

# Аналіз ефективності методів регулювання концентрації сиропу із випарної установки

*Штангеев К.О. – Український НДІ цукрової промисловості*

---

*Розглянуто особливості методів регулювання концентрації сиропу та продуктивності випарної установки.*

---

Величина концентрації сиропу, яка забезпечується випарною установкою (ВУ) цукрового заводу є найважливішим параметром, що обумовлює економічність теплової схеми цукрового заводу. Тому теплова схема і сама ВУ повинні бути розраховані на одержання сиропу з концентрацією близької до граничної яка має розглядатися як нормативна [1].

У процесі роботи цукрового заводу виникає необхідність скорегувати продуктивність ВУ для забезпечення необхідної концентрації сиропу. При цьому можливості внесення змін у тепловою схему і режим роботи ВУ обмежені.

Основними методами, які можуть застосовуватися в процесі виробництва для коректування роботи ВУ є:

- 1. Застосування компресії вторинної пари ВУ і зміна кількості стисненої пари.*
- 2. Зміна виходу пари із останнього корпусу ВУ в конденсатор.*
- 3. Зміна величини використання тепла вторинних енергоресурсів (ВЕР).*
- 4. Зміна тиску грючої пари першого корпусу ВУ.*
- 5. Переключення обігріву споживачів на пару іншого корпусу ВУ або підключення (відключення) додаткових підігрівників.*
- 6. Використання перепусків пари між корпусами ВУ.*
- 7. подача води в збірник перед ВУ.*

Було проведено аналіз ефективності зазначених методів. Враховувався ступінь їхнього впливу на зміну концентрації сиропу і на загальну ефективність використання тепла. При цьому використовувалися методика спрощених розрахунків теплових схем цукрових заводів [1,2] та методика адаптаційного математичного моделювання і розрахунку теплових схем [3].

При застосуванні методики адаптаційного розрахунку були використані математичні моделі енерготехнологічних комплексів цукрових заводів України, створені в УкрНДІЦП.

## 1. Застосування компресії вторинної пари ВУ і зміна кількості стисненої пари.

Компресія вторинної пари до параметрів гріючої пари даного корпусу ВУ є досить ефективним засобом підвищення кратності випаровування ВУ і підвищення концентрації одержуваного сиропу [4]. Оскільки пара в межах ВУ робить ніби «рециркуляцію», підвищення її продуктивності не вимагає додаткової витрати первинної гріючої пари (потрібно мати лише запас поверхні теплообміну відповідного корпусу і витратити механічну роботу на стиснення пари).

Зменшення витрати пари на технологічні потреби можливе лише у випадку, якщо концентрація сиропу не перевищує граничну [1]. При такій концентрації сиропу скорочуються витрати пари на уварювання утфелю у вакуум-апаратах 1 кристалізації, що у свою чергу, зменшує кількість випареної води у ВУ.

Застосовуючи методику спрощених розрахунків теплових схем цукрових заводів [2] можна записати формулу для визначення величини зміни (економії) пари, поданої із ТЕЦ, в залежності від кількості стиснутої вторинної пари  $D_{сж}$ :

$$\Delta D_{BA} = 1,1 \cdot \Delta W = \frac{1,1 \cdot z \cdot D_{сж}}{1 + 1,1 \cdot n_{BA}} \quad (1.1)$$

де:  $\Delta D_{BA}$  – зміна (зниження) витрати пари на уварювання утфелю у вакуум-апаратах 1 кристалізації;

$\Delta W$  – загальна зміна (збільшення) кількості випареної води у ВУ за рахунок застосування компресії вторинної пари;

$z$  – число ступіней випаровування, на які збільшується тиск вторинної пари;

$n_{BA}$  – номер корпусу ВУ, яким обігриваються вакуум-апарати 1 кристалізації.

При стисненні пари на величину одного ступеня ВУ й обігріві вакуум-апаратів вторинною парою 2 корпусу:

$$\Delta D = \frac{1,1 \cdot 1 \cdot D_{сж}}{1 + 1,1 \cdot 2} = 0,31 \cdot D_{сж} \quad (1.2)$$

Таким чином, за цих умов, при підвищенні концентрації сиропу до граничної величини за рахунок компресії вторинної пари, зниження споживання пари на технологічні потреби буде складати приблизно третину від кількості стиснутої пари.

При досягненні граничної концентрації сиропу позитивного ефекту по економії пари на технологічні потреби від застосування компресії не буде.

Зміна концентрації сиропу може бути виражена залежністю:

$$\Delta CB_{сир} = \frac{\Delta W \cdot CB_{сир}}{S_{сир} - \Delta W} \quad (1.3)$$

де  $S_{сир}$  – кількість отриманого із ВУ сиропу.

Кількість додатково випареної води  $\Delta W$  буде складати:

$$\Delta W = \frac{z \cdot D_{сж}}{1 + 1,1 \cdot n_{ВА}} \quad (1.4)$$

Тоді формула для розрахунку зміни концентрації сиропу при застосуванні компресії пари буде мати вигляд:

$$\Delta CB_{сир} = \frac{z \cdot D_{сж} \cdot CB_{сир}}{S_{сир} \cdot (1 + 1,1 \cdot n_{ВА}) - z \cdot D_{сж}} \quad (1.5)$$

Приклад. В процесі випаровування отримують сироп з концентрацією 61 % СР у кількості  $S_{сир} = 27$  % до м.б. При стисненні пари на одну ступінь ВУ в кількості 5 % до м.б., обігріві вакуум-апаратів вторинною парою 2 корпусу можливо збільшити концентрацію сиропу на:

$$\Delta CB_{сир} = \frac{1 \cdot 5 \cdot 62}{27 \cdot (1 + 1,1 \cdot 2) - 1 \cdot 5} = 3,75 \%$$

Тобто кінцева концентрація сиропу становитиме 64,75 % СР. Якщо ця концентрація не перевищує граничну, то за рахунок застосування компресії буде отримана економія пари на технологічні потреби в кількості:

$$\Delta D = 0,31 \cdot D_{сж} = 0,31 \cdot 5 = 1,55 ; \% \text{ до м.б.}$$

Застосування компресії вторинної пари є досить ефективним і вигідним методом як регулювання роботи ВУ (підтримки концентрації сиропу на рівні граничної), так і може застосовуватися якості одного з важливих елементів для підвищення економічності теплової схеми.

## **2. Зміна виходу пари із останнього корпусу ВУ в конденсатор.**

Цей метод може істотно впливати на величину кратності випаровування ВУ та на концентрацію сиропу. Так для п'ятикорпусної ВУ збільшення виходу

пари з останнього корпусу на 1 т/г призводить до додаткового випаровування 5 т/г води із соку. Якщо в цьому випадку концентрація сиропу менша граничної то витрата пари на уварювання утфелю у вакуум-апаратах зменшиться на величину більшу, ніж зростання виходу пари в конденсатор. При цьому сумарна величина паровідборів з ВУ зменшується, тобто досягається економія пари на технологічні потреби.

Якщо концентрація сиропу вище граничної, економію пари на технологічні потреби можливо отримати за рахунок зменшення виходу пари із останнього корпусу в конденсатор і зменшення концентрації сиропу до граничної величини. Економія в цьому випадку дорівнює величині зменшення виходу пари в конденсатор.

Використовуючи методику спрощених розрахунків [2] можна показати, що величина економії пари на технологічні потреби виражається залежністю:

$$\Delta D = \Delta d_{\kappa} \left[ 1 - \frac{N}{(n_{BA} + 1,1)} \right] \quad (2.1)$$

де:  $\Delta d_{\kappa}$  – величина зміни виходу пари в конденсатор;

$N$  – кількість корпусів ВУ;

$n_{BA}$  – номер корпусу, яким обігриваються вакуум-апарати  
1 кристалізації.

Формула (2.1) дозволяє легко проаналізувати вплив числа корпусів ВУ і номера корпусу, яким обігриваються вакуум-апарати 1 кристалізації.

Так при  $N = 5$  і  $n_{BA} = 1$ :

$$\Delta D = \Delta d_{\kappa} \left[ 1 - \frac{5}{(1+1,1)} \right] = -1,38 \cdot \Delta d_{\kappa} \quad (2.2)$$

При  $N = 5$  і  $n_{BA} = 2$ :

$$\Delta D = \Delta d_{\kappa} \left[ 1 - \frac{5}{(2+1,1)} \right] = -0,61 \cdot \Delta d_{\kappa} \quad (2.3)$$

При  $N = 5$  і  $n_{BA} = 3$ :

$$\Delta D = \Delta d_{\kappa} \left[ 1 - \frac{5}{(3+1,1)} \right] = -0,22 \cdot \Delta d_{\kappa} \quad (2.4)$$

При  $N = 5$  і  $n_{BA} = 4$ :

$$\Delta D = \Delta d_{\kappa} \left[ 1 - \frac{5}{(4 + 1,1)} \right] = 0,02 \cdot \Delta d_{\kappa} \quad (2.5)$$

Як впливає із наведених залежностей для п'ятикорпусних (чотирьохкорпусних з концентратором) ВУ регулювання концентрації сиропу найбільш ефективно при обігріві вакуум-апаратів 1 кристалізації вторинною парою 1 корпусу (формула 2.2). Однак заводів з такою нераціональною схемою паровідборів в даний час майже не залишилося.

Більшість цукрових заводів в СНД використовують для обігріву вакуум-апаратів 1 кристалізації вторинну пару 2 корпусу. Формула (2.3) показує, що й у цьому випадку регулювання роботи ВУ зміною виходу пари в конденсатор досить ефективно.

Для більш досконалих заводів з обігрівом вакуум-апаратів 1 кристалізації вторинною парою 3 корпусу (формула 2.4) застосування регулювання виходом пари з останнього корпусу в конденсатор малоефективно, а при обігріві вакуум-апаратів 1 кристалізації вторинною парою 4 корпусу (2.5) – неприйнятне оскільки призводить до перевитрат пари на технологічні потреби.

Зміна концентрації сиропу може бути розрахована також по формулі (1.3). У цьому випадку зміна кількості випареної води внаслідок зміни виходу пари в конденсатор визначається за формулою:

$$\Delta W = \frac{1,1 \cdot N \cdot d_{\kappa}}{n_{BA} + 1,1} \quad (2.6)$$

Приклад. В процесі випаровування отримують сироп з концентрацією 61 % СР у кількості 27 % до м.б. Обігрів вакуум-апаратів вторинною парою 2 корпусу. При підвищенні виходу пари в конденсатор у кількості 0,9 % до м.б. одержимо:

Збільшення кількості випареної у ВУ води

$$\Delta W = \frac{1,1 \cdot N \cdot d_{\kappa}}{n_{BA} + 1,1} = \frac{1,1 \cdot 5 \cdot 0,9}{2 + 1,1} = 1,60; \% \text{ до м.б.}$$

Підвищення концентрації сиропу:

$$\Delta CB_{cup} = \frac{\Delta W \cdot CB_{cup}}{S_{cup} - \Delta W} = \frac{1,60 \cdot 61}{27 - 1,60} = 3,84$$

Якщо отримана при цьому кінцева концентрація сиропу  $61 + 3,84 = 64,84$  % не перевищує граничну, то економія пари буде складати:

$$\Delta D = -0,61 \cdot \Delta d_k = -0,61 \cdot 0,9 = 0,55, \% \text{ до м.б.}$$

Одержана економія пари майже в три рази менша, ніж при використанні компресії пари.

### **3. Зміна величини використання тепла вторинних енергоресурсів.**

Шляхом зміни величини використання тепла ВЕР (конденсатів, утфельної пари й ін.) можливо змінити величини паровідборів із ВУ (замістити ці паровідбори) і в такий спосіб вплинути на концентрацію сиропу. Так збільшення ступеня використання тепла ВЕР зменшує паровідбори із ВУ і відповідно знижує концентрацію одержуваного сиропу. За рахунок цього можливо відкоригувати концентрацію сиропу при його Perezгущенні (при концентрації понад граничну). При цьому також забезпечується зменшення витрат пари на технологічні потреби заводу.

Величина цієї економії еквівалентна кількості використаного тепла ВЕР і виражається формулою:

$$\Delta d = \frac{1,03 \cdot S_c \cdot c_c \cdot \Delta t}{r} \quad (3.1)$$

де:  $S_c$  – кількість соку, що нагрівається;

$c_c$  – теплоємність соку;

$\Delta t$  – величина нагріву соку теплом ВЕР;

$r$  – теплота конденсації пари.

Якщо концентрація сиропу нижче граничної, то необхідно зменшувати величину використання тепла ВЕР. Це може бути досягнуто шляхом відключення підігрівників, які обігріваються утфельною парою, або байпасуванням частини конденсату повз теплообмінник, у якому сік нагрівається теплом конденсату.

Цей випадок можна проаналізувати з використанням загальної залежності, що характеризує зміну витрат пари на технологічні потреби при використанні тепла ВЕР [2]:

$$\Delta D = \Delta D_{BA} + \Delta d_{\kappa} - \Delta d = \frac{1,1 \cdot (n\Delta d - N \cdot \Delta d_{\kappa})}{1 + 1,1 \cdot n_{BA}} + \Delta d_{\kappa} - \Delta d \quad (3.2)$$

де:  $n$  – номер корпусу ВУ, паровідбор з якого заміщає використання тепла ВЕР;

$\Delta d$  – визначається по формулі (3.1).

При незмінній величині  $\Delta d_{\kappa}$  в межах концентрацій сиропу до граничної, економія пари на технологічні потреби від зменшення величини використання тепла ВЕР буде визначатися залежністю виду:

$$\Delta D = \frac{1,1 \cdot n \cdot \Delta d}{1 + 1,1 \cdot n_{BA}} - \Delta d \quad (3.3)$$

В типовому випадку  $N = 5$ ;  $n_{BA} = 2$  і  $n = 4$  (перша група нагріву дефектованого соку конденсатом) для концентрацій сиропу нижче граничних маємо залежність:

$$\Delta D = 0,375 \cdot \Delta d \quad (3.4)$$

З формули (3.4) випливає, що для області концентрацій сиропу нижче граничної збільшення величини використання тепла ВЕР (позитивне значення  $\Delta d$ ) приводить до підвищення витрати пари на технологічні потреби. І навпаки, у цих умовах зниження ступеня використання тепла ВЕР (від'ємне значення  $\Delta d$ ) приводить до економії пари на технологічні потреби.

Це говорить про небажаність використання тепла ВЕР, якщо концентрація сиропу нижче граничної величини. Таке положення має місце у випадку, якщо теплом ВЕР заміщуються паровідбори з корпусів, наступних після корпусу, яким обігриваються вакуум-апарати 1 кристалізації [2].

Зміну концентрації одержуваного сиропу в цьому випадку також можна визначити по формулі (1.5), а зміна кількості випареної води (при незмінній кількості виходу пари на конденсатор) по формулі:

$$\Delta W = \frac{n \cdot \Delta d}{1,1 \cdot n_{BA} - 1} \quad (3.5)$$

Приклад. У процесі випарювання отримують сироп з концентрацією 61 % СР у кількості 27 % до м.б. Обігрів вакуум-апаратів вторинною парою 2 корпусу. При зменшенні ступеня використання тепла конденсату, еквівалентне

відбору пари з 4 корпусу ВУ в кількості 1 % до м.б. маємо збільшення кількості випареної у ВУ води

$$\Delta W = \frac{n \cdot \Delta d}{1,1 \cdot n_{BA} - 1} = \frac{4 \cdot 0,5}{1,1 \cdot 2 - 1} = 1,67, \% \text{ до м.б.}$$

Підвищення концентрації сиропу буде становити:

$$\Delta CB_{cup} = \frac{\Delta W \cdot CB_{cup}}{S_{cup} - \Delta W} = \frac{1,67 \cdot 61}{27 - 1,67} = 4,02, \%$$

Якщо отримана кінцева концентрація сиропу  $61 + 4,02 = 65,02$  % не перевищує граничну, то економія пари буде складати:

$$\Delta D = 0,375 \cdot \Delta d = 0,375 \cdot 0,5 = 0,19, \% \text{ до м.б.}$$

При співставленні з результатами розрахунку попередніх прикладів бачимо, що хоча досягається практично така ж концентрація сиропу, одержувана економія пари в 8,3 рази менша, ніж при використанні компресії пари та у 2,9 рази менша, ніж при регулюванні виходом пари з останнього корпусу в конденсатор.

#### **4. Зміна тиску гріючої пари першого корпусу ВУ.**

При зміні тиску пари, що надходить із ТЕЦ, змінюється температура його конденсації (температура перегріву цієї пари в даному випадку значення не має). Відповідно до цього змінюються температури кипіння по корпусам. Це позначається перерозподілом пари з різних корпусів по групах нагрівання соку, насамперед дефекованого (дифузійного).

Таким чином відбувається частковий перенос паровідборів на останні корпуси ВУ, що призводить до збільшення кількості випареної води і підвищення концентрації сиропу. При роботі в зоні концентрацій сиропу нижче граничних це зменшує витрати пари на уварювання утфелю 1 кристалізації.

Однак при підвищенні температури гріючої пари зростає також температура кипіння соку в 1 корпусі. Це зв'язано зі збільшенням витрат пари на нагрівання цього соку, що знижує ефект від підвищення концентрації сиропу.

Підвищення температури кипіння в перших корпусах несприятливо також позначається на втратах цукру у ВУ і наростанні кольоровості сиропу.



Оцінка впливу даного фактора виконувалася з використанням математичних моделей різних цукрових заводів.

В усіх випадках відзначалося, що із зростанням температури гріючої пари (при витримуванні необхідного температурного режиму), зростає концентрація сиропу але при цьому також збільшується витрата пари на технологічні потреби.

Температура гріючої пари має вибиратися як мінімально необхідна для надійного забезпечення варки утфелів і температурного режиму технологічного процесу в конкретних умовах роботи заводу. Підвищення тиску гріючої пари може бути обгрунтованою лише при збільшенні продуктивності заводу, а також для компенсації накипоутворення.

### **5. Переключення обігріву споживачів на пару іншого корпусу ВУ або підключення (відключення) додаткових підігрівників.**

В умовах працюючого заводу обмежені можливості внесення змін у теплову схему. Однак досить часто маються підігрівники які дублюють один одного. Звичайно мається запас підігрівників дефектованого (дифузійного) соку, можна передбачити можливість переключення по групах підігрівників перед ВУ, а також підігрівників перед другою сатурацією (при наявності резервного).

Розглянемо дане питання на прикладі включення додаткового підігрівника в другій групі дефектованого соку, що обігрівується вторинною парою 4 корпусу.

Припустимо, що дефектований сік, у кількості  $S = 210$  % до м.б. нагрівається конденсатом у першій групі до  $61$  °С, а надалі нагрівається в двох групах підігрівників (у кожній по одному підігрівнику) відповідно вторинною парою 4 і 3 корпусів до температури  $88$  °С. При цьому кінцева температура нагрівання соку регулюється автоматично прикриттям пари 3 корпусу. Коефіцієнти теплової ефективності підігрівників складають  $0,5$  [7]. Температура пари 4 корпусу становить  $87$  °С, а третього корпусу  $102$  °С.

Тоді нагрів соку в другій групі підігрівників дефектованого соку парою 4 корпусу складе:

$$t_{к2} = t_n + E \cdot (t_4 - t_n) = 61 + 0,5 \cdot (87 - 61) = 74 \text{ °С.} \quad (5.1)$$

Нагрів соку в третій групі, що обігрівується парою 3 корпусу:

$$t_{к3} = t_{к2} + E \cdot (t_3 - t_{к2}) = 74 + 0,5 \cdot (102 - 74) = 88 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (5.2)$$

Якщо мається можливість у другій групі підключити ще один підігрівник (б) з такою же тепловою ефективністю, то в першому підігрівнику (а) другої групи нагрів соку буде аналогічний (5.1), а в другому підігрівнику другої групи (б) він складе:

$$t_{к2б} = t_{к2} + E \cdot (t_4 - t_{к2}) = 74 + 0,5 \cdot (87 - 74) = 81 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.3)$$

Кінцева температура нагрітого дефекованого соку підтримується автоматикою на рівні 88 °С і сумарні витрати пари на нагрів дефекованого соку не змінюються.

Таким чином, у другій групі при підключенні додаткового підігрівника нагрів соку зріс з 74 °С до 81 °С – на 7 °С. Це призводить до додаткового випаровування води в 4 корпусі на величину:

$$\Delta d = \frac{1,03 \cdot S_c \cdot c_c \cdot \Delta t}{r} = \frac{1,03 \cdot 210 \cdot 0,9 \cdot 7}{540} = 2,52 \text{ } \% \text{ до м.б.}$$

Відповідно до [2] перенос паровідбору на більш низьку ступінь ВУ дає економію пари за рахунок зменшення його споживання вакуум-апаратами на величину:

$$\Delta D = \Delta E_{BA} = - \frac{(n_i - n_0) \cdot d_i}{0,91 + n_{BA}} = \frac{1 \cdot 2,52}{0,91 + 2} = 0,87 \text{ } \% \text{ до м.б.}$$

Додатково випарена у випарній установці вода (з урахуванням зменшення кількості випареної води в 2 корпусі через скорочення паровідбору на вакуум-апарати) [2] :

$$\Delta W = (n_i - n_0) \cdot d_i - \Delta E_{BA} \cdot n_{BA} = 1 \cdot 2,52 - 0,87 \cdot 2 = 0,79 \text{ } \% \text{ до м.б.}$$

Тоді відповідно до формули (1.3), приймаючи концентрацію і кількість сиропу аналогічно попереднім прикладам, одержуємо, що величина збільшення концентрації сиропу становить:

$$\Delta CB_{сир} = \frac{\Delta W \cdot CB_{сир}}{S_{сир} - \Delta W} = \frac{0,79 \cdot 61}{27 - 0,79} = 1,84 \text{ } \%$$

Таким чином, кінцева концентрація становитиме лише 62,84 % СР, однак теплотехнічна ефективність методу досить висока 0,47 % пари до м.б. на 1 %

підвищення СР сиропу – порівняннa з випадком застосування компресії вторинної пари.

Слід зазначити, що можливості реалізації даного методу в основному мають бути реалізовані при реконструкції теплових схем, а не в процесі їхньої експлуатації.

### **6. Використання перепусків пари між корпусами ВУ.**

Даний метод можливо застосовувати для зменшення концентрації сиропу, тобто для випадку, коли концентрація отриманого сиропу перевищує граничну. Реалізація цього методу вперше була запропонована в системі автоматики ВУ в складі теплової схеми з від'ємним балансом по соковим парам [7].

Як показує практичний досвід перепуск пари, наприклад, між першим і другим корпусами ВУ дозволяє швидко (за 10...15 хв.) знизити концентрацію сиропу. У деяких випадках, при надлишку поверхні теплообміну 1 корпусу і недостатніх величинах поверхонь останніх корпусів, за рахунок перепуску пари, вдається підвищити температурний режим останніх корпусів і забезпечити нагрівання продуктів при деякому зниженні продуктивності ВУ.

При концентраціях сиропу вище граничних перепуск пари між корпусами не приводить до перевитрати пари, але і не може зменшувати витрати пари на технологічні потреби. Однак при падінні концентрації сиропу нижче граничної концентрації подальший перепуск пари призводить до зростання витрат пари на технологічні потреби. У зв'язку з чим, даним методом регулювання ВУ варто користуватися досить обережно.

### **7. подача води в збірник перед ВУ.**

Даний метод варто розглядати не як метод регулювання концентрації одержуваного сиропу, а як вихід із предаварійної ситуації.

Розрахунки показують, що дача води в сік перед ВУ призводить до зменшення концентрації сиропу, приблизно, на 0,8...1 % на кожні 1 % до м.б. дачі води, а також до зростання витрат пари – приблизно на 1/3 від кількості доданої в збірник води, що обумовлений як збільшенням витрат пари на уварювання утфелю, так і збільшенням витрати пари на нагрівання соку перед ВУ.

## Список літератури

1. Штангеев К.О., Христинко В.І., Шляхи енергозбереження в цукровому виробництві.– К.: В-во НУХТ, 2003, 33 С.
2. Христинко В.І., Штангеев К.О., Міщук Р.Ц. Спрощені розрахунки теплових схем цукрових заводів.– Журнал “Цукор України”, 2001, № 1-2.
3. Штангеев К.О., Христинко В.І. Разработка адаптационной методики расчета тепловых схем ахарных заводов.– Сб. докладов V ежегодной международной научно-практической конференции «САХАР-2005», 2005, С.208-211.
4. Гуревич М.С., Федоров П.Д. Теплосиловое хозяйство сахарных заводов.– К.: Техническая литература УССР, 1962.–372 с.
5. Штангеев К.О., Василенко С.М. Проблеми енергозабезпечення цукрових заводів.– Журнал “Цукор України”, 2005, № 4, С. 29-30.
6. Штангеев К.О., Христинко В.І. Типова програма удосконалення енерготехнологічних схем цукрових заводів.– Матеріали засідання технічної ради НАЦУ “Укрцукор” 29 січня 2003 р.–Київ, 2003, СС.15-25.
7. Новая тепловая схема с отрицательным балансом по соковым парам и система ее автоматического регулирования /М.Л. Вайсман, В.Н. Горох, Б.А. Еременко и др./.– ВНИИСП, 1975, 30 С.