

**ІНСТИТУТ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

ШТАНГЕЄВ К.О., ХРИСТЕНКО В.І.

**РОЗВИТОК ТЕПЛОВИХ СХЕМ
ЦУКРОВИХ ЗАВОДІВ**

(Цикл лекцій)

Київ–2003

1. ВСТУП

Ощадливе використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), а також раціональне використання сировини та допоміжних матеріалів, має вирішальне значення для підвищення ефективності цукрового виробництва. Рівень питомих витрат ПЕР при виробництві цукру із цукрових буряків в значній мірі визначає його собівартість і конкурентноздатність.

Світове підвищення цін на паливо в 70-і роках привело до значного скорочення питомих витрат ПЕР у цукровому виробництві, насамперед у країнах ЄС. В цих країнах за останні два десятиріччя питомі витрати палива на виробництво цукру із буряків скоротилися практично на 50 %, а на кращих бурякоцукрових заводах комплексна витрата умовного палива досягла величин 2,0-2,5% до маси буряків.

Цьому досягненню сприяло не тільки подорожчання палива, але і також цілеспрямована законодавча політика держав в області енергозбереження й охорони навколишнього середовища, а також наявність у цих країнах розвиненого машинобудування і приладобудування, висококваліфікованих технічних і наукових кадрів, планове ведення господарства, стабільне фінансове положення підприємств, концентрація виробництва і їхня широка міждержавна інтеграція.

Апробовані передові підходи по рішенням проблеми енергозбереження в даний час почали поширюватися у світі як на бурякоцукрових заводах, так і на заводах по переробці цукрової тростини.

Для цукрових заводів СНД світовий досвід по енергозбереженню й удосконалюванню теплових схем і теплообмінного устаткування надзвичайно актуальний, тому що в силу соціально-економічних потрясінь вони істотно відстали в цій сфері. Питомі витрати умовного палива на бурякоцукрових заводах СНД, як правило, у межах 6-8% до маси буряків. Лише на деяких цукрових заводах досягнуто рівень питомих витрат палива 4-5% до маси буряків (наприклад, Чортковский, Жабинковский, Слуцкий цукрові заводи).

Тому важливо систематизувати підходи в галузі енергозберігання, енергозберігаючі заходи та принципи удосконалювання теплових схем на прикладі бурякоцукрових заводів Західної Європи. Розвиток тепловикористання на заводах по переробці цукрової тростини, хоча і має

свої особливості, в основному повторює досягнення, отримані бурякоцукровими заводами. При переробці цукру-сирцю застосовуються істотно спрощені теплові схеми, а рівень питомих витрат палива на переробку цукру-сирцю значною мірою залежить від суто технологічних аспектів.

2. Загальні принципи економії палива в бурякоцукровому виробництві

У бурякоцукровому виробництві витрата палива на технологічні потреби спрямований на виробництво тепла (у виді пари), електричної енергії, а також на виробництво вапна і вуглекислого газу. У загальному випадку комплексна витрата умовного палива (палива з теплотворною здатністю 29323 кДж/кг) на комплексні питомі енерговитрати визначається за формулою:

$$b_{\text{компл}} = q_T \cdot b_T + e_{ee} \cdot b_{ee} + x_v \cdot b_v \quad (1)$$

де:

q_T - питома витрата теплової енергії на технологічні потреби, МДж/100 кг буряків;

b_T - питома витрата палива на вироблення тепла в ТЕЦ, кг у.п./МДж;

e_{ee} - питома витрата електроенергії на технологічні потреби, МВт-г/100 кг буряків;

b_{ee} - питома витрата палива на вироблення електричної енергії, кг у.п./МВт-ч;

x_v - питома витрата вапна на виробництво цукру з буряків, кг СаО/100 кг буряків;

b_v - питома витрата палива на виробництво вапна (СаО), кг у.п./кг СаО.

Таким чином, для зменшення витрати палива в бурякоцукровому виробництві необхідно забезпечити зменшення споживання теплової, електричної енергії та вапна на технологічні потреби, а також знизити питомі витрати палива на їхнє виробництво відповідно в ТЕЦ і вапняно-газовому господарстві.

Основною складовою, яка визначає величину питомої витрати палива, є витрата палива на виробництво теплової енергії — $q_m \cdot b_m$. Зниження витрати палива за рахунок інших складових (виробництво електричної енергії і вапна) забезпечується за рахунок зниження їхнього споживання в технологічному процесі. Хоча ці складові і можуть

впливати на стратегію енергозбереження в бурякоцукровому виробництві, все-таки вони є вторинними, у порівнянні з важливістю зменшення витрат палива для виробництва тепла (пари) на технологічні потреби.

Оскільки сучасні ТЕЦ обладнаються парогенераторами, які мають к.к.д. на рівні 88-93 % — близькому до граничного, основним напрямком зниження витрати палива є зниження споживання відпрацьованої пари з ТЕЦ у цукровий завод.

На західноєвропейських цукрових заводах в теплових схемах цукрових заводів жорстко витримується принцип, що відпрацьована пара в цукровому заводі має застосовуватися тільки для обігріву першого корпусу випарної установки та підігрівника соку перед випарною установкою останньої групи. Всі інші споживачі використовують вторинну пару з корпусів випарної установки.

Випарна установка цукрового заводу виконує одночасно дві функції:

- теплотехнічну, яка полягає в забезпеченні гріючою парою споживачів тепла (підігрівники, вакуум-апарати й ін.);
- технологічну, що полягає у видаленні з очищеного соку значної частини води.

Витрата пари на випарну установку визначається як:

$$D = E_1 + E_2 + \dots + E_n \quad (2)$$

де n - кількість корпусів випарної установки ;

$E_1, E_2 \dots E_n$ - величина відбору вторинної пари на зовнішні споживачі відповідно з відповідних корпусів випарної установки.

Загальна кількість води, що випаровується із соку у випарній установці становить:

$$\sum W = S_0 * \left(1 - \frac{CP_c}{CP_{cup}} \right) = E_1 + 2 * E_2 + 3 * E_3 + \dots + n * E_n \quad (3)$$

де S_0 - кількість соку, що надходить у перший корпус випарної установки ;

CP_c, CP_{cup} - вміст сухих речовин відповідно в соку перед випарною установкою й у сиропі на виході з неї, % СР.

Характеристикою економічності згущення соку у випарній установці служить величина кратності випаровування. Це відношення кількості випареної води у випарній установці, до кількості гріючої пари,

(звичайно це суміш відпрацьованої пари турбін і ретурної пари), яка подається у випарну установку. Чим вище величина кратності випаровування, тим економічнішою в тепловому відношенні являється випарна установка, оскільки на випарування необхідної кількості води, потрібно витратити менше первинної пари:

$$m = \frac{\sum W}{D} \quad (4)$$

Однак високе значення кратності випаровування випарної установки — це лише одне з необхідних умов підвищення економічності теплової схеми бурякоцукрового заводу. Загальна витрата пари на технологічні потреби залежить також і від кількості пари яку споживають на окремих технологічних ділянках технологічного для нагрівання продуктів і уварювання утфелю у вакуум-апаратах.

Витрата пари на нагрівання соку визначається за формулою:

$$d = \frac{1.03 * G * c * (t_k - t_n)}{r} \quad (5)$$

де: d — витрата пари на нагрівання соку, % до маси буряків;

G — витрата соку, % до маси буряків;

c — теплоємність соку, кДж/(кг*°С);

t_n, t_k — початкова і кінцева температури соку, що нагрівається, °С;

r – теплота конденсації, кДж/кг.

Витрата пари на технологічні споживачі формує величини паровідборів з окремих корпусів випарної установки, а отже, і загальну витрату пари на випарну установку (див. формулу 2). При цьому величини і розподіл паровідборів повинні бути збалансований таким чином, щоб випаровувалася необхідна кількість води у випарній установці (див. формулу 3). У випадку, якщо розподіл паровідборів буде таким, що не забезпечується випаровування необхідної кількості води із соку, потрібно буде збільшити вихід пари з останньої ступені випарної установки конденсатор або відбудеться збільшення витрати пари на уварювання утфелю в вакуум-апаратах у зв'язку з недостатньою концентрацією сиропу. У кінцевому рахунку все це приводить до збільшення витрати пари на випарну установку і в цілому на технологічні потреби цукрового виробництва.

Перезгущення соку у випарній установці також небажано. Воно пов'язане з погіршенням якості цукру—цільового продукту виробництва, погіршенням умов фільтрації сиропу, пригоранням поверхні теплообміну випарних установок. Щоб цього уникнути застосовують подачу чи конденсату або хімочищеної води в сік перед випарною установкою або по ступенях випаровування. Все це у свою чергу також приводить до перевитрат пари на технологічні потреби і відповідної перевитрати палива.

Таким чином, для конкретних умов роботи випарної установки цукрового заводу мінімальна витрата пари на технологічні потреби буде досягатися при забезпеченні необхідної концентрації сиропу на виході з випарної установки при ліквідації виходу пари в конденсатор з останнього корпусу випарної установки.

Якщо витримується дана умова, подальше зниження витрати пари можливо за рахунок зменшення сумарної величини паровідборів із корпусів випарної установки. Аналіз формули (5) свідчить, що зменшення витрат пари на підігрів продуктів цукрового виробництва можливо як за рахунок зменшення кількості розчину, що нагрівається, так і зменшенням величини його нагрівання (тобто за рахунок зменшення витрат тепла та пониженням температурного режиму технологічного процесу).

Зменшення кількості нагріваемого розчину можливо, насамперед, за рахунок зменшення відкачки соку з дифузійної установки, а також зменшенням його розведення водою в процесі очищення. На зменшення розведення соку позитивно впливає зниження витрат вапняного молока на очищення, підвищення його концентрації, а також зменшення кількості промивів, які повертаються в сік. З метою зменшення кількості дефекованого соку на цукрових заводах Західної Європи використовується повернення на преддефекацію згущеної суспензії, а не частини нефільтрованого соку.

Зменшення діапазону нагрівання продукту (соку) забезпечується за рахунок пониження робочих температур на окремих технологічних ділянках, а також шляхом зменшення загальних тепловтрат у процесі очищення. Для зменшення потреб в парі дуже ефективно використання тепла вторинних енергоресурсів — тепла конденсатів і тепла утфельної пари.

Оскільки основним по величині споживачем пари із випарної установки являються вакуум-апарати першої кристалізації, вельми важливо зменшити витрати пари на уварювання утфелю й у цілому на

продуктове відділення. Для цього потрібно забезпечити максимально можливу концентрацію сухих речовин сиропу та клеровки, мінімізувати сокові або водяні підкачки у вакуум-апарати, а також введення води на різних стадіях обробки утфелю.

3. Розвиток випарних установок на цукрових заводах західної Європи.

На цукрових заводах СНД найбільше широко використовуються чотирьохкорпусні з концентратором випарні установки. Кратність випаровування таких випарних установок становить, звичайно 2-2,6, а витрата пари на перший корпус такої випарної установки складає 40-50% до маси буряків. Крім того, пара з ТЕЦ у кількості 3-8 % до маси буряків витрачається на різні споживачі в продуктовому і бурякопереробному відділеннях.

На кращих закордонних цукрових заводах прагнення підвищити теплову економічність, привело до створення випарних установок, що мають кратність випаровування нв рівні 4-х. У цьому випадку витрата ретурного пари на випарну установку може зменшуватися до 17% до маси буряків [2,3].

За останні два десятиріччя на закордонних цукрових заводах відбувся істотний розвиток схем випарних установок. Як і раніше найбільш розповсюдженої залишається п'ятикорпусна (у п'ять ступіней випаровування) випарна установка з послідовним рухом пари і соку від першої ступені випаровування до останньої [3]. У 80-90 р. все ширше почали застосовуватися 6 та 7-корпусні випарні установки. З'явилася інформація про застосування 8-корпусних випарних установок. Ускладнилися схеми руху соку і пари по корпусах випарної установки - почали використовуватися елементи протируху пари та соку по ступенях випарної установки. Однак, незважаючи на всі наявні розмаїтості, це усе випарні установки з теплообміном через поверхню теплообміну. Не зустрічаються дані про промислове використання в цукровій промисловості адіабатних випарних установок або про застосування інших методів видалення води із цукрового розчину. Однак проводяться пошуки по створенню більш дешевих поверхневих випарників [4].

Широке застосування п'ятикорпусних випарних установок обумовлене тим, що при використанні випарних апаратів із природною циркуляцією необхідно забезпечити достатні перепади температур на кожній зі ступеней випаровування, а наявний діапазон температур в якому може працювати випарна установка (від 135 °С до 85 °С), як правило, не дозволяє забезпечити ефективну роботу більш як 5 ступеней випаровування.

За рахунок обмеження кількості соку, що подається у випарну установку на згущення, підвищення його початкової концентрації та за рахунок мінімізації розведення при очищенні, застосування високоефективного теплообмінного і технологічного устаткування (вакуум-апаратів, підігрівників та теплообмінників), максимального використання вторинних енергоресурсів вдається на п'ятикорпусних випарних установках з випарними апаратами типу Роберта досягати високих кратностей випаровування.

Хоча, на бурякоцукрових заводах СНД широко поширені п'ятикорпусні (п'ятикорпусні і чотирьохкорпусні з концентратором) випарні установки, п'ятикорпусні випарні установки, які застосовуються на західноєвропейських бурякоцукрових заводах мають істотні відмінності в режимних характеристиках. У таблиці 1 наведено режимні характеристики п'ятикорпусної випарної установки за даними німецької фірми ВМА, а для порівняння в таблиці 2 типова режимна характеристика за аналогічними показниками для чотирьохкорпусної з концентратором випарної установки.

Таблиця 1

№ пп	Найменування параметра	Номер корпусу випарної установки				
		1	2	3	4	5
1.	Температура гріючої пари, °С	131,53	125,49	118,95	111,29	102,14
2.	Температура вторинної пари, °С	125,76	119,27	111,69	102,65	90,15
3.	Фізико-хімічна депресія, °С	0,69	0,93	1,43	2,48	4,71
4.	Висота гріючих труб, м	4,2	3,2	3,2	3,0	2,7
5.	Відносний рівень соку, %	41	45	51	60	67
6.	СР розчину по корпусах, %	19,94	30,09	44,31	60,19	73,16
7.	Випарено води, % до м.б.	30,0	27,0	17,0	9,5	4,5
8.	Величина паровідбору, % до м.б.	3,0	10,0	7,5	5,0	4,5

№ пп	Найменування параметра	Номер корпусу випарної установки				
		1	2	3	4	5
9.	Втрата температури між корпусами, °С		0,27	0,32	0,40	0,41

Таблиця 2

№ пп	Найменування параметра	Номер корпусу випарної установки				
		1	2	3	4	5
1.	Температура гріючої пари, °С	131,0	122,16	113,20	101,71	94,87
2.	Температура вторинної пари, °С	124,54	115,50	104,08	97,51	91,0
3.	Фізико-хімічна депресія, °С	0,50	1,06	2,29	2,63	2,70
4.	Висота гріючих труб, м	3,5	3,5	4,3	3,5	2,5
5.	Відносний рівень соку, %	30	40	45	55	65
6.	СР розчину по корпусах, %	19,99	36,08	57,46	62,0	63,6
7.	Випарено води, % до м.б.	49,06	47,91	22,15	2,73	0,87
8.	Величина паровідбору, % до м.б.	1,15	25,76	19,42	1,86	0,87
9.	Втрата температури між корпусами, °С		1,88	1,23	0,08	0,01

Зпівставляючи дані в таблицях 1 і 2 слід зазначити:

При практично однаковій температурі гріючої пари першого корпусу температура вторинної пари п'ятого корпусу по таблиці 1 близька до температури четвертого корпусу випарної установки по таблиці 2. Це дозволяє забезпечити істотно більше навантаження на п'ятий корпус випарної установки по таблиці 1.

Навантаження по корпусах випарної установки, приведеної в таблиці 1 істотно більш рівномірні, у порівнянні з випарною установкою по таблиці 2.

Слід особливо зазначити порівняно малі втрати температури в трубопроводах між 1 і 2 корпусом для режиму в таблиці 1.

Розподіл паровідборів, характерне для режиму 1 представлено на рис 1.

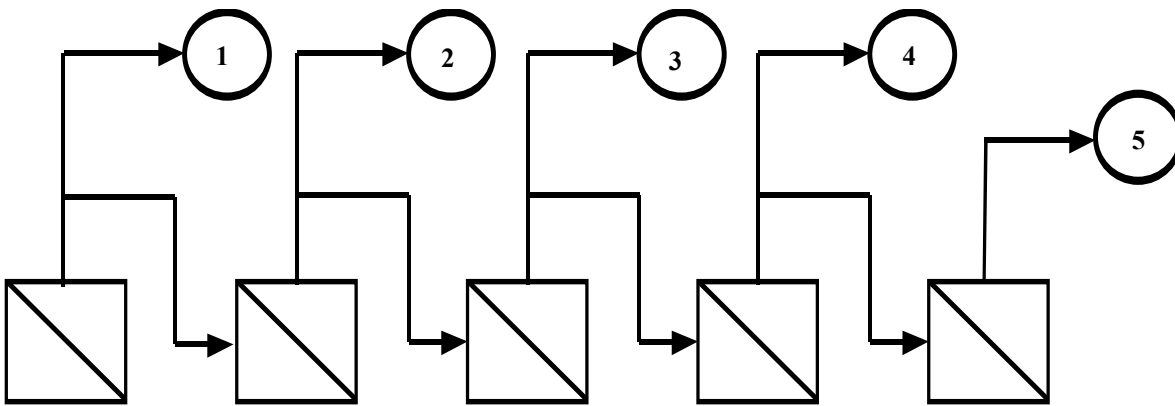


Рис. 1. Типовий розподіл паровідборів з п'ятикорпусної випарної установки.

1,2,3 – нагрів соку перед випарною установкою;

4 – нагрів соку перед випарною установкою;

– обігрів вакуум-апаратів;

– нагрів соку перед 2 сатурацією;

– сушарка цукру;

5 – нагрів дефекованого соку;

– нагрів продуктивних відтоків;

– нагрів споживачів бурякопереробного відділення.

Основний паровідбір приходить на 4 корпус випарної установки. При цьому для нагрівання преддефекованого соку використовується утфельна пара із вакуум-апаратів, а також тепло конденсатів зі збірника п'ятого корпусу випарної установки.

На такого типу випарних установках можливе досягнення витрат пари на перший корпус порядку 25-30 % до маси буряків, що при тиску гострої пари з парогенераторів ТЕЦ 4-8,5 МПа та витратах вапна на очітку соку до 1,5 % СаО до маси буряків, дозволяє досягати питомих комплексних витрат палива на рівні 3,1-3,3 кг умовного палива на 100 кг буряків.

З метою подальшого зменшення витрат пари, а отже і палива, на технологічні потреби почали застосовувати схеми випарних установок з елементами протируху соку та пари — так званим передвипаровуванням. У цьому випадку очищений сік надходить не в перший, а в четвертий корпус випарної установки. У цьому корпусі випаровується 8-10 % до маси буряків води із соку. Потім цей сік нагрівається до температури кипіння в

першому корпусі і надходить на випарювання в перший корпус випарної установки.

Таким чином, за рахунок зменшення кількості соку, що нагрівається, перед випарною установкою додатково зменшується величина паровідборів із випарної установки, а отже, і загальна витрата пари на технологічні потреби. В кінцевому результаті забезпечується зменшення витрат пари на технологічні потреби порядку 1-1,5 % до маси буряків. Однак слід зазначити, що в цьому випадку в перший корпус надходить уже частково згущений сік і в меншій кількості. Для того, щоб забезпечити необхідну якість отриманого сиропу, необхідно скоротити час перебування соку при високих температурах. Тому схема з передвипаровуванням використовується переважно на випарних установках, обладнаних плівковими або пластинчастими випарними апаратами, в яких забезпечується мала тривалість перебування розчину.

Схеми з передвипаровуванням соку перед випарною установкою отримали подальший розвиток у вигляді двоступінчастих вакуумних випарників, які обігріваються утфельною парою з вакуум-апаратів. У цьому випадку в таких попередніх випаровувачах підтримується розрідження вище, ніж у вакуум-апаратах. Очищений сік перед передвипаровуванням проходить через пластинчастий теплообмінник в якому він передає тепло вже згущеному соку, який виходить із передвипаровувача.

Широке поширення плівкових випарних апаратів, а згодом більш ефективних пластинчастих, дозволило цукровим заводам західної Європи зменшити величини необхідних теплоперепадів на ступенях випарної установки та збільшити кількість корпусів випарної установки до 6-7. При цьому температура кипіння соку в першому корпусі підвищується до 129-135 °С, а температура вторинної пари останнього корпусу підтримується на рівні 85-90 °С.

4. Застосування компресії вторинної пари випарної установки.

Компресія пари дозволяє без збільшення відбору пари із випарної установки забезпечувати необхідне згущення соку. У бурякоцукровому виробництві компресія пари використовується для підвищення і стабілізації концентрації одержуваного сиропу, а також для виключення виходу пари з останнього корпусу в конденсатор. Це робить досить

привабливим застосування компресії пари і спроби її використання в цукробуряковому виробництві відомі ще з початку ХХ століття.

Компресія пари дозволяє збільшити кратність випаровування випарної установки без збільшення числа ступеней випарної установки або переносу паровідборів на останні ступені випаровування. Відповідно не потрібно кардинальна перебудова всього теплового господарства цукрового заводу.

Спочатку застосовувалися більш прості струменеві компресори пари, а згодом, завдяки успіхам розвитку машинобудування, почали застосовуватися економічні механічні компресори (звичайно турбокомпресори).

Принципи раціонального використання компресії вторинної пари випарної установки бурякоцукрового заводу розглядався в 1981-91 р. Бало, Іверсоном, Урбанеком [3]. Типовим, і найбільше широко застосовуваним, являється стиснення вторинної пари на одній зі ступеней випарної установки. Це обумовлене меншою величиною ступеня стиснення пари і мінімальними питомими енерговитратами на компресію. Звичайно застосовується компресія вторинної пари першого корпусу випарної установки, хоча можливі випадки компресії пари проміжних і навіть останньої ступіні випарки. При компресії утфельної пари (вторинної пари з вакуум-апаратів) необхідні дуже значні витрати енергії та величини об'ємної продуктивності компресору.

У 70-х роках на цукрових заводах фірми DDS (Данія) застосовувалася компресія вторинної пари другого корпусу до параметрів ретурної пари (тобто на дві ступені випарки). Це дозволяє в ще більшій мірі підвищити випарну здатність випарної установки, але вимагає збільшення питомих енерговитрат на роботу компресору.

Однак, у зв'язку зі зниженням витрати пари на технологічні потреби до 25-30 % до маси буряків, дуже гострий характер набула проблема забезпечення цукрового заводу електроенергією власного виробництва через зменшення кількості пари, що подається на турбіни. Доцільність самозабезпечення цукрових заводів електроенергією диктується її низькою собівартістю завдяки дуже вигідним комплексним виробництвом електричної і теплової енергії. На цукровому заводі питомі витрати умовного палива на виробництво 1 кВт-г електроенергії в 1,5-2 рази нижчі, ніж на найсучасніших ТЕС або АЕС.

За інформацією іноземних фахівців, проблема забезпечення цукрового заводу електроенергією з власних ТЕЦ може ставати однією з найважливіших проблем при впровадженні енергозберігаючих заходів. У деякій мірі це питання вирішується переходом ТЕЦ цукрових заводів на більш високі параметри пари – 6-8,5 МПа з температурою перегрітої пари до 520 °С і відповідним збільшенням питомого вироблення електроенергії. Застосовуються також заходи щодо економії витрати електроенергії на технологічні потреби. Саме у світлі цього можливість використання компресії пара значно збузилася.

Звичайно використовується механічна компресія пари на цукрових заводах, які використовують технологію виводу частини згущеного сиропу на збереження. У цьому випадку зменшення відбору пари на уварювання утфелю компенсується паровими компресорами, що дозволяє обійтися меншим числом ступеней випаровування на випарній установці.

5. Конструкції випарних і теплообмінних апаратів.

Забезпечення економічних режимів роботи теплових схем покладається на теплообмінне устаткування. З цього погляду до цієї категорії можна віднести випарні апарати, підігрівники і теплообмінники, вакуум-апарати, конденсатори і кристалізатори різних типів. Більшість з цього устаткування грає одночасно двояку роль — теплового і технологічного устаткування тому до них пред'являються також і певні технологічні вимоги, що звичайно стосується збереження якості оброблюваного продукту.

5.1. Випарні апарати.

Випарні апарати є найважливішим елементом теплових схем цукрового заводу. Вони повинні мати хороші теплотехнічні показники (високі значення коефіцієнтів теплопередачі, працювати при низьких значеннях температурних перепадів), а також повинні бути надійні та прості в експлуатації. З погляду виконання технологічних вимог випарні апарати повинні забезпечувати мінімальні величини часу перебування розчину в апаратах оскільки цей параметр визначає величини втрат цукру від термічного розкладання і наростання кольоровості сиропу. Значення величини часу перебування здобуває особливе значення в зв'язку з

прагненням підвищити температурний режим випарної установки, що є однією з основних передумов переносу паровідборів на останні ступіні випаровування з метою підвищення кратності випару випарної установки.

5.1.1. Випарні апарати з природною циркуляцією розчину

Випарні апарати з природною циркуляцією розчину (у закордонній літературі звичайно позначаються як випарні апарати Роберта) мають дуже широке поширення в цукровій промисловості і на сьогоднішній день усе ще є найбільш розповсюдженими. Ці випарні апарати прості мал.2) по конструкції і надійні в експлуатації. Саме ці якості забезпечили випарним апаратам типу Роберта повна перевага в цукровій промисловості протягом 2/3 двадцятого сторіччя. Для країн СНД випарні апарати з природною циркуляцією залишаються практично єдиним типом застосовуваних апаратів.

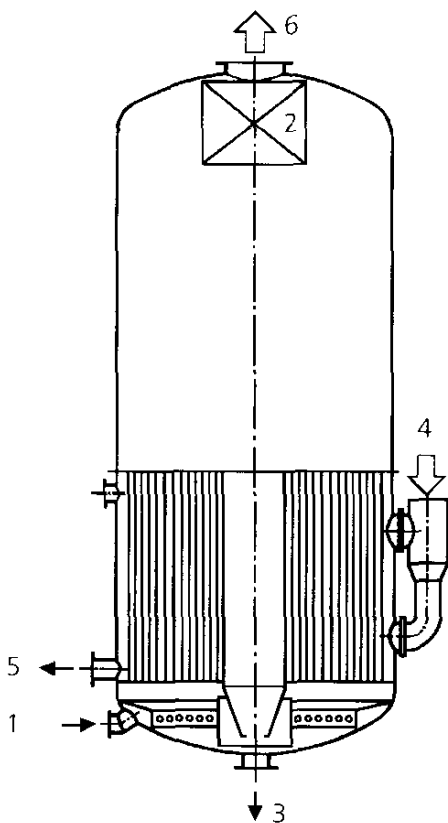


Рис.2. Випарний апарат з природною циркуляцією розчину (типу Роберта).
1– вхід соку, 2– сепаратор вторинної пари, 3 – вихід згущеного соку, 4 – вхід гріючої пари, 5 – вихід конденсату.

Відмінністю в конструкціях випарних апаратів, застосовуваних у даний час у СНД і на західноєвропейських цукрових заводах являється те, що там застосовуються на останніх корпусах випарні апарати з більш короткими трубками теплообміну. Це дозволяє трохи знизити втрати температурного напору від гідростатичної депресії. У той же час застосування більш коротких теплообмінних трубок приводить до збільшення діаметра випарного апарату, робить його нетранспортабельним у зібраному виді і включає необхідність робіт по остаточній зборці випарного апарату при його монтажі на цукровому заводі.

Величини поверхонь теплообміну випарних апаратів із природною циркуляцією, звичайно, до 3200 м^2 , однак є відомості про апарати такого типу з площею поверхні теплообміну до 6000 м^2 [5].

Основними недоліками випарних апаратів із природною циркуляцією соку являється значна величина часу перебування розчину в апараті, змішання вже згущеного розчину з поступаючим у випарний апарат, відносно низькі значення коефіцієнтів теплопередачі і значні величини гідростатичних депресій, особливо для останніх ступіней випарної установки.

З метою зменшення, хоча б часткового, цих недоліків намагаються створити режими роботи, близькі до однопрохідних [6].

5.1.2. Плівкові випарні апарати

Принципові конструкції плівкових випарних апаратів представлені на рис. 3. Такі випарні апарати почали знаходити застосування в цукровій промисловості в 60-х роках. Основними достоїнствами плівкових випарних апаратів являється значне зменшення часу перебування розчину і збільшення значень коефіцієнтів теплопередачі в порівнянні з випарними апаратами тип Роберта. Особливо істотне відносне збільшення коефіцієнтів теплопередачі спостерігається при високих концентраціях цукрового розчину. Крім того, у плівкових випарних апаратах відсутні втрати різниці температур від гідростатичної депресії.

Малий час перебування розчину в плівкових випарних апаратах дозволяє знизити втрати цукру і наростання кольоровості навіть при підвищенні температурного режиму на випарній установці. Завдяки цим перевагам плівкових випарних апаратів з'явилася можливість створювати випарні установки з великим числом (6-8) ступіней випаровування.

Плівкові випарні апарати мають велику висоту теплообмінних труб (8-15 м), що дозволяє створювати випарні апарати з площею поверхні теплообміну до 8000 м² в одному апараті [5].

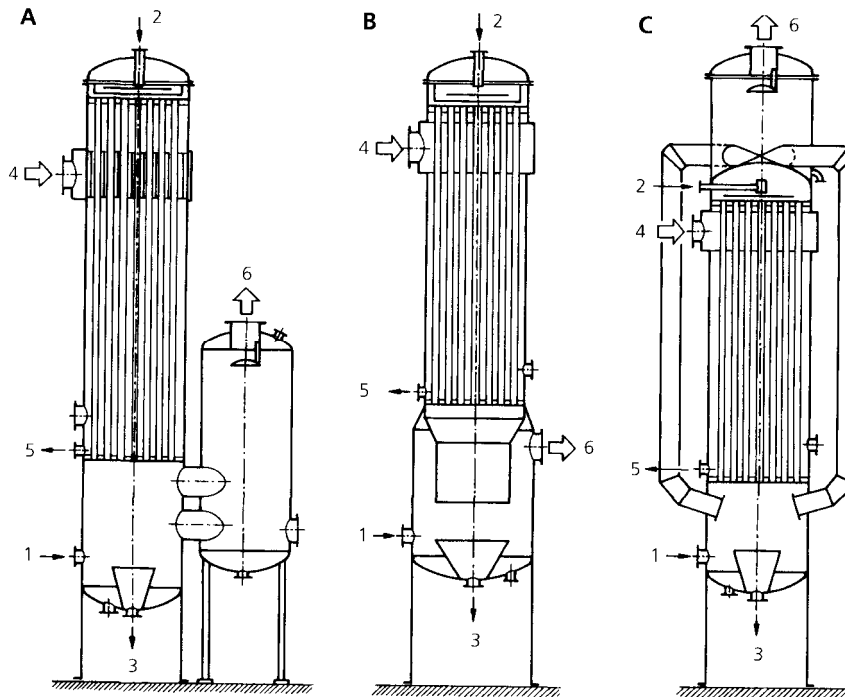


Рис.3. Конструкції плівкових випарних апаратів

Основними недоліками плівкових випарних апаратів являється необхідність подавати сік на розподільний пристрій над верхніми трубними решітками апарата. Для цієї мети використовуються спеціальні циркуляційні насоси. Причому, для забезпечення необхідного зрошення поверхні теплообміну соком, як правило, необхідна рециркуляція частини вже упареного розчину. Рециркуляція соку погіршує технологічні показники роботи плівкового випарного апарата – збільшуються втрати цукру наростання кольоровості, а також зменшуються величини коефіцієнтів теплопередачі в зв'язку з зростанням середньої концентрації розчину.

Для зменшення негативного впливу рециркуляції соку робиться секціонування плівкових випарних апаратів (рис. 4).

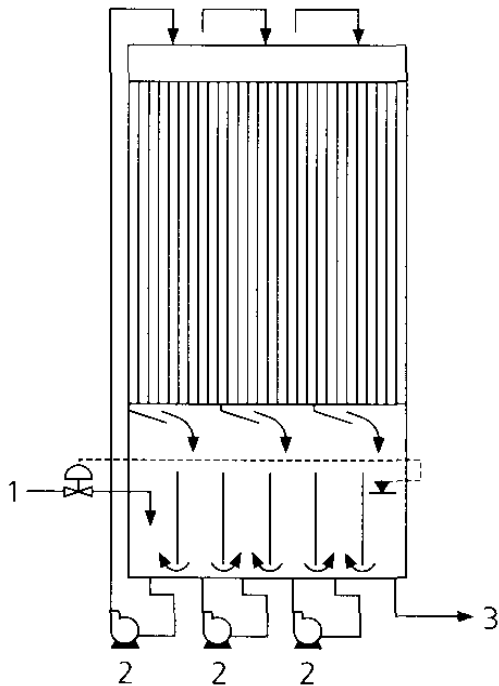


Рис 4. Принципова схема секціонованого (3 секції) плівкового випарного апарату

Розподіл на секції плівкового випарного апарата поліпшує його технологічні і теплотехнічні показники однак ще більше ускладнює його конструкцію й експлуатацію.

5.1.3. Пластинчаті випарні апарати

Основні успіхи в розвитку теплотехніки цукрового виробництва в західній Європі за останні 10 років зв'язують з розробкою і широким впровадженням пластинчатих випарних апаратів [5]. Такий випарний апарат являє собою набір спеціальним чином гофрованих пластин із нержавіючої або звичайної сталі. У простір між однією парою пластин подається сік, а між сусідніх пар пластин подається гріюча пара. По торцях пластин і сполучних патрубків середовища розділені між собою спеціальними прокладками або зварені.

Загальний вид теплообмінних пластин такого випарного апарата представлений на рис.5. Оскільки киплячий розчин, рухаючись між гофрованими пластинами, сильно турбулізується, досягаються дуже високі значення коефіцієнтів теплопередачі. По величинах значень коефіцієнтів теплопередачі пластинчаті випарні апарати при однакових умовах перевершують випарні апарати плівкового типу або апарати з природною циркуляцією [3,5]. Кількість соку, що знаходиться в

пластинчатому випарному апараті незначна, а відповідно малий час перебування розчину і незначне наростання кольоровості та розкладання цукру при випаровуванні [5].

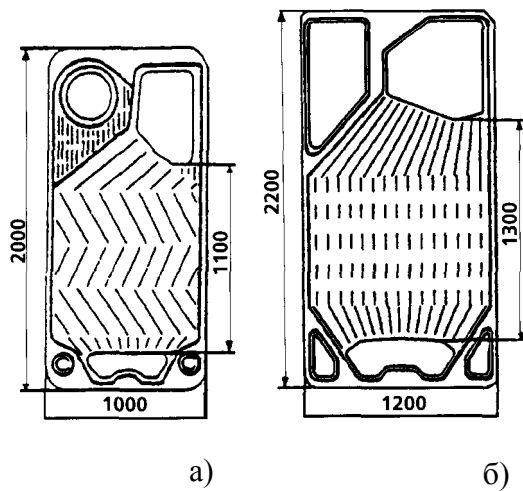


Рис.5. Пластини поверхні теплообміну пластинчатого випарного апарата

а — виробництва Alfa-Laval
б — виробництва GEA

Пластини поверхні теплообміну пластинчатого випарного апарата штампуються з листів нержавіючої або вуглеродистої сталі товщиною 0,6...2 мм. Пари пластин, у простір між якими подається гріюча пара можуть зварюватися по торцях у касети. Між касетами ущільнення виконуються зі спеціальної гуми й у цей простір подається розчин. Поверхня теплообміну однієї касети може досягати 4,1 м² [5].

Пластинчаті випарні апарати дуже компактні, вони мають об'ємну щільність поверхні теплообміну до 240 м²/м³ проти 40-50 м²/м³ для трубчастих. Завдяки цьому при відносно невеликих габаритних розмірах мається можливість створювати випарні апарати з площею поверхні теплообміну до 8000 м². Такі випарні апарати можуть виконуватися у виді горизонтального циліндра (мал. 6 , А). Вони можуть встановлюватися в будь-якому зручному місці, у тому числі і на дахах виробничих споруд, що здешевлює їхню установку.

При реконструкції випарних установок з нарощуванням окремих ступіней випару дуже зручне підключення пластинчатого випарного апарата до існуючого трубчастого (рис 6, В).

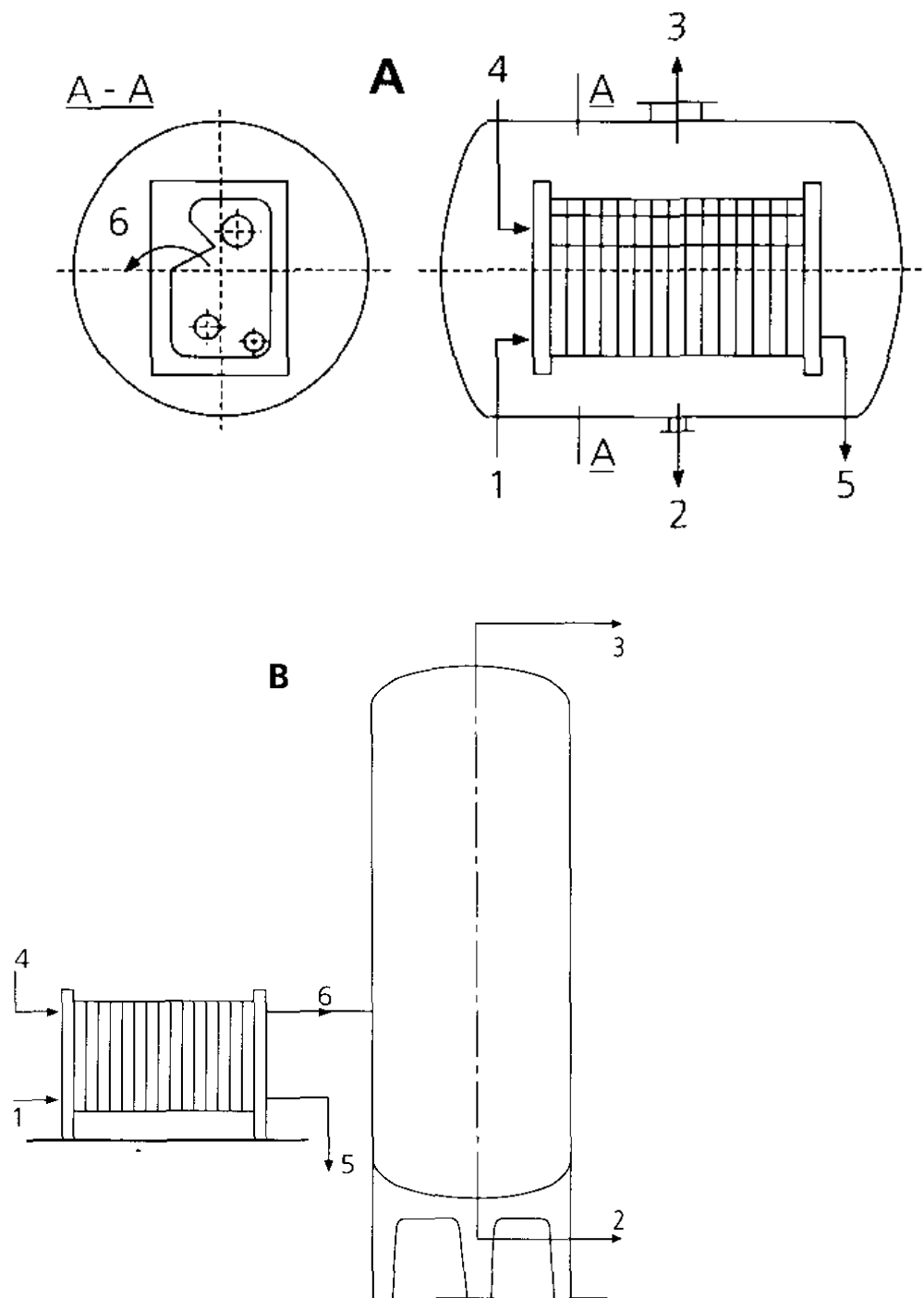


Рис.6. Пластинчатий випарний апарат (А).
 Підключення пластинчатого випарного апарату в доповнення до існуючого трубчатого (В).

Такий спосіб застосування пластинчатих випарних апаратів представляється дуже доцільним при реконструкції випарних установок на цукрових заводах СНД.

Подальшим удосконалюванням випарних апаратів являється перехід пластинчатих випарних апаратів на плівковий режим роботи [3,5]. У таких випарних апаратах досягаються найкращі, на даний час, показники по величинах коефіцієнтів теплопередачі та часу перебування розчину. Оскільки що такі випарні апарати з'явилися лише наприкінці 90-х років, вони поки знайшли застосування в якості вакуумних попередніх випаровувачів, або як окремі ступіні випару випарних установок, оснащених трубчастими випарними апаратами (рис. 7).

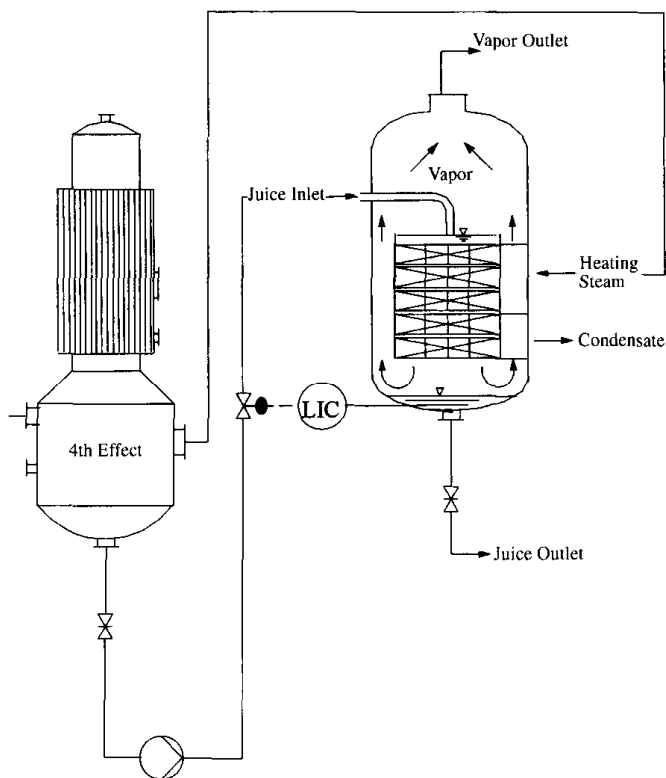


Рис. 7. Комбінування плівкових трубчатого та пластинчатого випарних апаратів.

Маються пропозиції про використання каскадів плівкових пластинчатих випарних апаратів [5], однак даних про застосування випарних установок, цілком укомплектованих такими апаратами на даний час не мається. Наявність значної кількості рекламних матеріалів про плівкові пластинчаті випарні апарати в міжнародних галузевих журналах (International Sugar Journal, Zuckerindustrie і ін.), вказує на освоєння

серійного виробництва таких випарних апаратів. З 2002 року представником фірми Valke-Durg в Україні по реалізації пластинчатих плівкових випарних апаратів являється Смілянський машинобудівний завод.

По даним [2] однією з основних проблем у використанні випарних апаратів пластинчатого типу являється боротьба із забрудненнями поверхні теплообміну.

5.2. Вакуум-апарати та кристалізатори.

Вакуум-апарати є найбільш значними споживачами пари із випарної установки цукрового заводу. Тому від їхніх теплотехнічних показників у значній мірі залежить можливість створення економічних теплових схем та випарних установок з високими значеннями краності випаровування. Для цього необхідно, щоб вакуум-апарати могли працювати при якомога низькому потенціалі гріючої пари. Вакуум-апарати періодичної дії, які застосовуються на західноєвропейських цукрових заводах працюють при температурі гріючої пари не менш 100 °С, а вакуум-апарати безперервної дії - можуть обігріватися порою з температурою не нижче 95 °С [3].

З теплотехнічної точки зору продуктивність вакуум-апарата може бути визначена по формулі для розрахунку кількості переданого тепла:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t \quad (6)$$

де: k — коефіцієнт теплопередачі, УТ/(м²·°С) ;
 F — **площа** поверхні теплообміну вакуум-апарата. м² ;
 Δt — **різниця** температур, °С.

Зменшити кількість тепла, який необхідно затратити на уварювання можливо за рахунок підвищення концентрації продуктів, що уварюються. Тобто, при підвищенні концентрації сиропу і клеровки, та зменшенні або ліквідації сокових чи водяних розкачувань утфелю з'являється можливість знизити величину споживання пари вакуум-апаратом. Для конкретного вакуум-апарата, що має площу поверхні теплообміну F , при цьому виникає можливість знизити необхідну різницю температур Δt , а отже і потенціал гріючої пари.

Подальше зниження потенціалу гріючої пари можливо шляхом підвищення величини коефіцієнта теплопередачі (застосування мішалок і інших пристроїв для інтенсифікації циркуляції), а також за рахунок

збільшення поверхні теплообміну вакуум-апарата. Усі вакуум-апарати на західноєвропейських цукрових заводах обладнані механічними циркуляторами [3], звичайно, 2-х швидкісними. На цукрових заводах Польщі знайшли застосування як вакуум-апарати з механічними циркуляторами, так і пристрої для поліпшення циркуляції шляхом вдуву пари або повітря [6].

Збільшення поверхні теплообміну вакуум-апарата також є важливим чинником, що впливає на можливість пониження потенціалу гріючої пари. Практикою встановлено, що для умов роботи, характерних для сахзаводів СНД (при концентрації сиропів 55 – 65 % СР), для нормальної роботи при обігріві порою 2-го корпусу, необхідно, щоб питома площа теплообміну вакуум-апарата була на рівні 4,5-5 м²/т звареного утфелю. Вакуум-апарати ВАЦ-600 і його подальші модифікації, що мають продуктивність 60 т свареного утфеля укомплектовані гріючими камерами з поверхнею теплообміну до 300 м², задовільно працюють при обігріві пором з температурою 112-117 °С (відповідає параметрам вторинної пари другого корпусу типової випарної установки по табл.2).

Вакуум-апарати фірми DDS, поставлені на Чортківський цукровий завод (побудований у 1980 р.) мають ємність 90 т утфеля при площі поверхні теплообміну 340 м². Їхня питома площа теплообміну складає 3,78 м²/т утфеля. Ці вакуум-апарати оснащені механічними циркуляторами. Тривалий час вони експлуатувалися при обігріві вторинною порою 2-го корпусу випарної установки. Лише після підвищення концентрації сиропу після випарної установки до 70-73 % СР і впровадженні ряду організаційно-технічних заходів щодо ліквідації водяних розкачувань утфелю, вдалося перевести ці вакуум-апарати на обігрів вторинною порою 3-го корпусу. При цьому потенціал вторинної пари 3-го корпусу був підвищений до 105-108 °С.

Сучасні вакуум-апарати періодичної дії, встановлювані на західноєвропейських цукрових заводах, обладнані механічними циркуляторами і можуть мати збільшену до 7-7,5 м²/т утфеля питому площу поверхні теплообміну. Поряд із забезпеченням високих концентрацій сиропу (72-74 % СР), ліквідації водяних розкачок утфелю й автоматизацією процесу уварювання, це дозволило забезпечити зниження потенціалу гріючої пари до 100 °С.

З метою скорочення витрат пари на уварювання і зменшення втрат тепла з уфельною парою в 1994 р. на цукровому заводі Гюстров [8] була

випробувана схема роботи вакуум-апаратів, при якій апарати першої кристалізації обігрівалися утфельною порою з вакуум-апаратів другої кристалізації.

Для цього у вакуум-апаратах першої ступіні (по по гріючій парі) було знижене розрідження для підвищення температури кипіння утфелю. Одержувана утфельна пара з температурою 70-73 °С надходила на обігрів вакуум-апаратів другої ступіні випару. З них пара з температурою 45 °С відбиралася у конденсатор. Така схема дозволяє досягти додаткової економії тепла на технологічні потреби, однак погіршує якість цукру, збільшує його втрати і вимагає додаткових значних капітальних і експлуатаційних витрат.

Іншим методом зниження витрати тепла в продуктовому відділенні цукрового заводу являється застосування вакуумних мішалок-кристалізаторів для додаткової кристалізації цукру з утфелю 1 кристалізації [9.10]. Зварений утфель з вакуум-апарата подається в герметичну мішалку, у якій створюється розрідження більш високе, чим було у вакуум-апараті при уварюванні утфелю. При цьому відбувається самовипаровування води із міжкристального розчину і охолодження всієї маси утфелю. Для підтримування пересичення на необхідному рівні в мішалку подаються сироп або відтоки. За рахунок охолодження утфелю забезпечується більш повне виснаження міжкристального розчину, а використання частини сиропу або відтоків дозволяє зменшити кількість уварюється у вакуум-апаратах утфелю і цим знизити витрати пари на уварювання, а отже і на весь технологічний процес.

Дана технологія була випробувана на експериментальному виробництві Яготинського цукрового заводу НВО «Цукор». Були підтверджені технологічні і теплотехнічні переваги даної технології.

Застосування даної технології вимагає застосування спеціального устаткування. Виготовляються вертикальні вакуумні кристалізатори типу МЕК або Беген-Сей. В даний час вона використовується більш ніж на 35 бурякоцукрових заводах Західної Європи.

5.3. Підігрівники і теплообмінники.

Підігрівники і теплообмінники можуть суттєво вплинути на економічність теплової схеми. Найбільш значним показником їхніх теплотехнічних якостей являється коефіцієнт теплової ефективності. Для парорідинного підігрівника він може бути представлений у виді:

$$E = \frac{t_k - t_n}{t_n - t_n} = 1 - \exp\left(\frac{k \cdot F}{G_c \cdot c_c}\right) \quad (7)$$

де: t_n, t_n, t_k , — відповідно температури пари, початкова і кінцева температури соку °С;

k — коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·°С);

F — площа поверхні теплообміну, м²;

G_c — витрата соку, що нагрівається, кг/с;

c_c — теплоємність соку, Дж/(кг·°С).

Фізично коефіцієнт теплової ефективності являє собою відношення фактично переданої кількості тепла в підігрівнику до теоретично можливої максимальної кількості переданого тепла у випадку, якщо сік буде нагрітий до температури гріючої пари (відсутній недогрів соку).

Чим вище ефективність підігрівника, тим менше буде величина недогріву соку до температури гріючої пари. Зменшення недогріву соку дозволяє застосовувати пару більш низького потенціалу, або для випадку нагрівання соку в групі з кількох підігрівників перерозподіляти паровідбори на користь більш низьких ступіней випарної установки. У кінцевому рахунку все це дозволяє підвищувати кратність випаровування випарної установки. При використанні теплообмінників типу конденсат-сік, підвищення їхньої теплової ефективності дозволяє збільшити ступінь використання тепла конденсату і зменшити споживання пари на нагрівання соків.

Як впливає з формули (7) ефективність підігрівника можливо підвищити за рахунок збільшення коефіцієнту теплопередачі та величини площі поверхні теплообміну.

Прагнення мінімізувати величину недогреву соку привело до широкого використання на західноєвропейських бурякоцукрових заводах пластинчатих підігрівників. По конструкції вони подібні описаним вище пластинчатим випарникам і відрізняються меншими розмірами патрубків, особливо теплообмінники типу рідина-рідина.

Оскільки пластини гофровані, забезпечується висока турбулізація потоку. Це, а також малі величини зазорів між пластинами, забезпечують досягнення дуже великих значень коефіцієнтів теплопередачі. Висока компактність пластинчатих підігрівників, конструктивна гнучкість при створенні необхідного числа ходів, дозволяють забезпечувати високі значення коефіцієнтів ефективності та великі загальні площі поверхні теплообміну.

Так, судячи з рекламних матеріалів, фірмою Barrigand випускаються пластинчаті підігрівники з площею поверхні теплообміну до 1500 м².

Для нагрівання забруднених рідин (наприклад дефекованого соку) використовуються спеціальні профілі пластин, що сприяють зменшенню засмічення каналів між пластинами та реверс потоку теплоносіїв.

Особливо слід зазначити застосування пластинчатих підігрівників не тільки для нагрівання соків, але і для підігріву відтеків у продуктовому відділенні. Застосування підігрівників дозволяє використовувати для нагрівання відтеків пару з температурою до 100 °С і виключити їхнє розведення конденсатом.

6. ВИСНОВКИ

1. З огляду на кращі світові досягнення в області економії палива при переробці цукрових буряків, цукрові заводи країн СНД мають значний потенціал для зниження питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів.

2. Основним напрямком економії паливно-енергетичних ресурсів має бути зменшення витрати тепла (пари) на технологічні потреби. Для цього необхідно максимально використовувати тепло конденсатів, утфельної пари та випару із сатураторів, зменшити усі види втрат тепла й одночасно підвищувати кратність випаровування випарних установок.

3. Для удосконалювання теплових схем цукрових заводів СНД необхідне впровадження плівкових і пластинчатих випарних апаратів, сучасних конструкцій вакуум-апаратів, пластинчатих теплообмінників.

4. Варто мати на увазі, що в ході реалізації енергозберігаючих програм цукрові заводи зтикаються з проблемою забезпечення електроенергією власного виробництва. Проблему можливо вирішувати шляхом переведення ТЕЦ на більш високі параметри пари, або забезпечуючи виробництво електроенергією із енергосистеми.

7. Список використаної літератури.

1. Carter K.L., Thompson P.D. Experiences with a full film evaporator station.- Zuckerindustrie, 1990, No6, ss.445-450.
2. Recent developments in the sugar industry.- Internationnal Sugar Journal, 2000,v.102, No.1213, s.43 -60 .
3. Poel, Schiweck, Schwarts (eds.) Sugar Technology.-1998.-975 s.
4. Ramm-Schmidt L., Paakkarinen Paivi. Low cost evaporation technology for recjvery of process water and solids. - Internationnal Sugar Journal, 1995v.98, No.1160, s.347-354.
5. Morgenroth B., Jayatilaka D., Puter G. Development of plate evaporator technology, the market place and the chice for the sugar technologist. Zuckerindustrie, 1997 No9, ss.691-699
6. Ленкавски В. Экономия теплоэнергии на сахарных заводах.- Branzowy magazyn przemyslowy, 2000, № 11, с.8-10.
7. Witte G., Kronewitz Th. Warmedurchgang, Verweilzeitverhalten und Farbbildung in Verdampferanlagen. - Zuckerindustrie, 1988 No6, ss.479-487.
8. Buccholz K., Bruhns M. Kristallisation mit Doppeleffekt verdampfung.- Zuckerindustrie, 1995 No5, ss.367-371.
9. Bosse E.D.Increase in crystal yield by the MET flash cooling crystalliser for intermediate end white suqar massecuites Amerikan Society of Suqar Boet Technoloqiets. 1989. (Материали фирмы).
- 10.Maurandi V., Paqanelli B., Rossi A. Sukrose Crystal Growth After the Vakuum Pans. Zukerindustrie, 1986, No1, s.55-57.
11. Christodoulou P.A., Exergy balanse of a pulp drier utilizing superheated steam. Zukerindustrie, 1998, No7, s.508-517.

З М І С Т

1. ВСТУП.....	2
2. Загальні принципи економії палива в бурякоцукровому виробництві.....	3
3. Розвиток випарних установок на цукрових заводах західної Європи.	7
4. Застосування компресії вторинної пари випарної установки.	11
5. Конструкції випарних і теплообмінних апаратів.	13
5.1. Випарні апарати.....	13
5.1.1. Випарні апарати з природною циркуляцією розчину.....	14
5.1.2. Плівкові випарні апарати.....	15
5.1.3. Пластинчаті випарні апарати.....	17
5.2. Вакуум-апарати та кристалізатори.	21
5.3. Підігрівники і теплообмінники.	23
6. ВИСНОВКИ.....	25
7. Список використаної літератури.....	26