 10 & \varepsilon \\ 11 & tgr \\ 12 & tp \\ 13 & tk \\ 14 & \delta tn \\ 15 & \Delta Tpvu3 \\ 16 & Q \\ 17 & ERpvu \end{pmatrix} =$$

	0	1
0	1	159.245
1	2	46
2	3	10
3	4	3.5
4	5	167.73
5	6	1.422
6	7	0.5
7	8	0.75
8	9	$2.442 \cdot 10^3$
9	10	0.892
10	11	122.5
11	12	119.461
12	13	122.172
13	14	0.328
14	15	11.961
15	16	443.344
16	17	0.58

Результуюча таблиця навантажень теплообмінників та їхнього температурного режиму

Найменув. споживача пари	*Витрата соку; %,S*	*Поч. т-ра соку* tp,C	*Кінц. т-ра соку;* tk, C	*Різн. т-тур* ΔT,C	*Витрата пари,* %,D	*Витрата соку;* %, S	*Поч. т-ра соку* tp,C	*Кінц. т-ра соку;* tk, C	*Різн. т-тур* ΔT,C	*Витрата пари,* %, D

0 П-гр ПДС-2	Spd	Tdif5p	Tdif5k	ΔTdif5	E5pd	=	148.64	73.023	88.022	14.998	3.654
1 П-гр ПДС 1 групи	Spd	Tdif1p	Tdif1k	ΔTdif1	0		148.64	62.266	73.023	10.757	0
2 П-гр ПДС 3 групи	Spd	Tdif4p	Tdif4k	ΔTdif4	PDC3v4		148.64	88.022	92.299	4.278	1.046
5.П-гр ПП 1 фільтр	Sp1f	Tp1fp	Tp1fk	ΔTp1f	PP1Fv3		123	86.5	91.943	5.443	1.101
6.П-гр П2сат.	S2s	Tc2p	Tc2k	ΔTc2	P2Cv3		122.87	86.5	95.326	8.826	1.792
7.П-гр ПВУ 1 гр.	Spvu	Tpvu1p	Tpvu1k	ΔTpvu1	PVU1v3		122.82	89	101.29	12.29	2.518
8.П-гр ПВУ-2 гр..	Spvu	Tpvu2p	Tpvu2k	ΔTpvu2	PVU2v2		122.82	101.29	107.083	5.793	1.197
9.П-гр ПВУ 3 гр.	Spvu1	Tpvu3p	Tpvu3k	ΔTpvu3	PVU3v1		111.82	107.5	119.461	11.961	2.547
10.П-гр ПВУ 4 гр.	Spvu1	Tpvu4p	Tpvu4k	ΔTpvu4	ERpvu		111.82	119.461	122.172	2.711	0.58

Інші споживачі сокової пари випарної установки

Витрата пари на нагрівання барометричної води, ПКП

1.	*Витрата барометричної води*	*Sbv*	0
2.	*Витрата конденсату*	*Skond*	45
3.	*Початкова т-ра барометричної води*	*tvp*	57
4.	*Т-ра конденсату*	*tkon1*	66,946
5.	*Т-ра нагрівної пари*	*tgr*	84

tvk = 65

$r(t) = (2503{,}91 - 2{,}498 * tgr + 2{,}07 * 10^{-3} * tgr^2 - 1{,}823 * 10^{-5} * tgr^3) = 2{,}298 * 10^3$

$I = r(tgr) + 4{,}19 * tgr = 2{,}65 * 10^3$

$$Dpkp1 = \frac{Sbv * [(tvk - tvp) * 4{,}2] + Skond * 4{,}2 * (tvk - tkon1)}{I - 4{,}2 * tvk} = -0{,}155$$

$$Dpkp = \begin{cases} Dpkp1 \ if \ Dpkp1 \geq 0 & = 0. \\ 0 \ otherwise \end{cases}$$

Витрата пари на нагрівання жомопресової води

1.	*Початкова т-ра жомопресової води*	*tzpro*	60
2.	*Кінцева т-ра жомопресової води*	*tzprk*	72
3.	*Витрата жомопресової води*	*Szpr, %*	50
4.	*Витрата пари на підігрівач жомопресової води*	*Dzpr, %*	0,981

Cpc(tzpr) = 3,685

$$Dzpr = Szpr * Cpc(tzpr) * \frac{(tzprk - tzpro) * 1{,}02}{r(t3)}\ 0{,}981.$$

Витрата пари на вакуум-апарати

1.	*Концентрація сиропу (задається з подальшим уточненням)*	*CPsir*	62,0
2.	*Витрата сиропу з ВУ після 5 корпусу*	*Ssir, %*	32,151
3.	*Витрата сиропу з ВУ після 5 корпусу з клеровкою жовтого цукру*	*Ssiro, %*	40,2
4.	*Концентрація сиропу з ВУ після клерування сиропом (задається з подальшим уточненням)*	*CPsiro*	70,2

Сокові (водні) підкачки		
1.	*wvp1*	0,1
2.	*wvp2*	0,2
3.	*wvp3*	0,5

Витрата пари на В/А 1 продукту:

$$Wva1 = \left[Ssiro * \left(1 - \frac{CPsiro}{92{,}5}\right) + Spb1 * \left(1 - \frac{CPpb1}{92{,}5}\right)\right] * 1{,}07 + wvp1 = 11{,}292.$$

Витрата пари на В/А 2 продукту:

$$Wva2 = \left[Spz1 * \left(1 - \frac{CPzp1}{93{,}5}\right)\right] * 1{,}07 + wvp2 = 1{,}41.$$

Витрата пари на В/А 3 продукту:

$$Wva3 = \left[Spz2 * \left(1 - \frac{CPpz2}{94}\right)\right] * 1{,}07 + wvp3 = 1{,}191.$$

Витрата пари на калорифер сушарки, сиропні та паточні ящики. (гріюча пара – сокова пара 1 корпусу ВУ) *(приймається без розрахунку)*			
1.	*Витрата пари на калорифер сушарки*	*Dks*	0,3
2.	*Підігрівач паток*	*Dpatok*	0,2

Навантаження на нагрівання сиропу + клеровка

$r(t) = 2503,91 – 2,498 * t + 2,07 * 10^{-3} * t^2 – 1,823 * 10^{-5} * tgr^3 = 2,246 * 10^3$

1.	*Сироп з ВУ*	*Ssir*	32,151
2.	*Сироп з клеровкою після клерування жовтого цукру сиропом з ВУ*	*Ssiro*	40,8

$$Esirop = (Ssiro) * 3,1 * \frac{(90 - 78)}{r(t3)} = 0.$$

Визначення навантажень корпусів ВУ

Вихід пари на конденсатор

Вихід пари на конденсатор	*Dk*	0,15

Перепуск пари з 2 на 3

ΔEper = 0.

Відбори вторинної пари з корпусів випарної установки без врахування пари самовипаровування

E1 = PVU3v1 + Dks = 2,847

E2 = PVU2v2 + E2dif + ΔEper + Dpatok + Esirop = 2,445

E3 = E3dif + PP1Fv3 + PDCv3 + Dzpr + PVU1v3 + P2Cv3 – ΔEper = 8,839

E3o = Wva1 + Wva2 + Wva3 =13,893

E4 = PDC3v4 = 1,046

E5 = Dk + Dpkp + E5pd = 3,804.

Величини парів самовипаровування (уточнюються після перерахунку)	*e1*	0,402
	e2	0,925
	e3	1,2
	e4	0,665
	e5	0

Навантаження корпусів випарної установки

W5 = E5 = 3,804

W4 = (W5 + E4) – e4 = 4,185

W3 = (W4 + E3) – e3 = 11,824

W3o = E3o = 13,893

W2 = (W3 + E2 +W3o) – e2 = 27,237

W1 = (W2 + E1) – e1 = 29,682.

Визначення фактичних величин парів самовипаровування

(Перший індекс – номер корпусу (сокової пари), куди направлена відтяжка.

Другий індекс – номер корпусу (сокової пари), з якого перетікає конденсат)

Конденсат 1к, що поверт. із ТЕЦ

*Gv = 0,6 * W1 = 17,809*

$$e1p = W1 * 4{,}2 * \frac{tret - t1}{r(t1)} = 0{,}397$$

$$e2p = (W1 - e1p) * 4{,}2 * \frac{t1 - t2}{r(t2)} = 0{,}455$$

$$e3p = (W1 - e1p - e2p) * 4{,}2 * \frac{t2 - t3}{r(t3)} = 0{,}555$$

$$e21 = (W2 + E2) * 4{,}2 * \frac{t1 - t2}{r(t2)} = 0{,}461$$

$$e31 = (W2 + E2 - e21) * 4{,}2 * \frac{t2 - t3}{r(t3)} = 0{,}563$$

ep = e1p + e2p + e3p = 1,407.

Охол. конденсату на 9 °С

$$e32 = (W3 + E2 + W3o) * 4{,}19 * \frac{(t2 - t3) - 9}{r(t3)} = 0{,}068$$

$$e42 = (W3 + E2 - e32 + W3o) * 4{,}19 * \frac{(t2 - t3)}{r(t4)} = 0{,}312$$

$$e43 = (W4 + E3) * 4{,}19 * \frac{t3 - t4}{r(t4)} = 0{,}145$$

$$e4v = Gv * 4{,}2 * \frac{t3 - t4}{r(t4)} = 0{,}198.$$

Фактичні значення парів самовипаровування

e1 = e1p = 0,397

e2 = e2p + e21 = 0,916

e3 = e32 + e3p + e31 =1,186

e4 = e42 + e43 + e4v = 0,655.

Продуктивність випарної установки по випареній волозі

*W = (E1 – e1) + 2 * (E2 – e2) + 3 * (E3 – e3) + 4 * (E4 – e4) + 5 * (E5) + 3 * E3o = =90,726.*

Фактичні навантаження корпусів випарної установки

W3o = E3o = 13,893

W5 = E5 = 3,804

W4 = (W5 + E4) – e4 = 4,194

W3 = (W4 + E3) – e3 = 11,847

W2 = (W3 + E2 +W3o) – e2 = 27,27

W1 = (W2 + E1) – e1 = 29,719

Витрата сиропу з ВУ на клерування:

$$SsirVU = Spvu - W = 32{,}094.$$

Концентрація сиропу з ВУ на клерування: *Spvu = 122,82*

$$CPsirVU = CPpvu * \frac{Spvu}{Spvu - W} = 62{,}11.$$

Клеровка жовтого цукру сиропом

Концентрація сиропу з клеровкою	*Szcax*	8,8

$$CPsir = \frac{SsirVU * CPsirVU + 98 * Szcax}{Szcax + SsirVU} = 69{,}833.$$

Сироп з клеровкою

$$Ssiro = Spvu * \left(\frac{CPpvu}{CPsirVU}\right) + Szcax * 0{,}98 = 40{,}718.$$

Концентрації сиропу з корпусів випарної установки

Spvu1 = Spvu – W3o = 108,927

CPpvu = 16,23

$$CPpvu1 = CPpvu * \frac{Spvu}{Spvu - W3o} = 18{,}3$$

$$CP1 = CPpvu * \frac{Spvu1}{Spvu1 - W1} = 25{,}166$$

$$CP2 = CPpvu1 * \frac{Spvu1}{Spvu1 - W1 - W2} = 38{,}379$$

$$CP3 = CPpvu1 * \frac{Spvu1}{Spvu1 - W1 - W2 - W3} = 49{,}72$$

$$CP4 = CPpvu1 * \frac{Spvu1}{Spvu1 - W1 - W2 - W3 - W4} = 55{,}529$$

$$CP5 = CPpvu1 * \frac{Spvu1}{Spvu1 - W1 - W2 - W3 - W4 - W5} = 62{,}11.$$

S1p = Spvu1 = 108,927
S1k =Spvu1 – W1 = 79,208
S2p = S1k = 79,208
S2k = S2p – W2 = 51,939
S3p = S2k = 51,939
S3k = S3p – W3 = 40,092
S4p = S3k = 40,092
S4k = S4p – W4 = 35,898
S5p = S4k = 35,898
S5k = S5p – W5 = 32,094

CP1p = CPpvu = 16,23
CP1k = CP1 = 25,166
CP2p = CP1 = 25,166
CP2k = CP2 = 38,379
CP3p = CP2 = 38,379
CP3k = CP3 = 49,72
CP4p = CP3 = 49,72
CP4k = CP4 = 55,529
CP5p = CP4 = 55,529
CP5k = CP5 = 62,11

$$Ddogr = Spvu1 * Cpc(t1) * \frac{t1 - tvpvu + 0{,}2}{r(t1)} = 0{,}098.$$

Розподіл паровідборів із корпусів випарної установки

Найменування споживача пари	№ корпусу випарної установ.				
1.Підігр. ПДС 2 гру	0	0	0	0	E5pd
2.Підігр. ПДС 3 гру	0	0	0	PDC3v4	0
3.Підігр. ПП 1 філь	0	0	PP1Fv3	0	0
4.Підігр. П2Сат	0	0	P2Cv3	0	0
5.Підігр. ПВУ 1 гр	0	0	PVU1v3	0	0
6.Підігр. ПВУ 2 гр	0	PVU2v2	0	0	0
7.Підігр. ПВУ 3 гр	PVU3v1	0	0	0	0
8.Підігр. ПКП	0	0	0	Dpkp	0
9.Диф. установка	0	Ddif2	0	0	0
10.Диф. установка	0	0	Ddif3	0	0
11.Вак-апар. 1 прод.	0	0	Wva1	0	0
12.Вак-апар. 2 прод.	0	0	Wva2	0	0
13.Вак-апар. 3 прод.	0	0	Wva3	0	0
14.Сиропні ящики	0	0	0	0	0
15.Калор. сушки	Dks	0	0	0	0
16.Під. жом.прес.	0	0	Dzpr	0	0
8 Конденсатор	0	0	0	0	Dk
17.Паточні ящики	0	Dpatok	0	0	0
18.Пари самовип.	e1	e2	e3	e4	0

=

№ корпусу випарної уст.	1k	2k	3k	4k	5k
	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	3.654
1	0	0	0	1.046	0
2	0	0	1.101	0	0
3	0	0	1.792	0	0
4	0	0	2.518	0	0
5	0	1.197	0	0	0
6	2.547	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	1.048	0	0	0
9	0	0	2.446	0	0
10	0	0	11.292	0	0
11	0	0	1.41	0	0
12	0	0	1.191	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0.3	0	0	0	0
15	0	0	0.981	0	0
16	0	0	0	0	0.15
17	0	0.2	0	0	0
18	0.397	0.916	1.186	0.655	0
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

Витрати соку по випарним апаратам, концентрації та парові навантаження

Найменування розрахунків. величин	№ корпусу випарної устан. 1k	2k	3k	4k	5k	№ корпусу випарної установки 3o
1.Витрата соку на ВА	Spvu1	S2p	S3p	S4p	S5p	Spvu
2.Витрата соку із ВА	S1k	S2k	S3k	S4k	S5k	Spvu1
3.Конц. соку..на ВА	CPpvu1	CP2p	CP3p	CP4p	CP5p	CPpvu
4.Конц.. соку із ВА	CP1k	CP2k	CP3k	CP4k	CP5k	CPpvu1
5.Випар. волога	W1	W2	W3	W4	W5	W3o

=

1k	2k	3k	4k	5k	3o
108.927	79.208	51.939	40.092	35.898	122.82
79.208	51.939	40.092	35.898	32.094	108.927
18.3	25.166	38.379	49.72	55.529	16.23
25.166	38.379	49.72	55.529	62.11	18.3
29.719	27.27	11.847	4.194	3.804	13.893

W = 90,726	*CPpvu = 16,23*	*Ssir = 32,151*	*CPsir = 69,833*

$\Sigma kp = W1 + ERpvu + Ddogr = 30,397$

$\Sigma k1 = W1 = 29,719$

$\Sigma k2 = W2 + E2pvu = 28,466$

$\Sigma k3 = W3 + W3o + Gv + \Sigma k2 = 72,015$

$\Sigma k4 = W4 + \Sigma k3 - e4 = 75,554.$

Розподіл конденсатів по збірникам

1. *Збірник конденсату ретурної пари (ЗК-Р)*

1.Із грiючої камери 1 корп. ВУ
2.Із грiючої камери ПВУ-4

$(W1 \quad \Sigma kp \quad 0) = (29.719 \quad 30.397 \quad 0)$

$ERpvu = 0.58$

В ТЕЦ із збірника ЗК-Р поступає конденсат: $Gkp = \Sigma kp - ep = 28,989.$

2. *Збірник конденсатів сокової пари 1 корп. ВУ (ЗК-1)*

1.Із грiючої камери 2 корп. ВУ
2.Із пiдiгрiвача ПВУ 3 групи
3. Із калориферів сушильн.устан.

$$\begin{pmatrix} W2 & \Sigma k1 & 0 \\ PVU3v1 & 0 & 0 \\ Dks & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 27.27 & 29.719 & 0 \\ 2.547 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

В ТЕЦ із збірника ЗК-1 поступає конденсат: $Gk1 = \Sigma k1 - e31 - e21 = 28,695.$

3. *Збірник конденсатів сокової пари 2 корп. ВУ (ЗК-2)*

1.Із грiючої камери 3 корп. ВУ
2.Із пiдiгрiвача ПВУ2 групи
3.Із гр кам 3о корп. ВУ

$$\begin{pmatrix} W3 & \Sigma k2 & e2 \\ E2pvu & 0 & 0 \\ W3o & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11.847 & 28.466 & 0.916 \\ 1.197 & 0 & 0 \\ 13.893 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

4. *Збірник конденсатів сокової пари 3 корп. ВУ (ЗК-3)*

$\Sigma k3 = W3 + Gv + \Sigma k2 + W3o = 72,015$

1.Із гріючої камери 4 корп. ВУ
2.' Із гр.кам ВА
3.Із підігр. 2 сатур
4.Із парових камер дифузії
5.Із збірника конденс ЗК-2
6.Із підігрівача перед 1 фільтр.
7.Із підігр. дифсоку 3 групи
8. Надлишки конденс. із ТЕЦ

$$\begin{pmatrix} W4 & \Sigma k3 & e3 \\ W3o & 0 & 0 \\ P2Cv3 & 0 & 0 \\ Ddif & 0 & 0 \\ \Sigma k2 & 0 & 0 \\ PP1Fv3 & 0 & 0 \\ PDC4v3 & 0 & 0 \\ Gv & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4.194 & 72.015 & 1.186 \\ 13.893 & 0 & 0 \\ 1.792 & 0 & 0 \\ 3.495 & 0 & 0 \\ 28.466 & 0 & 0 \\ 1.101 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 17.809 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

5. Збірник конденсатів сокової пари 4 корп. ВУ (ЗК-4)

$\Sigma k4 = W4 + \Sigma k3 - e3 = 75{,}554$

1.Із гріючої камери 5 корп. ВУ
2.Із підігрівача PDC2
3.Із збірника конденс ЗК-3

$$\begin{pmatrix} W5 & \Sigma k4 & e4 \\ PDC3v4 & 0 & 0 \\ \Sigma k3 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.804 & 75.023 & 0.655 \\ 1.046 & 0 & 0 \\ 72.015 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Із збірника ЗК-4 насос відкачує конденсату: $Gk4 = \Sigma k4 - e4 = 74{,}367.$

Питомі витрати пари на технологічний процес

$$r(t) = 2503{,}91 - 2{,}498 * t + 2{,}07 * 10^{-3} * t^2 - 1{,}823 * 10^{-5} * t^2 = 2{,}195 * 10^3$$

1.	Витрата пари на пропарку	Dprop	0,2
2.	Витрата пари на догрівання соку у 1 корпусі ВУ	DrPVU	0,649
3.	Витрата пари на завод, %	Dtex	31,162
4.	Ентальпія гріючої пари кДж/кг	Igr(t)	$2{,}719 * 10^3$
5.	Температура конденсату (середня), що поступає на ТЕЦ	tvoz1	105
6.	Температура в деаераторі	tvd	105

7.	Витрата теплоти на самовипаровування у деаераторі, %	Qcv	0
8.	Витрата пари на самовипаровування у деаераторі, %	Ddcv	0

$$DrPVU = ERpvu + Spvu * Cpc(t1) * \frac{t1 - tvpvu}{r(t1)} = 0{,}649$$

$$Dtex = 1{,}02 * W1 + Dprop + DrPVU = 31{,}162$$

$$Igr(t) = 4{,}193 * t + r(t) = 2{,}719 * 10^3$$

$$Qcv = (Gkp + 0{,}4 * Gk1) * 4{,}2 * (tvoz1 - tvd) = 0$$

$$Ddcv = \frac{Qcv}{r(tvd)} = 0.$$

Питома витрата умовного палива на переробку буряків % (без елект. енерг.):

$$Bv = (Dtex + Ddcv) * \frac{Igr(tret) - 4{,}2 * tvd}{\eta p * 29320} = 2{,}631.$$

Питома витрата теплоти на переробку буряків, МДж/т:

$$Qv = Bv * \frac{29300}{100} = 770{,}908.$$

Питома витрата газу на вироблення теплової енергії на переробку буряків m3/тонну (без елек. енерг.):

$$GgazTEX = Bv * \frac{10}{1{,}16} = 23{,}851.$$

Витрата пари на турбіну, *Dtur* на забезпечення

теплового навантаження %

Ентальпія перегрітої пари, що поступає на турбіну, *Inn = 3180,* кДж/кг при *P = 18* бар; *to = 375 °C.*

Коефіцієнт відносної витрати пари після ОУ, *you = 1,07.*

Витрата пари через турбіну для забезпечення теплового навантаження на технологію, *Dtur*, %:

$$Dtur = \frac{Dtex}{you} = 29{,}123.$$

Питома витрата умовного палива на вироблення теплової та електричної енергії парою, що поступає на технологічні потреби, *Btv, %*:

$$Btv = Dtur * \frac{Inn - 4{,}192 * tvd}{\eta p * 29320} = 2{,}958.$$

Питома витрата природнього газу на вироблення теплової та електричної енергії на технологічні потреби, m3/тонну:

$$Ggazt = \frac{Btv * 10}{1{,}15} = 25{,}723.$$

Витрата пари з котлів на турбоустановку на технологічні потреби, т/год:

$$Dkot = Dtur * \frac{A * 1{,}03}{24 * 100} = 44{,}995.$$

Вироблення електричної енергії парою, що поступає на технологічні потреби, кВт:

1.	*Ентальпія пари при ізоентальпійному розширенні до тиску 3,2 бар, кДж/кг*	*Ina*	2732
2.	*Відносний внутрішній ккд турбіни*	*ηoi*	0,72
3.	*Електромеханічний ккб турбіни*	*ηet*	0,93

$$N = Dkot * (Inn - Ina) * \eta oi * \eta et * \frac{1}{3{,}6} = 3{,}749 * 10^3.$$

Питома витрата гострої пари на вироблення електроенергії, кг/кВт год:

$$d = \frac{Dkot * 10^3}{N} = 12{,}001.$$

3.3.2. Розрахунок теплової схеми на основі ВУ з апаратами Роберта на головній частині та плівковими на хвостовій

Розрахунок температурного режиму ВУ

1 корпус ВУ (апарат Роберта)

	Задано:		
1.	*Потужність заводу*	*A, т/доб.*	3600
2.	*Навантаження (випарена волога)*	*W, %*	30,0
3.	*Температура гріючої пари (початок сезону)*	*tgr,*	129,5
4.	*Початкова концентрація соку*	*CPp, %*	18,3
5.	*Витрата соку*	*S, %*	*108,924*
6.	*Поверхня теплообміну*	*F, F1, м²*	2360
7.	*Довжина труб*	*L, м*	4,3
8.	*Висота п'єзометричного рівня*	*hp, %*	35
9.	*Температура соку на вході в апарат*	*tp, °C*	120
10.	*Товщина стінки труб*	*δs, м*	$1{,}5 * 10^{-3}$
11.	*Теплопровідність матеріалу труб*	*λst, Вт/м*	17
12.	*Доброякісність соку*	*Db, %*	92
	Задані значення:		
13.	*Температура вторинної пари початок сезону*	*tv*	122,5
14.	*Кратність циркуляції*	*Nzr*	2

$$CPk = S * \frac{CPp}{S - W} = 25{,}256 \qquad CPo = \frac{CPp}{Nzr} + CPk * \left(1 - \frac{1}{Nzr}\right) = 21{,}778$$

$$CPcp = \frac{CPo + CPk}{2} = 24{,}0.$$

ТФВ конденсату при *t1 = tgr – 2 = 127,5*

$$\nu(t) := \begin{cases} 1.43558 \cdot 10^{-6} - 2.7906 \cdot 10^{-8} \cdot t + 2.492 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 8.437 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.4451 \cdot 10^{-6} + 1.147 \cdot 10^{-10} \cdot t - 2.585 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 9.56 \cdot 10^{-14} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(t) := \begin{cases} 0.603 + 3.986 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2.467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1.68 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.61618 + 1.1062 \cdot 10^{-3} \cdot t - 4.375 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Cp(t) := \begin{cases} 4.2083 - 1.852 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2.703 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 7.29 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4.1676 - 8.286 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4.643 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.428 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$v(t1) = 2{,}376 * 10^{-7}$	$\lambda(t1) = 0{,}686$	$Cp(t1) = 4{,}262$

$$\rho 1(t) := 1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$Pr(t) := \left(9.175 - 0.154 \cdot t + 1.044 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) - 2.467 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$$

$$q := W \cdot \frac{r(tv) \cdot A}{(3.6 \cdot F) \cdot 2400}$$

$$Rek := q \cdot \frac{L}{r(tgr) \cdot \rho 1(t1) \cdot \nu(t1)}$$

$\rho 1(t1) = 936{,}039$	$r(t1) = 2{,}181 * 10^{-3}$	$Pr(t1) = 1{,}398$	$q = 11{,}628$	$Rek = 103{,}323$

$$\alpha 10 := \begin{cases} 0.925 \cdot \left(\frac{\lambda(t1)^3 \cdot \rho 1(t1) \cdot r(tgr) \cdot 9.81}{\nu(t1) \cdot L \cdot q}\right)^{0.3333} \cdot Rek^{0.053} & \text{if } Rek \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 \cdot Pr(tgr)^{-0.5} \cdot \left(Rek^{0.75} - 89\right)} \cdot \lambda(t1) \cdot \left(\frac{9.81}{\nu(t1)^2}\right)^{0.333} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\alpha 10 = 9{,}64 * 10^3$

$U = 0{,}9$

$\alpha 1 = U * \alpha 10 = 8{,}676 * 10^3$

$$LA(t) := \left[(t+100)^2 \cdot \left(7.5 \cdot 10^{-8} - 1.97 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp\right) + (t+100) \cdot \left(4.8 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp - 2.3 \cdot 10^{-5}\right)\right]$$

$$\lambda s(t) := \left(0.603 - \frac{28.73}{t+100}\right)^{0.5} + CPcp \cdot \left[\left(LA(t) - 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot CPcp\right) - 1.4 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 0.35$$

$$\sigma s(t) := \left[76 - 0.17 \cdot t + CPcp \cdot \left(5 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot Db - 0.34\right)\right] \cdot 10^{-3}$$

$$Cps(t) := 4187 - 4.187 \cdot CPcp \cdot (7.1 - 0.018 \cdot t - 0.011 \cdot Db)$$

$$PP(t) := (1563.77 - 0.6 \cdot t) \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right) - (182.5 + 0.1177 \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right)^{1.13} \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right)$$

$LA(tv) = -3{,}673 * 10^{-3}$	$\lambda s(tv) = 0{,}64$	$\sigma s(tv) = 0{,}058$	$Cps(tv) = 3{,}805 * 10^{3}$	$PP(tv) = 316{,}262$

$$\rho 1s(t) := \left(1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right) + PP(t)$$

$$B(t) := \left(0.6688 - \frac{98.4}{273.15 + t}\right)^{-1} + \left[2.357 \cdot 10^{12} \cdot (273.15 + t)^{-4.44} \cdot \left(\frac{1900 \cdot 100}{CPcp \cdot Db + 0.01} - 18\right)^{0.00245 \cdot (273.15 + t) - 1.771}\right]$$

$$\nu s(t) := 10^{-9} \cdot 10^{B(t)}$$

$$\Delta do := \begin{cases} \dfrac{CPcp}{109.7 - 1.9 \cdot CPcp} & \text{if } CPcp < 37 \\ \dfrac{CPcp}{62.655 - 0.695 \cdot CPcp} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta d(t) := \Delta do \cdot 0.01622 \cdot \frac{(273.15 + t)^2}{r(t)}$$

$\rho 1s(tv) = 1{,}035 * 10^{3}$	$B(tv) = 2{,}611$	$\nu s(tv) = 4{,}079 * 10^{-7}$	$\Delta d(tv) = 0{,}418$	$\Delta do = 0{,}362$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$\rho 2(t) := \begin{cases} -5.3326 \cdot 10^{-2} + 4.423 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8.826 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1.09 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ -1.255 + 0.041 \cdot t - 4.68 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$PS(t) := 2.086 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 - 8.76231 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 + 2.124 \cdot 10^{-14} \cdot t^8 - 2.2652 \cdot 10^{-17} \cdot t^9$$

$$P(t) := \left(22.0972 - 2.08711 \cdot t + 0.08665 \cdot t^2\right) - 2.0723 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3.151 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 3.1571 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 + PS(t)$$

$r(tv) = 2{,}195 * 10^{3}$	$\rho 2(tv) = 1{,}188$	$PS(tv) = 4{,}358 * 10^{3}$	$P(tv) = 2{,}142$

$$a := \frac{\lambda s(tv)}{\rho 1s(tv) \cdot Cps(tv)}$$

$$Lp := \sqrt{\frac{\sigma s(tv)}{9.81 \cdot (\rho 1(tv) - \rho 2(tv))}}$$

$$Pe := q \cdot \frac{Lp}{a \cdot \rho 2(tv) \cdot r(tv)}$$

$$Ga := 9.81 \cdot \frac{Lp^3}{\nu s(tv)^2} +$$

$$Kp := P(tv) \cdot \frac{Lp \cdot 10^5}{\sigma s(tv)}$$

$$\alpha 2 := 3.25 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0.6} \cdot Kp^{0.7} \cdot Ga^{0.125} \cdot \frac{\lambda s(tv)}{Lp}$$

$$K := \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda st}\right)^{-1}$$

$$\Delta Tkor := \frac{q \cdot 1000}{K}$$

$$\Delta P := P(tgr) - P(tv)$$

$$tkip := tgr - \Delta Tkor$$

*a = 1,624 * 10 -7*
*Lp = 2,512 * 10 -3*
Pe = 68,977
*Ga = 9,345 * 10^5*
*Kp = 9,254 * 10^3*
*α2 = 3,499 * 10^3*
*K = 2,044 * 10^3*
ΔTkor = 5,69
ΔP = 0,515
tkip = 123,81

$$GR(t) := \left(0.0135712 - 5.271 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8.88 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 7.826 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3.532 \cdot 10^{-10} \cdot t^4\right) - 6.445 \cdot 10^{-13} \cdot t^5$$

$$\Delta dGR := GR(tv) \cdot \rho 1s(tkip) \cdot 9.81 \cdot hp \cdot \frac{L}{300}$$

$$tv := tkip - \Delta dGR - \Delta d(tkip)$$

$$\Delta Tn := tgr - tv$$

$$\Delta dz := \Delta d(tkip) + \Delta dGR$$

*GR(tv) = 1,517 * 10 -4*	*ΔdGR = 0,772*	*tv = 122,616*	*ΔTn = 6,884*	*Δdz = 1,194*

tgr1 := tgr	Δd1GR := ΔdGR
tv1 := tv	Δd1z := Δdz
tkip1 := tkip	q1 := q
CPp1 := CPp	α12 := α2
CPk1 := CPk	K1 := K
ΔTn1 := ΔTn	Pgr1 := P(tgr)
ΔTkor1 := ΔTkor	Pv1 := P(tv)
Δd1 := Δd(tkip)	ΔP1 := ΔP
S1 := S	W1 := W

tgr1 = 129,5	*Δd1GR = 0,772*
tv1 = 122,616	*Δd1z = 1,194*
tkip1 = 123,81	*q1 = 11,628*
CPp1 = 18,3	*α12 = 3,449 * 10³*
CPk1 = 25,256	*K1 = 2,044 * 10³*
ΔTn1 = 6,884	*Pgr1 = 2,657*
ΔTkor1 = 5,69	*Pv1 = 2,15*
Δd1 = 0,422	*ΔP1 = 0,515*
S1 = 108,924	*W1 = 30*

Режимні параметри випарного апарата №1

Таблиця результатів розрахунку

1. Т-ра гріючої пари C
2. Т-ра сокової пари C
3. Т-ра кипіння
4. Початкова концентрація соку, %
5. Кінцева концентрація соку, %
6. Наявна різниця температур.
7. Корисна різниця температур.
8. Фіз-хім. температ.депресія
9. Гідрост. температ. депресія
10. Сумарна температ. депресія
11. Тепловий потік, кВт/м2
12. Коеф. тепловіддачі при кипінні
13. Коеф. теплопередачі
14. Тиск гріючої пари, бар
15. Тиск сокової пари, бар
16. Різниця тисків пари, бар
17. Витрата соку на ВА%

1	tgr
2	tv
3	tkip
4	CPp
5	CPk
6	ΔTn
7	ΔTkor
8	Δd(tkip)
9	ΔdGR
10	Δdz
11	q
12	α2
13	K
14	P(tgr)
15	P(tv)
16	ΔP
17	S

=

	0	1
0	1	129.5
1	2	122.616
2	3	123.81
3	4	18.3
4	5	25.256
5	6	6.884
6	7	5.69
7	8	0.422
8	9	0.772
9	10	1.194
10	11	11.628
11	12	$3.499 \cdot 10^3$
12	13	$2.044 \cdot 10^3$
13	14	2.657
14	15	2.15
15	16	0.515
16	17	108.924

2 корпус ВУ (апарат Роберта)

	Задано:		
1.	*Навантаження (випарена волога)*	*W, %*	27,554
2.	*Температура гріючої пари (початок сезону)*	*tgr,*	122,016
3.	*Початкова концентрація соку*	*CPp, %*	25,256
4.	*Витрата соку*	*S, %*	*78,924*
5.	*Поверхня теплообміну*	*F, F2, м²*	3300
6.	*Довжина труб*	*L, м*	4,3
7.	*Висота п'єзометричного рівня*	*hp, %*	40
8.	*Температура соку на вході в апарат*	*tp, °C*	120
9.	*Товщина стінки труб*	*δs, м*	$1{,}5 * 10^{-3}$
10.	*Теплопровідність матеріалу труб*	*λst, Вт/м*	17
11.	*Доброякісність соку*	*Db, %*	92
	Задані значення:		
12.	*Температура вторинної пари початок сезону*	*tv*	114,7
13.	*Кратність циркуляції*	*Nzr*	2

$$CPk := S \cdot \frac{CPp}{S - W}$$

$$CPo := \frac{CPp}{Nzr} + CPk \cdot \left(1 - \frac{1}{Nzr}\right)$$

$$CPcp := \frac{CPo + CPk}{2}$$

$$t1 := tgr - 2$$

CPk = 38,803
CPo = 32,03
CPcp = 35,416
t1 = 120,016

ТФВ конденсату при:

$$\nu(t) := \begin{cases} 1.43558 \cdot 10^{-6} - 2.7906 \cdot 10^{-8} \cdot t + 2.492 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 8.437 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.4451 \cdot 10^{-6} + 1.147 \cdot 10^{-10} \cdot t - 2.585 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 9.56 \cdot 10^{-14} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(t) := \begin{cases} 0.603 + 3.986 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2.467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1.68 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.61618 + 1.1062 \cdot 10^{-3} \cdot t - 4.375 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Cp(t) := \begin{cases} 4.2083 - 1.852 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2.703 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 7.29 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4.1676 - 8.286 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4.643 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.428 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\nu(t1) = 2{,}518 * 10^{-7}$	*λ(t1) = 0,686*	*Cp(t1) = 4,249*

$$\rho 1(t) := 1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$Pr(t) := \left(9.175 - 0.154 \cdot t + 1.044 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) - 2.467 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$$

$$q := W \cdot \frac{r(tv) \cdot A}{(3.6 \cdot F) \cdot 2400}$$

$$Rek := q \cdot \frac{L}{r(tgr) \cdot \rho 1(t1) \cdot \nu(t1)}$$

ρ1(t1) = 942,411
*r(t1) = 2,202 * 10³*
Pr(t1) = 1,465
q = 7,713
Rek = 63,628

$$\alpha 10 := \begin{cases} 0.925 \cdot \left(\frac{\lambda(t1)^3 \cdot \rho 1(t1) \cdot r(tgr) \cdot 9.81}{\nu(t1) \cdot L \cdot q}\right)^{0.3333} \cdot Rek^{0.053} & \text{if } Rek \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 \cdot Pr(tgr)^{-0.5} \cdot \left(Rek^{0.75} - 89\right)} \cdot \lambda(t1) \cdot \left(\frac{9.81}{\nu(t1)^2}\right)^{0.333} & \text{otherwise} \end{cases}$$

*α10 = 1,062 * 10⁴*

ТФВ соку (сиропу) при середній концентрації *CPcp*

$$U := 0.7$$

$$\alpha 1 := U \cdot \alpha 10$$

$$LA(t) := \left[(t + 100)^2 \cdot \left(7.5 \cdot 10^{-8} - 1.97 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp\right) + (t + 100) \cdot \left(4.8 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp - 2.3 \cdot 10^{-5}\right)\right]$$

$$\lambda s(t) := \left(0.603 - \frac{28.73}{t + 100}\right)^{0.5} + CPcp \cdot \left[\left(LA(t) - 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot CPcp\right) - 1.4 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 0.35$$

$$\sigma s(t) := \left[76 - 0.17 \cdot t + CPcp \cdot \left(5 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot Db - 0.34\right)\right] \cdot 10^{-3}$$

*α1 = 7,436 * 10³*	*LA(tv) = -4,661 * 10⁻³*	*λs(tv) = 0,594*	*σs(tv) = 0,061*

$$Cps(t) := 4187 - 4.187 \cdot CPcp \cdot (7.1 - 0.018 \cdot t - 0.011 \cdot Db)$$

$$PP(t) := (1563.77 - 0.6 \cdot t) \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right) - (182.5 + 0.1177 \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right)^{1.13} \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right)$$

$$\rho 1s(t) := \left(1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right) + PP(t)$$

$$B(t) := \left(0.6688 - \frac{98.4}{273.15 + t}\right)^{-1} + \left[2.357 \cdot 10^{12} \cdot (273.15 + t)^{-4.44} \cdot \left(\frac{1900 \cdot 100}{CPcp \cdot Db + 0.01} - 18\right)^{0.00245 \cdot (273.15 + t) - 1.771}\right]$$

$Cps(tv) = 3{,}59 * 10^3$	$PP(tv) = 487{,}101$	$p1s(tv) = 1{,}099 * 10^3$	$B(tv) = 2{,}773$

$$\nu s(t) := 10^{-9} \cdot 10^{B(t)}$$

$$\Delta d(t) := \Delta do \cdot 0.01622 \cdot \frac{(273.15 + t)^2}{r(t)}$$

$$\Delta do := \begin{cases} \dfrac{CPcp}{109.7 - 1.9 \cdot CPcp} & \text{if } CPcp < 37 \\ \dfrac{CPcp}{62.655 - 0.695 \cdot CPcp} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$vs(tv) = 5{,}929 * 10^{-7}$
$\Delta d(tv) = 0{,}919$
$\Delta do = 0{,}835$
$r(tv) = 2{,}217 * 10^3$

$$\rho 2(t) := \begin{cases} -5.3326 \cdot 10^{-2} + 4.423 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8.826 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1.09 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ -1.255 + 0.041 \cdot t - 4.68 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$PS(t) := 2.086 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 - 8.76231 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 + 2.124 \cdot 10^{-14} \cdot t^8 - 2.2652 \cdot 10^{-17} \cdot t^9$$

$$P(t) := \left(22.0972 - 2.08711 \cdot t + 0.08665 \cdot t^2\right) - 2.0723 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3.151 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 3.1571 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 + PS(t)$$

$\rho 2(tv) = 0{,}938$	$PS(tv) = 3{,}02 * 10^3$	$P(tv) = 1{,}665$

$$a := \frac{\lambda s(tv)}{\rho 1s(tv) \cdot Cps(tv)}$$

$$Pe := q \cdot \frac{Lp}{a \cdot \rho 2(tv) \cdot r(tv)}$$

$$Ga := 9.81 \cdot \frac{Lp^3}{\nu s(tv)^2}$$

$$Lp := \sqrt{\frac{\sigma s(tv)}{9.81 \cdot (\rho 1(tv) - \rho 2(tv))}}$$

$$Kp := P(tv) \cdot \frac{Lp \cdot 10^5}{\sigma s(tv)}$$

$$\alpha 2 := 3.25 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0.6} \cdot Kp^{0.7} \cdot Ga^{0.125} \cdot \frac{\lambda s(tv)}{Lp}$$

$\alpha = 1{,}507 * 10^{-7}$
$Pe = 63{,}013$
$Ga = 4{,}684 * 10^5$
$Lp = 2{,}56 * 10^{-3}$
$Kp = 7{,}01 * 10^3$
$\alpha 2 = 2{,}281 * 10^3$

$$K := \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda st}\right)^{-1}$$

$$\Delta Tkor := \frac{q \cdot 1000}{K}$$

$$\Delta P := P(tgr) - P(tv)$$

$$tkip := tgr - \Delta Tkor$$

$K = 1{,}513 * 10^3$
$\Delta Tkor = 5{,}099$
$\Delta P = 0{,}444$
$tkip = 116{,}917$

$$GR(t) := \left(0.0135712 - 5.271 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8.88 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 7.826 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3.532 \cdot 10^{-10} \cdot t^4\right) - 6.445 \cdot 10^{-13} \cdot t^5$$

$$\Delta dGR := GR(tv) \cdot \rho 1s(tkip) \cdot 9.81 \cdot hp \cdot \frac{L}{300}$$

$$tv := tkip - \Delta dGR - \Delta d(tkip)$$

$$\Delta Tn := tgr - tv$$

$$\Delta dz := \Delta d(tkip) + \Delta dGR$$

$GR(tv) = 1{,}821 * 10^{-4}$	$\Delta dGR = 1{,}123$	$tv = 114{,}862$	$\Delta Tn = 7{,}155$	$\Delta dz = 2{,}056$

$tgr2 := tgr$	$\Delta d2 := \Delta d(tkip)$
$tv2 := tv$	$\Delta d2GR := \Delta dGR$
$tkip2 := tkip$	$\Delta d2z := \Delta dz$
$CPp2 := CPp$	$q2 := q$
$CPk2 := CPk$	$\alpha 22 := \alpha 2$
$\Delta Tn2 := \Delta Tn$	$K2 := K$
$\Delta Tkor2 := \Delta Tkor$	$Pgr2 := P(tgr)$
$Pv2 := P(tv)$	$S2 := S$
$\Delta P2 := \Delta P$	$W2 := W$

$tgr2 = 122{,}016$	$\Delta d2 = 0{,}932$
$tv2 = 114{,}862$	$\Delta d2GR = 1{,}123$
$tkip2 = 116{,}917$	$\Delta d2z = 2{,}056$
$CPp2 = 25{,}256$	$q2 = 7{,}713$
$CPk2 = 38{,}803$	$\alpha 22 = 2{,}281 * 10^3$
$\Delta Tn2 = 7{,}155$	$K2 = 1{,}513 * 10^3$
$\Delta Tkor2 = 5{,}099$	$Pgr2 = 2{,}109$

$Pv2 = 1{,}674$	$S2 = 78{,}924$
$\Delta P2 = 0{,}444$	$W2 = 27{,}554$

Режимні параметри випарного апарата №2

Таблиця результатів розрахунку

1. Т-ра гріючої пари С
2. Т-ра сокової пари С
3. Т-ра кипіння
4.Початкова концентрація соку, %
5.Кінцева концентрація соку, %
6.Наявна різниця температур.
7.Корисна різниця температур.
8.Фіз-хім. температ.депресія
9.Гідрост. температ. депресія
10.Сумарна температ. депресія
11.Тепловий потік, кВт/м2
12.Коеф. тепловіддачі при кипінні
13.Коеф. теплопередачі
14.Тиск гріючої пари, бар
15.Тиск сокової пари, бар
16.Різниця тисків пари, бар
17.Витрата соку на ВА%

1	tgr
2	tv
3	tkip
4	CPp
5	CPk
6	ΔTn
7	ΔTkor
8	Δd(tkip)
9	ΔdGR
10	Δdz
11	q
12	α2
13	K
14	P(tgr)
15	P(tv)
16	ΔP
17	S

=

	0	1
0	1	122.016
1	2	114.862
2	3	116.917
3	4	25.256
4	5	38.803
5	6	7.155
6	7	5.099
7	8	0.932
8	9	1.123
9	10	2.056
10	11	7.713
11	12	$2.281 \cdot 10^3$
12	13	$1.513 \cdot 10^3$
13	14	2.109
14	15	1.674
15	16	0.444
16	17	78.924

3 корпус ВУ (апарат Роберта)

	Задано:		
1.	*Навантаження (випарена волога)*	*W, %*	12,138
2.	*Температура гріючої пари (початок сезону)*	*tgr,*	114,162
3.	*Початкова концентрація соку*	*CPp, %*	38,803
4.	*Витрата соку*	*S, %*	51,37
5.	*Поверхня теплообміну*	*F, F3, м²*	2600
6.	*Довжина труб*	*L, м*	4,3
7.	*Висота п'єзометричного рівня*	*hp, %*	45
8.	*Температура соку на вході в апарат*	*tp, °C*	120
9.	*Товщина стінки труб*	*δs, м*	$1,5 * 10^{-3}$
10.	*Теплопровідність матеріалу труб*	*λst, Вт/м*	17
11.	*Доброякісність соку*	*Db, %*	92
	Задані значення:		
12.	*Температура вторинної пари початок сезону*	*tv*	106,5
13.	*Кратність циркуляції*	*Nzr*	2

$$CPk := S \cdot \frac{CPp}{S - W}$$

$$CPo := \frac{CPp}{Nzr} + CPk \cdot \left(1 - \frac{1}{Nzr}\right)$$

$$CPcp := \frac{CPo + CPk}{2}$$

CPk = 50,808
CPo = 44,806
CPcp = 47,807

ТФВ конденсату при:

$$\nu(t) := \begin{cases} 1.43558 \cdot 10^{-6} - 2.7906 \cdot 10^{-8} \cdot t + 2.492 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 8.437 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.4451 \cdot 10^{-6} + 1.147 \cdot 10^{-10} \cdot t - 2.585 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 9.56 \cdot 10^{-14} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(t) := \begin{cases} 0.603 + 3.986 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2.467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1.68 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.61618 + 1.1062 \cdot 10^{-3} \cdot t - 4.375 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Cp(t) := \begin{cases} 4.2083 - 1.852 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2.703 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 7.29 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4.1676 - 8.286 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4.643 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.428 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\nu(t1) = 2{,}677 * 10^{-7}$	*$\lambda(t1) = 0{,}685$*	*$Cp(t1) = 4{,}237$*

$$\rho 1(t) := 1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$Pr(t) := \left(9.175 - 0.154 \cdot t + 1.044 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) - 2.467 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$$

$$q := W \cdot \frac{r(tv) \cdot A}{(3.6 \cdot F) \cdot 2400} \qquad Rek := q \cdot \frac{L}{r(tgr) \cdot \rho 1(t1) \cdot \nu(t1)}$$

$\rho 1(t1) = 948{,}786$
$r(t1) = 2{,}224 * 10^{3}$
$Pr(t1) = 1{,}635$
$q = 4{,}356$
$Rek = 33{,}245$

$$\alpha 10 := \begin{cases} 0.925 \cdot \left(\frac{\lambda(t1)^3 \cdot \rho 1(t1) \cdot r(tgr) \cdot 9.81}{\nu(t1) \cdot L \cdot q}\right)^{0.3333} \cdot Rek^{0.053} & \text{if } Rek \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 \cdot Pr(tgr)^{-0.5} \cdot \left(Rek^{0.75} - 89\right)} \cdot \lambda(t1) \cdot \left(\frac{9.81}{\nu(t1)^2}\right)^{0.333} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\alpha 10 = 1{,}222 * 10^{4}$.

ТФВ соку (сиропу) при середній концентрації *CPcp*

$$U := 0.7$$

$$\alpha 1 := U \cdot \alpha 10$$

$$LA(t) := \left[(t+100)^2 \cdot \left(7.5 \cdot 10^{-8} - 1.97 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp\right) + (t+100) \cdot \left(4.8 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp - 2.3 \cdot 10^{-5}\right)\right]$$

$$\lambda s(t) := \left(0.603 - \frac{28.73}{t+100}\right)^{0.5} + CPcp \cdot \left[\left(LA(t) - 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot CPcp\right) - 1.4 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 0.35$$

$$\sigma s(t) := \left[76 - 0.17 \cdot t + CPcp \cdot \left(5 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot Db - 0.34\right)\right] \cdot 10^{-3}$$

$$Cps(t) := 4187 - 4.187 \cdot CPcp \cdot (7.1 - 0.018 \cdot t - 0.011 \cdot Db)$$

$\alpha 1 = 8{,}555 * 10^3$	$LA(tv) = -5{,}52 * 10^{-3}$	$\lambda s(tv) = 0{,}537$	$\sigma s(tv) = 0{,}064$	$Cps(tv) = 3{,}352 * 10^3$

$$PP(t) := (1563.77 - 0.6 \cdot t) \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right) - (182.5 + 0.1177 \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right)^{1.13} \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right)$$

$$\rho 1s(t) := \left(1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right) + PP(t)$$

$$B(t) := \left(0.6688 - \frac{98.4}{273.15 + t}\right)^{-1} + \left[2.357 \cdot 10^{12} \cdot (273.15 + t)^{-4.44} \cdot \left(\frac{1900 \cdot 100}{CPcp \cdot Db + 0.01} - 18\right)^{0.00245 \cdot (273.15 + t) - 1.771}\right]$$

$PP(tv) = 672{,}321$	$\rho 1s(tv) = 1{,}17 * 10^3$	$B(tv) = 2{,}993$

$$\nu s(t) := 10^{-9} \cdot 10^{B(t)}$$

$$\Delta do := \begin{cases} \dfrac{CPcp}{109.7 - 1.9 \cdot CPcp} & \text{if } CPcp < 37 \\ \dfrac{CPcp}{62.655 - 0.695 \cdot CPcp} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta d(t) := \Delta do \cdot 0.01622 \cdot \frac{(273.15 + t)^2}{r(t)}$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$\rho 2(t) := \begin{cases} -5.3326 \cdot 10^{-2} + 4.423 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8.826 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1.09 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ -1.255 + 0.041 \cdot t - 4.68 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$vs(tv) = 9{,}836 * 10^{-7}$	$\Delta d(tv) = 1{,}696$	$\Delta do = 1{,}624$	$r(tv) = 2{,}239 * 10^3$	$\rho 2(tv) = 0{,}723$

$$PS(t) := 2.086 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 - 8.76231 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 + 2.124 \cdot 10^{-14} \cdot t^8 - 2.2652 \cdot 10^{-17} \cdot t^9$$

$$P(t) := \left(22.0972 - 2.08711 \cdot t + 0.08665 \cdot t^2\right) - 2.0723 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3.151 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 3.1571 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 + PS(t)$$

$$a := \frac{\lambda s(tv)}{\rho 1s(tv) \cdot Cps(tv)} \qquad Lp := \sqrt{\frac{\sigma s(tv)}{9.81 \cdot (\rho 1(tv) - \rho 2(tv))}}$$

$$Pe := q \cdot \frac{Lp}{a \cdot \rho 2(tv) \cdot r(tv)} \qquad Ga := 9.81 \cdot \frac{Lp^3}{\nu s(tv)^2}$$

$$Kp := P(tv) \cdot \frac{Lp \cdot 10^5}{\sigma s(tv)}$$

$$\alpha 2 := 3.25 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0.6} \cdot Kp^{0.7} \cdot Ga^{0.125} \cdot \frac{\lambda s(tv)}{Lp}$$

$PS(tv) = 1{,}994 * 10^3$	$P(tv) = 1{,}262$	$\alpha = 1{,}37 * 10^{-7}$	$Pe = 51{,}209$
$Lp = 2{,}608 * 10^{-3}$	$Ga = 1{,}798 * 10^5$	$Kp = 5{,}179 * 10^3$	$\alpha 2 = 1{,}283 * 10^3$

$$K := \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda st}\right)^{-1}$$

$$\Delta Tkor := \frac{q \cdot 1000}{K}$$

$$\Delta P := P(tgr) - P(tv)$$

$$tkip := tgr - \Delta Tkor$$

$$GR(t) := \left(0.0135712 - 5.271 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8.88 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 7.826 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3.532 \cdot 10^{-10} \cdot t^4\right) - 6.445 \cdot 10^{-13} \cdot t^5$$

$K = 1{,}016$	$\Delta Tkor = 4{,}288$	$\Delta P = 0{,}374$	$tkip = 116{,}917$	$GR(tv) = 2{,}279 * 10^{-4}$

$$\Delta dGR := GR(tv) \cdot \rho 1s(tkip) \cdot 9.81 \cdot hp \cdot \frac{L}{300}$$

$$tv := tkip - \Delta dGR - \Delta d(tkip)$$

$$\Delta Tn := tgr - tv$$

$$\Delta dz := \Delta d(tkip) + \Delta dGR$$

$\Delta dGR = 1{,}683$
$tv = 106{,}457$
$\Delta Tn = 7{,}705$
$\Delta dz = 3{,}416$

tgr3 := tgr	Δd3 := Δd(tkip)
tv3 := tv	Δd3GR := ΔdGR
tkip3 := tkip	Δd3z := Δdz
CPp3 := CPp	q3 := q
CPk3 := CPk	α32 := α2
ΔTn3 := ΔTn	K3 := K
ΔTkor3 := ΔTkor	Pgr3 := P(tgr)
Pv3 := P(tv)	S3 := S
ΔP3 := ΔP	W3 := W

tgr3 = 114,162	*Δd3 = 1,733*
tv3 = 106,457	*Δd3GR = 1,683*
tkip3 = 109,873	*Δd3z = 3,416*
CPp3 = 38,803	*q3 = 4,356*
CPk3 = 50,808	*α32 = 1,283 * 10³*
ΔTn3 = 7,705	*K3 = 1,016 * 10³*
ΔTkor3 = 4,288	*Pgr3 = 1,636*

Pv3 = 1,26	*S3 = 51,37*
ΔP3 = 0,374	*W3 = 12,138*

Режимні параметри випарного апарата №3

Таблиця результатів розрахунку

1. Т-ра гріючої пари C
2. Т-ра сокової пари C
3. Т-ра кипіння
4. Початкова концентрація соку, %
5. Кінцева концентрація соку, %
6. Наявна різниця температур.
7. Корисна різниця температур.
8. Фіз-хім. температ.депресія
9. Гідрост. температ. депресія
10. Сумарна температ. депресія
11. Тепловий потік, кВт/м2
12. Коеф. тепловіддачі при кипінні
13. Коеф. теплопередачі
14. Тиск гріючої пари, бар
15. Тиск сокової пари, бар
16. Різниця тисків пари, бар
17. Витрата соку на ВА%

1	tgr
2	tv
3	tkip
4	CPp
5	CPk
6	ΔTn
7	ΔTkor
8	Δd(tkip)
9	ΔdGR
10	Δdz
11	q
12	α2
13	K
14	P(tgr)
15	P(tv)
16	ΔP
17	S

=

	0	1
0	1	114.162
1	2	106.457
2	3	109.873
3	4	38.803
4	5	50.808
5	6	7.705
6	7	4.288
7	8	1.733
8	9	1.683
9	10	3.416
10	11	4.356
11	12	$1.283 \cdot 10^3$
12	13	$1.016 \cdot 10^3$
13	14	1.636
14	15	1.26
15	16	0.374
16	17	51.37

4 корпус ВУ (плівковий *L = 8,8м*)

	Задано:		
1.	*Навантаження (випарена волога)*	*W, %*	4,135
2.	*Температура гріючої пари (початок сезону)*	*tgr,*	105,457
3.	*Початкова концентрація соку*	*CPp, %*	50,808
4.	*Витрата соку*	*S, %*	39,232
5.	*Поверхня теплообміну*	*F, F4, м²*	2200
6.	*Довжина труб*	*L, м*	8,8
7.	*Висота п'єзометричного рівня*	*hp, %*	45
8.	*Температура соку на вході в апарат*	*tp, °C*	120
9.	*Товщина стінки труб*	*δs, м*	$1,5 * 10^{-3}$
10.	*Теплопровідність матеріалу труб*	*λst, Вт/м*	17
11.	*Доброякісність соку*	*Db, %*	92
	Задані значення:		
12.	*Температура вторинної пари початок сезону*	*tv*	101,0
13.	*Кратність циркуляції*	*Nzr*	4

$$CPk := S \cdot \frac{CPp}{S - W}$$

$$CPo := \frac{CPp}{Nzr} + CPk \cdot \left(1 - \frac{1}{Nzr}\right)$$

$$CPcp := \frac{CPo + CPk}{2}$$

CPk = 56,794
CPo = 55,298
CPcp = 56,046

ТФВ конденсату при:

$$\nu(t) := \begin{cases} 1.43558 \cdot 10^{-6} - 2.7906 \cdot 10^{-8} \cdot t + 2.492 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 8.437 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.4451 \cdot 10^{-6} + 1.147 \cdot 10^{-10} \cdot t - 2.585 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 9.56 \cdot 10^{-14} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(t) := \begin{cases} 0.603 + 3.986 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2.467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1.68 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.61618 + 1.1062 \cdot 10^{-3} \cdot t - 4.375 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Cp(t) := \begin{cases} 4.2083 - 1.852 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2.703 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 7.29 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4.1676 - 8.286 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4.643 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.428 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\nu(t1) = 2,861 * 10^{-7}$	*λ(t1) = 0,684*	*Cp(t1) = 4,225*

$$\rho 1(t) := 1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$Pr(t) := \left(9.175 - 0.154 \cdot t + 1.044 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) - 2.467 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$$

$$q := W \cdot \frac{r(tv) \cdot A}{(3.6 \cdot F) \cdot 2400} \qquad Rek := q \cdot \frac{L}{r(tgr) \cdot \rho 1(t1) \cdot \nu(t1)}$$

ρ1(t1) = 955,474
*r(t1) = 2,247 * 10³*
Pr(t1) = 1,685
q = 1,765
Rek = 25,34

$$\alpha 10 := \begin{cases} 0.925 \cdot \left(\frac{\lambda(t1)^3 \cdot \rho 1(t1) \cdot r(tgr) \cdot 9.81}{\nu(t1) \cdot L \cdot q}\right)^{0.3333} \cdot Rek^{0.053} & \text{if } Rek \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 \cdot Pr(tgr)^{-0.5} \cdot \left(Rek^{0.75} - 89\right)} \cdot \lambda(t1) \cdot \left(\frac{9.81}{\nu(t1)^2}\right)^{0.333} & \text{otherwise} \end{cases}$$

*α10 = 1,259 * 10⁴.*

ТФВ соку (сиропу) при середній концентрації *CPcp*

U = 0,9

$$\alpha 1 := U \cdot \alpha 10$$

$$LA(t) := \left[(t + 100)^2 \cdot \left(7.5 \cdot 10^{-8} - 1.97 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp\right) + (t + 100) \cdot \left(4.8 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp - 2.3 \cdot 10^{-5}\right)\right]$$

$$\lambda s(t) := \left(0.603 - \frac{28.73}{t + 100}\right)^{0.5} + CPcp \cdot \left[\left(LA(t) - 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot CPcp\right) - 1.4 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 0.35$$

$$\sigma s(t) := \left[76 - 0.17 \cdot t + CPcp \cdot \left(5 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot Db - 0.34\right)\right] \cdot 10^{-3}$$

$$Cps(t) := 4187 - 4.187 \cdot CPcp \cdot (7.1 - 0.018 \cdot t - 0.011 \cdot Db)$$

*α1 = 1,133 * 10⁴*	*LA(tv) = -6 * 10⁻³*	*λs(tv) = 0,495*	*σs(tv) = 0,065*	*Cps(tv) = 3,185 * 10³*

$$PP(t) := (1563.77 - 0.6 \cdot t) \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right) - (182.5 + 0.1177 \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right)^{1.13} \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right)$$

$$\rho 1s(t) := \left(1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right) + PP(t)$$

$$B(t) := \left(0.6688 - \frac{98.4}{273.15 + t}\right)^{-1} + \left[2.357 \cdot 10^{12} \cdot (273.15 + t)^{-4.44} \cdot \left(\frac{1900 \cdot 100}{CPcp \cdot Db + 0.01} - 18\right)^{0.00245 \cdot (273.15 + t) - 1.771}\right]$$

$PP(tv) = 799{,}434$	$\rho 1s(tv) = 1{,}22 * 10^3$	$B(tv) = 3{,}186$

$$\nu s(t) := 10^{-9} \cdot 10^{B(t)}$$

$$\Delta d(t) := \Delta do \cdot 0.01622 \cdot \frac{(273.15 + t)^2}{r(t)}$$

$$\Delta do := \begin{cases} \dfrac{CPcp}{109.7 - 1.9 \cdot CPcp} & \text{if } CPcp < 37 \\ \dfrac{CPcp}{62.655 - 0.695 \cdot CPcp} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$\rho 2(t) := \begin{cases} -5.3326 \cdot 10^{-2} + 4.423 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8.826 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1.09 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ -1.255 + 0.041 \cdot t - 4.68 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$vs(tv) = 1{,}535 * 10^{-6}$	$\Delta d(tv) = 2{,}382$	$\Delta do = 2{,}365$	$r(tv) = 2{,}254 * 10^3$	$\rho 2(tv) = 0{,}602$

$$PS(t) := 2.086 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 - 8.76231 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 + 2.124 \cdot 10^{-14} \cdot t^8 - 2.2652 \cdot 10^{-17} \cdot t^9$$

$$P(t) := \left(22.0972 - 2.08711 \cdot t + 0.08665 \cdot t^2\right) - 2.0723 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3.151 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 3.1571 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 + PS(t)$$

$PS(tv) = 1{,}48 * 10^3$	$P(tv) = 1{,}04$

$$Lz := 8.8$$

$$n := \frac{F}{\pi \cdot ds \cdot Lz}$$

$$G4 := S \cdot \frac{A}{2400 \cdot 3.600}$$

$$as(tv) := \frac{\lambda s(tv)}{\rho 1s(tv) \cdot Cps(tv)}$$

$$G24 := W \cdot \frac{A}{2400 \cdot 3.600}$$

$n = 2{,}526 * 10^3$
$G4 = 16{,}347$
$as(tv) = 1{,}273 * 10^{-7}$
$G24 = 1{,}723$

Середня об’ємна щільність зрошення на ділянці, м^2/с:

$$Jv := \frac{G4 \cdot Nzr - \left(\frac{G24}{2}\right)}{\pi \cdot dv \cdot \rho 1s(tv) \cdot n}$$

$$uv := \left(4 \cdot q \cdot ds \cdot \frac{L}{\rho 2(tv) \cdot r(tv) \cdot dv^2}\right)$$

$$u := \frac{uv}{2} \qquad \mu 2 := 12 \cdot 10^{-6}$$

$$Re2 := u \cdot dv \cdot \frac{\rho 2(tv)}{\mu 2}$$

$Jv = 2{,}221 * 10^{-4}$
$uv = 1{,}602$
$u = 0{,}801$
$Re2 = 1{,}206 * 10^{3}$

Температура насичення пари в середині труби: *tnas = 101*

$$Prs(tv) := \frac{\nu s(tv)}{as(tv)}$$

Prs(tv) = 12,063.

Тепловіддача до плівки

перевірка на поверхневе кипіння

Температура стінки:

$$tcm := tgr - \left(\frac{q \cdot 1000}{\alpha 1}\right) - q \cdot \left(\frac{\delta s}{\lambda st}\right) \cdot 1000$$

tcm = 105,145

Мінімальна для закипання різниця температур:

$$\Delta tmin := 2 \cdot \sigma s(tv) \cdot \frac{tv + 273.15}{r(tv) \cdot \rho 2(tv) \cdot Rc \cdot 1000} + \Delta d(tv)$$

Δtmin = 9,582

Дійсна різниця температур:

Δt = tcm – tnas = 4,145

$$Kb := \begin{cases} 1 & \text{if } (\Delta tmin - \Delta t) \geq 0 \\ 1 + 0.4 \cdot \left(\frac{\Delta t - \Delta tmin}{\Delta tmin}\right)^{1.2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Re := 4 \cdot \frac{Jv}{\nu s(tv)}$$

$$Pe := 4 \cdot \frac{Jv}{as(tv)}$$

$Kb = 1$
$Re = 578{,}605$
$Pe = 6{,}98 * 10^3$

Коефіцієнт тепловіддачі до плівки:

$$Kw := \sqrt{1 + \left[7.5 \cdot 10^{-6} \cdot Re2 \cdot \left(\frac{\rho 1s(tv)}{\rho 2(tv)}\right)^{0.2}\right]^2}$$

$$Kld := \left[1 + 0.06 \cdot \left(\frac{\nu s(tv)}{\nu s(tv) + \nu o}\right) \cdot \left[1 - \exp\left[-0.05 \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^3\right]\right] \cdot \left(\frac{dv}{do}\right)^{0.35 - 0.06 \cdot \left(\frac{dv}{do}\right)}\right]$$

$$Nu := 1.12 \cdot Re^{-0.3333} \cdot \left(0.85 + 0.01 \cdot Pe^{0.2} + 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0.86} \cdot Prs(tv)^{-0.2}\right) \cdot Kb \cdot Kw \cdot Kld$$

$$\alpha 2 := Nu \cdot \frac{\lambda s(tv)}{\left(\frac{\nu s(tv)^2}{g}\right)^{0.3333}}$$

$Kw = 1{,}001$	$K1d = 1{,}166$	$Nu = 0{,}229$	$\alpha 2 = 1{,}822 * 10^3$

Температурна функція:

$$We := \rho 2(tv) \cdot u^2 \cdot \frac{dv}{\sigma s(tv)}$$

$$\delta \Delta t := \Delta d(tv) \cdot \left(1 - \exp\left(-1.07 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{We} \cdot \sqrt[3]{Pe}\right)\right)$$

$$K := \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda st}\right)^{-1}$$

$$\Delta Tkor := \frac{q \cdot 1000}{K}$$

$We = 0{,}178$
$\delta \Delta t = 0{,}197$
$K = 1{,}379 * 10^3$
$\Delta Tkor = 1{,}28$

$tkip := tgr - \Delta Tkor$ $tv := tkip - \Delta dz + \delta\Delta t$ $\Delta Tn := tgr - tv$	$tkip = 104,176$ $tv = 100,957$ $\Delta Tn = 4,5$

$tgr4 := tgr$	$\Delta d4 := \Delta d(tkip)$
$tv4 := tv$	$\Delta d4GR := \Delta dGR$
$tkip4 := tkip$	$\Delta d4z := \Delta dz$
$CPp4 := CPp$	$q4 := q$
$CPk4 := CPk$	$\alpha 42 := \alpha 2$
$\Delta Tn4 := \Delta Tn$	$K4 := K$
$\Delta Tkor4 := \Delta Tkor$	$Pgr4 := P(tgr)$
$Pv4 := P(tv)$	$S4 := S$
$\Delta P4 := \Delta P$	$W4 := W$

$tgr4 = 104,457$	$\Delta d4 = 2,432$
$tv4 = 100,957$	$\Delta d4GR = 1,683$
$tkip4 = 104,176$	$\Delta d4z = 3,416$
$CPp4 = 50,808$	$q4 = 1,765$
$CPk4 = 56,794$	$\alpha 42 = 1,822 * 10^3$
$\Delta Tn4 = 4,5$	$K4 = 1,379 * 10^3$
$\Delta Tkor4 = 1,28$	$Pgr4 = 1,217$

$Pv4 = 1,038$	$S4 = 39,232$
$\Delta P4 = 0,374$	$W4 = 4,135$

Режимні параметри випарного апарата №4

Таблиця результатів розрахунку

1. Т-ра гріючої пари С
2. Т-ра сокової пари С
3. Т-ра кипіння
4.Початкова концентрація соку, %
5.Кінцева концентрація соку, %
6.Наявна різниця температур.
7.Корисна різниця температур.
8.Фіз-хім. температ.депресія
9.Гідрост. температ. депресія
10.Сумарна температ. депресія
11.Тепловий потік, кВт/м2
12.Коеф. тепловіддачі при кипінні
13.Коеф. теплопередачі
14.Тиск гріючої пари, бар
15.Тиск сокової пари, бар
16.Різниця тисків пари, бар
17.Витрата соку на ВА%

1	tgr
2	tv
3	tkip
4	CPp
5	CPk
6	ΔTn
7	ΔTkor
8	Δd(tkip)
9	ΔdGR
10	Δdz
11	q
12	α2
13	K
14	P(tgr)
15	P(tv)
16	ΔP4
17	S

=

	0	1
0	1	105.457
1	2	100.957
2	3	104.176
3	4	50.808
4	5	56.794
5	6	4.5
6	7	1.28
7	8	2.432
8	9	1.683
9	10	3.416
10	11	1.765
11	12	$1.822 \cdot 10^3$
12	13	$1.379 \cdot 10^3$
13	14	1.217
14	15	1.038
15	16	0.179
16	17	39.232

5 корпус ВУ (плівковий *L = 8,8 м*)

	Задано:		
1.	*Навантаження (випарена волога)*	*W, %*	3,754
2.	*Температура гріючої пари (початок сезону)*	*tgr,*	99,957
3.	*Початкова концентрація соку*	*CPp, %*	56,794
4.	*Витрата соку*	*S, %*	35,097
5.	*Поверхня теплообміну*	*F, F5, м²*	2200
6.	*Довжина труб*	*L, м*	8,8
7.	*Висота п'єзометричного рівня*	*hp, %*	45
8.	*Температура соку на вході в апарат*	*tp, °C*	120
9.	*Товщина стінки труб*	*δs, м*	$1,5 * 10^{-3}$
10.	*Теплопровідність матеріалу труб*	*λst, Вт/м*	17
11.	*Доброякісність соку*	*Db, %*	92
	Задані значення:		
12.	*Температура вторинної пари початок сезону*	*tv*	95,4
13.	*Кратність циркуляції*	*Nzr*	3,0

$$CPk := S \cdot \frac{CPp}{S - W}$$

$$CPo := \frac{CPp}{Nzr} + CPk \cdot \left(1 - \frac{1}{Nzr}\right)$$

$$CPcp := \frac{CPo + CPk}{2}$$

CPk = 63,597
CPo = 61,329
CPcp = 62,463

ТФВ конденсату при:

$$\nu(t) := \begin{cases} 1.43558 \cdot 10^{-6} - 2.7906 \cdot 10^{-8} \cdot t + 2.492 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 8.437 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.4451 \cdot 10^{-6} + 1.147 \cdot 10^{-10} \cdot t - 2.585 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 9.56 \cdot 10^{-14} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(t) := \begin{cases} 0.603 + 3.986 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2.467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1.68 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.61618 + 1.1062 \cdot 10^{-3} \cdot t - 4.375 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Cp(t) := \begin{cases} 4.2083 - 1.852 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2.703 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 7.29 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4.1676 - 8.286 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4.643 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.428 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

*v(t1) = 3,002 * 10^{-7}*	*λ(t1) = 0,682*	*Cp(t1) = 4,218*

$$\rho 1(t) := 1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$Pr(t) := \left(9.175 - 0.154 \cdot t + 1.044 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) - 2.467 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$$

$$q := W \cdot \frac{r(tv) \cdot A}{(3.6 \cdot F) \cdot 2400} \qquad Rek := q \cdot \frac{L}{r(tgr) \cdot \rho 1(t1) \cdot \nu(t1)}$$

ρ1(t1) = 959,496
*r(t1) = 2,262 * 10^3*
Pr(t1) = 1,789
q = 1,613
Rek = 21,838

$$\alpha 10 := \begin{cases} 0.925 \cdot \left(\frac{\lambda(t1)^3 \cdot \rho 1(t1) \cdot r(tgr) \cdot 9.81}{\nu(t1) \cdot L \cdot q}\right)^{0.3333} \cdot Rek^{0.053} & \text{if } Rek \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 \cdot Pr(tgr)^{-0.5} \cdot \left(Rek^{0.75} - 89\right)} \cdot \lambda(t1) \cdot \left(\frac{9.81}{\nu(t1)^2}\right)^{0.333} & \text{otherwise} \end{cases}$$

*α10 = 1,268 * 10^4.*

ТФВ соку (сиропу) при середній концентрації *CPcp*

U = 0,8

$$\alpha 1 := U \cdot \alpha 10$$

$$LA(t) := \left[(t + 100)^2 \cdot \left(7.5 \cdot 10^{-8} - 1.97 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp\right) + (t + 100) \cdot \left(4.8 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp - 2.3 \cdot 10^{-5}\right)\right]$$

$$\lambda s(t) := \left(0.603 - \frac{28.73}{t + 100}\right)^{0.5} + CPcp \cdot \left[\left(LA(t) - 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot CPcp\right) - 1.4 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 0.35$$

$$\sigma s(t) := \left[76 - 0.17 \cdot t + CPcp \cdot \left(5 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot Db - 0.34\right)\right] \cdot 10^{-3}$$

$$Cps(t) := 4187 - 4.187 \cdot CPcp \cdot (7.1 - 0.018 \cdot t - 0.011 \cdot Db)$$

$\alpha 1 = 1{,}015 * 10^4$	$LA(tv) = -6{,}27 * 10^{-3}$	$\lambda s(tv) = 0{,}46$	$\sigma s(tv) = 0{,}067$	$Cps(tv) = 3{,}044 * 10^3$

$$PP(t) := (1563.77 - 0.6 \cdot t) \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right) - (182.5 + 0.1177 \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right)^{1.13} \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right)$$

$$\rho 1s(t) := \left(1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right) + PP(t)$$

$$B(t) := \left(0.6688 - \frac{98.4}{273.15 + t}\right)^{-1} + \left[2.357 \cdot 10^{12} \cdot (273.15 + t)^{-4.44} \cdot \left(\frac{1900 \cdot 100}{CPcp \cdot Db + 0.01} - 18\right)^{0.00245 \cdot (273.15 + t) - 1.771}\right]$$

$PP(tv) = 901{,}032$	$\rho 1s(tv) = 1{,}262 * 10^3$	$B(tv) = 3{,}39$

$$\nu s(t) := 10^{-9} \cdot 10^{B(t)}$$

$$\Delta do := \begin{cases} \dfrac{CPcp}{109.7 - 1.9 \cdot CPcp} & \text{if } CPcp < 37 \\ \dfrac{CPcp}{62.655 - 0.695 \cdot CPcp} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta d(t) := \Delta do \cdot 0.01622 \cdot \frac{(273.15 + t)^2}{r(t)}$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$\rho 2(t) := \begin{cases} -5.3326 \cdot 10^{-2} + 4.423 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8.826 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1.09 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ -1.255 + 0.041 \cdot t - 4.68 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\nu s(tv) = 2{,}452 * 10^{-6}$	$\Delta d(tv) = 3{,}152$	$\Delta do = 3{,}246$	$r(tv) = 2{,}269 * 10^3$	$\rho 2(tv) = 0{,}512$

$$PS(t) := 2.086 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 - 8.76231 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 + 2.124 \cdot 10^{-14} \cdot t^8 - 2.2652 \cdot 10^{-17} \cdot t^9$$

$$P(t) := \left(22.0972 - 2.08711 \cdot t + 0.08665 \cdot t^2\right) - 2.0723 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3.151 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 3.1571 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 + PS(t)$$

$PS(tv) = 1{,}073 * 10^3$	$P(tv) = 0{,}849$

$$n := \frac{F}{\pi \cdot ds \cdot L}$$

$$G5 := S \cdot \frac{A}{2400 \cdot 3.600}$$

$$as(tv) := \frac{\lambda s(tv)}{\rho 1s(tv) \cdot Cps(tv)}$$

$$G25 := W \cdot \frac{A}{2400 \cdot 3.600}$$

$n = 2{,}526 * 10^3$
$G5 = 14{,}624$
$as(tv) = 1{,}197 * 10^{-7}$
$G25 = 1{,}564$

Середня об’ємна щільність зрошення на ділянці, м^2/с:

$$Jv := \frac{G5 \cdot Nzr - \left(\frac{G25}{2}\right)}{\pi \cdot dv \cdot \rho 1s(tv) \cdot n}$$

$$uv := \left(4 \cdot q \cdot ds \cdot \frac{L}{\rho 2(tv) \cdot r(tv) \cdot dv^2}\right)$$

$$u := \frac{uv}{2}$$

$$Re2 := u \cdot dv \cdot \frac{\rho 2(tv)}{\mu 2}$$

$Jv = 1{,}434 * 10^{-4}$
$uv = 1{,}712$
$u = 0{,}856$
$Re2 = 1{,}095 * 10^3$

Температура насичення пари в середині труби: *tnas = 95,4*

$$Prs(tv) := \frac{\nu s(tv)}{as(tv)}$$

Prs(tv) = 20,486.

Тепловіддача до плівки

перевірка на поверхневе кипіння

Температура стінки:

$$tcm := tgr - \left(\frac{q \cdot 1000}{\alpha 1}\right) - q \cdot \left(\frac{\delta s}{\lambda st}\right) \cdot 1000$$

tcm = 99,655

Мінімальна для закипання різниця температур:

$$\Delta tmin := 2 \cdot \sigma s(tv) \cdot \frac{tv + 273.15}{r(tv) \cdot \rho 2(tv) \cdot Rc \cdot 1000} + \Delta d(tv)$$

Δtmin = 11,636

Дійсна різниця температур:

Δt = tcm – tnas = 4,255

$$Kb := \begin{cases} 1 & \text{if } (\Delta tmin - \Delta t) \geq 0 \\ 1 + 0.4 \cdot \left(\frac{\Delta t - \Delta tmin}{\Delta tmin}\right)^{1.2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Re := 4 \cdot \frac{Jv}{\nu s(tv)}$$

$$Pe := 4 \cdot \frac{Jv}{as(tv)}$$

Kb = 1
Re = 233,944
*Pe = 4,793 * 10³*

Коефіцієнт тепловіддачі до плівки:

$$Kw := \sqrt{1 + \left[7.5 \cdot 10^{-6} \cdot Re2 \cdot \left(\frac{\rho 1s(tv)}{\rho 2(tv)}\right)^{0.2}\right]^2}$$

$$Kld := \left[1 + 0.06 \cdot \left(\frac{\nu s(tv)}{\nu s(tv) + \nu o}\right) \cdot \left[1 - \exp\left[-0.05 \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^3\right]\right] \cdot \left(\frac{dv}{do}\right)^{0.35 - 0.06 \cdot \left(\frac{dv}{do}\right)}\right.$$

$$Nu := 1.12 \cdot Re^{-0.3333} \cdot \left(0.85 + 0.01 \cdot Pe^{0.2} + 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0.86} \cdot Prs(tv)^{-0.2}\right) \cdot Kb \cdot Kw \cdot Kld$$

$$\alpha 2 := Nu \cdot \frac{\lambda s(tv)}{\left(\frac{\nu s(tv)^2}{g}\right)^{0.3333}}$$

Kw = 1,001	*K1d = 1,17*	*Nu = 0,269*	*α2 = 1,454 * 10³*

Температурна функція:

$$We := \rho 2(tv) \cdot u^2 \cdot \frac{dv}{\sigma s(tv)}$$

$$\delta\Delta t := \Delta d(tv) \cdot \left(1 - \exp\left(-1.07 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{We} \cdot \sqrt[3]{Pe}\right)\right)$$

$$K := \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda st}\right)^{-1}$$

$$\Delta Tkor := \frac{q \cdot 1000}{K}$$

We = 0,168
δΔt = 0,225
*K = 1,144 * 10³*
ΔTkor = 1,28

$$tkip := tgr - \Delta Tkor$$

$$tv := tkip - \Delta dz + \delta\Delta t$$

$$\Delta Tn := tgr - tv$$

tkip = 98,546
tv = 95,4
ΔTn = 4,5

$tgr5 := tgr$	$\Delta d5 := \Delta d(tkip)$
$tv5 := tv$	$\Delta d5GR := \Delta dGR$
$tkip5 := tkip$	$\Delta d5z := \Delta dz$
$CPp5 := CPp$	$q5 := q$
$CPk5 := CPk$	$\alpha 52 := \alpha 2$
$\Delta Tn5 := \Delta Tn$	$K5 := K$
$\Delta Tkor5 := \Delta Tkor$	$Pgr5 := P(tgr)$
$Pv5 := P(tv)$	$S5 := S$
$\Delta P5 := \Delta P$	$W5 := W$

tgr5 = 99,957	*Δd5 = 3,218*
tv5 = 95,433	*Δd5GR = 1,683*
tkip5 = 98,546	*Δd5z = 3,338*
CPp5 = 56,794	*q5 = 1,613*
CPk5 = 63,597	*α52 = 1,454 * 10³*
ΔTn5 = 4,524	*K5 = 1,144 * 10³*
ΔTkor5 = 1,41	*Pgr5 = 1,002*

Pv5 = 0,85	*S5 = 35,097*
ΔP5 = 0,152	*W5 = 3,754*

Режимні параметри випарного апарата №5

Таблиця результатів розрахунку

1. Т-ра гріючої пари C	1	tgr	=		
2. Т-ра сокової пари C	2	tv			
3. Т-ра кипіння	3	tkip			
4.Початкова концентрація соку, %	4	CPp			
5.Кінцева концентрація соку, %	5	CPk			
6.Наявна різниця температур.	6	ΔTn			
7.Корисна різниця температур.	7	ΔTkor			
8.Фіз-хім. температ.депресія	8	Δd(tkip)			
9.Гідрост. температ. депресія	9	ΔdGR			
10.Сумарна температ. депресія	10	Δdz			
11.Тепловий потік, кВт/м2	11	q			
12.Коеф. тепловіддачі при кипінні	12	α2			
13.Коеф. теплопередачі	13	K			
14.Тиск гріючої пари, бар	14	P(tgr)			
15.Тиск сокової пари, бар	15	Pv5			
16.Різниця тисків пари, бар	16	ΔP5			
17.Витрата соку на ВА%	17	S			

	0	1
0	1	99.957
1	2	95.433
2	3	98.546
3	4	56.794
4	5	63.597
5	6	4.524
6	7	1.41
7	8	3.218
8	9	1.683
9	10	3.338
10	11	1.613
11	12	$1.454 \cdot 10^3$
12	13	$1.144 \cdot 10^3$
13	14	1.002
14	15	0.85
15	16	0.152
16	17	35.097
17		

(3о) корпус ВУ (апарат Роберта)

	Задано:		
1.	*Навантаження (випарена волога)*	*W, %*	13,896
2.	*Температура гріючої пари (початок сезону)*	*tgr,*	113,862
3.	*Початкова концентрація соку*	*CPp, %*	16,23
4.	*Витрата соку*	*S, %*	122,8
5.	*Поверхня теплообміну*	*F, F30, м²*	1800
6.	*Довжина труб*	*L, м*	4,3
7.	*Висота п'єзометричного рівня*	*hp, %*	40
8.	*Температура соку на вході в апарат*	*tp, °C*	120
9.	*Товщина стінки труб*	*δs, м*	$1,5 * 10^{-3}$
10.	*Теплопровідність матеріалу труб*	*λst, Вт/м*	17
11.	*Доброякісність соку*	*Db, %*	92
	Задані значення:		
12.	*Температура вторинної пари початок сезону*	*tv*	107,6
13.	*Кратність циркуляції*	*Nzr*	3

$$CPk := S \cdot \frac{CPp}{S - W}$$

$$CPo := \frac{CPp}{Nzr} + CPk \cdot \left(1 - \frac{1}{Nzr}\right)$$

$$CPcp := \frac{CPo + CPk}{2}$$

CPk = 18,301
CPo = 17,611
CPcp = 17,956

ТФВ конденсату при:

$$\nu(t) := \begin{cases} 1.43558 \cdot 10^{-6} - 2.7906 \cdot 10^{-8} \cdot t + 2.492 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 8.437 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.4451 \cdot 10^{-6} + 1.147 \cdot 10^{-10} \cdot t - 2.585 \cdot 10^{-11} \cdot t^2 + 9.56 \cdot 10^{-14} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda(t) := \begin{cases} 0.603 + 3.986 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2.467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 1.68 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 0.61618 + 1.1062 \cdot 10^{-3} \cdot t - 4.375 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Cp(t) := \begin{cases} 4.2083 - 1.852 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2.703 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 7.29 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ 4.1676 - 8.286 \cdot 10^{-5} \cdot t + 4.643 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 + 1.428 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

*v(t1) = 2,683 * 10^{-7}*	*λ(t1) = 0,685*	*Cp(t1) = 4,236*

$$\rho 1(t) := 1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$Pr(t) := \left(9.175 - 0.154 \cdot t + 1.044 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) - 2.467 \cdot 10^{-6} \cdot t^3$$

$$q := W \cdot \frac{r(tv) \cdot A}{(3.6 \cdot F) \cdot 2400} \qquad Rek := q \cdot \frac{L}{r(tgr) \cdot \rho 1(t1) \cdot \nu(t1)}$$

ρ1(t1) = 949,023
*r(t1) = 2,225 * 10^3*
Pr(t1) = 1,559
q = 7,194
Rek = 54,741

$$\alpha 10 := \begin{cases} 0.925 \cdot \left(\frac{\lambda(t1)^3 \cdot \rho 1(t1) \cdot r(tgr) \cdot 9.81}{\nu(t1) \cdot L \cdot q}\right)^{0.3333} \cdot Rek^{0.053} & \text{if } Rek \le 400 \\ \frac{Rek}{2300 + 41 \cdot Pr(tgr)^{-0.5} \cdot \left(Rek^{0.75} - 89\right)} \cdot \lambda(t1) \cdot \left(\frac{9.81}{\nu(t1)^2}\right)^{0.333} & \text{otherwise} \end{cases}$$

*α10 = 1,061 * 10^4.*

ТФВ соку (сиропу) при середній концентрації *CPcp*

$$U := 0.7$$

$$\alpha 1 := U \cdot \alpha 10$$

$$LA(t) := \left[(t + 100)^2 \cdot \left(7.5 \cdot 10^{-8} - 1.97 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp\right) + (t + 100) \cdot \left(4.8 \cdot 10^{-9} \cdot CPcp - 2.3 \cdot 10^{-5}\right)\right]$$

$$\lambda s(t) := \left(0.603 - \frac{28.73}{t + 100}\right)^{0.5} + CPcp \cdot \left[\left(LA(t) - 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot CPcp\right) - 1.4 \cdot 10^{-3}\right] \cdot 0.35$$

$$\sigma s(t) := \left[76 - 0.17 \cdot t + CPcp \cdot \left(5 \cdot 10^{-4} \cdot t + 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot Db - 0.34\right)\right] \cdot 10^{-3}$$

$$Cps(t) := 4187 - 4.187 \cdot CPcp \cdot (7.1 - 0.018 \cdot t - 0.011 \cdot Db)$$

$\alpha 1 = 7{,}427 * 10^3$	$LA(tv) = -3{,}049 * 10^{-3}$	$\lambda s(tv) = 0{,}652$	$\sigma s(tv) = 0{,}059$	$Cps(tv) = 3{,}881 * 10^3$

$$PP(t) := (1563.77 - 0.6 \cdot t) \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right) - (182.5 + 0.1177 \cdot t) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right)^{1.13} \cdot \left(\frac{CPcp}{100}\right)$$

$$\rho 1s(t) := \left(1004.7 - 0.206 \cdot t - 2.608 \cdot 10^{-3} \cdot t^2\right) \cdot \left(1 - \frac{CPcp}{100}\right) + PP(t)$$

$$B(t) := \left(0.6688 - \frac{98.4}{273.15 + t}\right)^{-1} + \left[2.357 \cdot 10^{12} \cdot (273.15 + t)^{-4.44} \cdot \left(\frac{1900 \cdot 100}{CPcp \cdot Db + 0.01} - 18\right)^{0.00245 \cdot (273.15 + t) - 1.771}\right]$$

$PP(tv) = 241{,}174$	$\rho 1s(tv) = 1{,}023 * 10^3$	$B(tv) = 2{,}614$

$$\nu s(t) := 10^{-9} \cdot 10^{B(t)}$$

$$\Delta d(t) := \Delta do \cdot 0.01622 \cdot \frac{(273.15 + t)^2}{r(t)}$$

$$\Delta do := \begin{cases} \dfrac{CPcp}{109.7 - 1.9 \cdot CPcp} & \text{if } CPcp < 37 \\ \dfrac{CPcp}{62.655 - 0.695 \cdot CPcp} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$r(t) := 2503.91 - 2.498 \cdot t + 2.07 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1.823 \cdot 10^{-5} \cdot t^3$$

$$\rho 2(t) := \begin{cases} -5.3326 \cdot 10^{-2} + 4.423 \cdot 10^{-3} \cdot t - 8.826 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 1.09 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{if } t \le 100 \\ -1.255 + 0.041 \cdot t - 4.68 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 2.417 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$vs(tv) = 4{,}114 * 10^{-7}$	$\Delta d(tv) = 0{,}25$	$\Delta do = 0{,}238$	$r(tv) = 2{,}236 * 10^3$	$\rho 2(tv) = 0{,}749$

$$PS(t) := 2.086 \cdot 10^{-9} \cdot t^6 - 8.76231 \cdot 10^{-12} \cdot t^7 + 2.124 \cdot 10^{-14} \cdot t^8 - 2.2652 \cdot 10^{-17} \cdot t^9$$

$$P(t) := \left(22.0972 - 2.08711 \cdot t + 0.08665 \cdot t^2\right) - 2.0723 \cdot 10^{-3} \cdot t^3 + 3.151 \cdot 10^{-5} \cdot t^4 - 3.1571 \cdot 10^{-7} \cdot t^5 + PS(t)$$

$$a := \frac{\lambda s(tv)}{\rho 1s(tv) \cdot Cps(tv)} \qquad Ga := 9.81 \cdot \frac{Lp^3}{\nu s(tv)^2}$$

$$Pe := q \cdot \frac{Lp}{a \cdot \rho 2(tv) \cdot r(tv)} \qquad Lp := \sqrt{\frac{\sigma s(tv)}{9.81 \cdot (\rho 1(tv) - \rho 2(tv))}}$$

*PS(tv) = 2,112 * 10^3*	*P(tv) = 1,311*	*a = 1,64 * 10^{-7}*	*Pe = 66,287*	*Ga = 9,405 * 10^5*	*Lp = 2,532 * 10^{-3}*

$$Kp := P(tv) \cdot \frac{Lp \cdot 10^5}{\sigma s(tv)} \qquad \Delta Tkor := \frac{q \cdot 1000}{K}$$

$$\alpha 2 := 3.25 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0.6} \cdot Kp^{0.7} \cdot Ga^{0.125} \cdot \frac{\lambda s(tv)}{Lp} \qquad \Delta P := P(tgr) - P(tv)$$

$$K := \left(\alpha 1^{-1} + \alpha 2^{-1} + \frac{\delta s}{\lambda st}\right)^{-1} \qquad tkip := tgr - \Delta Tkor$$

*Kp = 1,567 * 10^3*	*a2 = 2,407 * 10^3*	*K = 1,567 * 10^3*	*ΔTkor = 4,592*	*ΔP = 0,309*	*tkip = 109,27*

$$GR(t) := \left(0.0135712 - 5.271 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8.88 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 - 7.826 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 + 3.532 \cdot 10^{-10} \cdot t^4\right) - 6.445 \cdot 10^{-13} \cdot t^5$$

*GR(tv) = 2,208 * 10^{-4}*

$$\Delta dGR := GR(tv) \cdot \rho 1s(tkip) \cdot 9.81 \cdot hp \cdot \frac{L}{300}$$

$$tv := tkip - \Delta dGR - \Delta d(tkip)$$

$$\Delta Tn := tgr - tv$$

$$\Delta dz := \Delta d(tkip) + \Delta dGR$$

ΔdGR = 1,268
tv = 107,749
ΔTn = 6,113
Δdz = 1,521

tgr0 := tgr	Δd0 := Δd(tkip)
tv0 := tv	Δd0GR := ΔdGR
tkip0 := tkip	Δd0z := Δdz
CPp0 := CPp	q0 := q
CPk0 := CPk	α02 := α2
ΔTn0 := ΔTn	K0 := K
ΔTkor0 := ΔTkor	Pgr0 := P(tgr)
Pv0 := P(tv)	S0 := S
ΔP0 := ΔP	W0 := W

tgr0 = 113,862	*Δd0 = 0,252*
tv0 = 107,749	*Δd0GR = 1,268*
tkip0 = 109,27	*Δd0z = 1,521*
CPp0 = 16,23	*q0 = 7,194*
CPk0 = 18,301	*α02 = 2,407 * 10³*
ΔTn0 = 6,113	*K0 = 1,567 * 10³*
ΔTkor0 = 4,592	*Pgr0 = 1,62*

Pv0 = 1,317	*S0 = 122,8*
ΔP0 = 0,309	*W0 = 13,896*

Режимні параметри випарного апарата №(3о)

Таблиця результатів розрахунку

1. Т-ра гріючої пари С
2. Т-ра сокової пари С
3. Т-ра кипіння
4. Початкова концентрація соку, %
5. Кінцева концентрація соку, %
6. Наявна різниця температур.
7. Корисна різниця температур.
8. Фіз-хім. температ.депресія
9. Гідрост. температ. депресія
10. Сумарна температ. депресія
11. Тепловий потік, кВт/м2
12. Коеф. тепловіддачі при кипінні
13. Коеф. теплопередачі
14. Тиск гріючої пари, бар
15. Тиск сокової пари, бар
16. Різниця тисків пари, бар
17. Витрата соку на ВА%

$$\begin{pmatrix} tgr \\ tv \\ tkip \\ CPp \\ CPk \\ \Delta Tn \\ \Delta Tkor \\ \Delta d(tkip) \\ \Delta dGR \\ \Delta dz \\ q \\ \alpha 2 \\ K \\ P(tgr) \\ Pv0 \\ \Delta P \\ S \end{pmatrix} =$$

	0
0	113.862
1	107.749
2	109.27
3	16.23
4	18.301
5	6.113
6	4.592
7	0.252
8	1.268
9	1.521
10	7.194
11	2.407·103
12	1.567·103
13	1.62
14	1.317
15	-0.302
16	122.8
17	
18	
19	

Результати розрахунку показників роботи ВУ А=3600

Сік поступає на 3о корпус ВУ (по вторинній парі 3 корпус ВУ)
ВА 1 кристалізації споживають пару з окремого 3о корпусу ВУ

	1K	2K	3K	4K	5K
0	tgr1	tgr2	tgr3	tgr4	tgr5
1	tv1	tv2	tv3	tv4	tv5
2	tkip1	tkip2	tkip3	tkip4	tkip5
3	CPp1	CPp2	CPp3	CPp4	CPp5
4	CPk1	CPk2	CPk3	CPk4	CPk5
5	ΔTn1	ΔTn2	ΔTn3	ΔTn4	ΔTn5
6	ΔTkor1	ΔTkor2	ΔTkor3	ΔTkor4	ΔTkor5
7	Δd1	Δd2	Δd3	Δd4	Δd5
8	Δd1GR	Δd2GR	Δd3GR	0	0
9	Δd1z	Δd2z	Δd3z	Δd4z	Δd5z
10	q1	q2	q3	q4	q5
11	α12	α22	α32	α42	α52
12	K1	K2	K3	K4	K5
13	Pgr1	Pgr2	Pgr3	Pgr4	Pgr5
14	Pv1	Pv2	Pv3	Pv4	Pv5
15	ΔP1	ΔP2	ΔP3	ΔP4	ΔP5
16	S1	S2	S3	S4	S5
17	W1	W2	W3	W4	W5
18	F1	F2	F3	F4	F5

=

	1K 0	2K 1	3K 2	4K 3	5K 4
0	129.5	122.016	114.162	105.457	99.957
1	122.616	114.862	106.457	100.957	95.433
2	123.81	116.917	109.873	104.176	98.546
3	18.3	25.256	38.803	50.808	56.794
4	25.256	38.803	50.808	56.794	63.597
5	6.884	7.155	7.705	4.5	4.524
6	5.69	5.099	4.288	1.28	1.41
7	0.422	0.932	1.733	2.432	3.218
8	0.772	1.123	1.683	0	0
9	1.194	2.056	3.416	3.416	3.338
10	11.628	7.713	4.356	1.765	1.613
11	$3.499 \cdot 10^3$	$2.281 \cdot 10^3$	$1.283 \cdot 10^3$	$1.822 \cdot 10^3$	$1.454 \cdot 10^3$
12	$2.044 \cdot 10^3$	$1.513 \cdot 10^3$	$1.016 \cdot 10^3$	$1.379 \cdot 10^3$	$1.144 \cdot 10^3$
13	2.657	2.109	1.636	1.217	1.002
14	2.15	1.674	1.26	1.038	0.85
15	0.515	0.444	0.374	0.179	0.152
16	108.924	78.924	51.37	39.232	35.097
17	30	27.554	12.138	4.135	3.754
18	$2.36 \cdot 10^3$	$3.3 \cdot 10^3$	$2.6 \cdot 10^3$	$2.2 \cdot 10^3$	$2.2 \cdot 10^3$
19					

Найменування величин: 0-т-ра гріючої пари, С;1-т-ра сокової пари, С; 2- т-ра кипіння, С; 3- початкова концентр. соку, %; 4-кінцева концентр соку, %; 5- наявна різниця т-тур, С 6- корисна різниця т-тур,С;7-фіз.хім. темп. депрес.,С; 8- гідрост. темпер. депресія, С; 9- сум. темпер. депресія, С; 10-тепловий потік, кВт/м2 11- коефіц. тепловіддачі при кипінні, вТ/м2 К; 12- коефіц. теплоперед, вТ/м2К; 13- тиск гріючої пари, бар; 14-тиск вторинної пари, бар; 15-різниця тисків, бар; 16-витрата соку на апарат, %; 17 - випарена волога, %.18 - поверхня теплообміну.

ВИСНОВКИ

1. В цукровій промисловості основними чинниками, які мають переважаючий вплив на теплоперенесення є: а) накипоутворення , б) загазованість нагрівних камер з переважаючим впливом дифузійного опору в термічному опорі тепловіддачі під час конденсації водяної пари.

2. Внаслідок проблем з накипоутворенням в цукровій промисловості можливе застосування лише таких конструктивних інтенсифікаторів, які дозволять здійснювати періодичне механічне очищення поверхні тепловіддачі, або застосовувати на ділянках теплової схеми, де відсутнє випадання кальцієвих відкладень, а саме – на станціях нагрівання сиропів та паток.

3. На ділянках тепло-технологічної схеми, де здійснюється нагрівання соку зі значним вмістом органічних сполук (дифузійний сік) основним інтенсифікуючим тепловіддачу фактором є швидкість потоку в трубах (2,4 – 3 м/с), за якої, внаслідок динамічної дії потоку рідини, практично відсутнє забруднення поверхні. (підігрівач дифузійного соку утфільною парою).

4. В підігрівачах соку перед гарячим вапнуванням, в якому присутні частинки вапна від повернення нефільтровоного соку 1 сатурації, має місце самоочищення поверхні теплообміну за умови підтримування швидкості соку більше за 1,2 м/с.

5. Основним інтенсифікуючим тепловіддачу фактором під час конденсації вторинної пари з корпусів випарної установки є посилена вентиляція нагрівних камер через газову відтяжку, яка повинна розташовуватися з «холодного» кінця теплообмінника, і яка повинна мати достатній діаметр для здійснення посиленої вентиляції.

6. Енергоефективним способом вентиляції нагрівних камер є спосіб, за якого паро-газова суміш з відтяжок направляється в додаткові споживачі пари, які встановлюються перед основним споживачем в режимі протитечії потоків.

7. Енергоефективним і найбільш дієвим способом вентиляції нагрівних камер випарних апаратів у складі випарної установки є спосіб, за якого споживачі вторинної пари з $N^{го}$ корпусу ВУ споживають пару, яка проходить транзитом нагрівну камеру $(N+1)^{го}$ корпусу ВУ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Прядко М.О., Василенко С.М., Петренко В.П. Проектування систем теплоенерго-використання цукрових заводів (частина №1) Реєстраційний номер електронного навчального посібника (1 частина) у НМУ № 33.97 – 11.07.2019

2. Петренко В.П., Прядко М.О., Рябчук О.М., Цьось А.Л. Моделювання теплообміну у вільно-стікаючих слабо-турбулентних плівках рідин під час пароутворення. Наукові праці НУХТ, 2020, том.26, №3.с . 147 – 157.

3. Петренко В.П., Прядко М.О.,Рябчук О.М. Режими погіршеної тепловіддачі в плівкових випарних апаратах. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції цукровиків України “Перспективи розвитку цукрової промисловості України”. 26 -27 березня 2019 р. – К.: НУХТ, 2019. –с. 54- 67.

4. Valentyn Petrenko,Yaroslav Zasyadko, Mykola Pryadko. Modeling of heat transfer deterioration regimes when concentrationg solutions in industrial film evaporators. Ukrainian Food Journal. 2019. Volume 8. Issue 2. p. 329 – 342.