

Вплив окремих факторів на ефективність теплоспоживання цукрового заводу

С.М. Василенко, доктор технічних наук, професор, Національний університет харчових технологій, НТУУ «КПІ»

С.М. Самійленко, Національний університет харчових технологій

В.М. Кухар, генеральний директор ТОВ «Фірма ТМА»

П.І. Лисюк, ТОВ «Фірма ТМА»

К.О. Штангеев, кандидат технічних наук, доцент, ІПДО Національного університету харчових технологій

Т.О. Кривець, кандидат технічних наук, Національний університет харчових технологій

Наведено порівняльний аналіз витрат теплоти, пари, умовного палива та природного газу в цукровому виробництві для послідовних етапів реконструкції цукрового заводу з метою підвищення ефективності теплоспоживання.

Приведен сравнительный анализ расходов теплоты, пара, условного топлива и природного газа в сахарном производстве для последовательных этапов реконструкции сахарного завода с целью повышения эффективности тепло потребления.

The comparative analysis of charges of heat, steam, standard fuel and natural gas is resulted in a sugar production for the successive stages of reconstruction of sugar factory with the purpose of increase of efficiency heat consumption.

В попередньому матеріалі авторів, опублікованому в журналі «Цукор України», було розглянуто методологічні засади застосування загальновиробничих енергетичних балансів для розрахункового визначення витрати пари та теплоти в цукровому виробництві, а також, що особливо важливо, для аналізу ефективності використання ПЕР для технологічних потреб. Важливими особливостями запропонованої методики є простота, наочність, відсутність необхідності використання спеціальних обчислювальних засобів та технологій, що робить її доступною для фахівців цукрового заводу, які не мають спеціальної теплотехнічної підготовки, та дозволяє застосовувати її з метою оперативного аналізу ефективності використання ПЕР.

Проілюструємо використання запропонованої методики для аналізу ефективності поетапного впровадження комплексної системи заходів, розробленої в попередньому матеріалі. Величини витрат теплоти, а також спрощуючи припущення для всіх схем приймаємо однаковими.

При цьому слід особливо звернути увагу на необхідність одночасного проведення аналізу загального балансу виробництва теплової та електричної енергії в ТЕЦ цукрового заводу.

1 етап. З метою зменшення нагрівання води, що надходить в завод у вигляді так званої «барометричної» води та залишає його у вигляді так званих «аміачних» конденсатів, всі аміачні конденсати повертаються на живлення дифузійної установки, тобто $W_{\text{над}} = 0$ (залишаємо всі умовні позначення, що були введені в попередньому матеріалі). Температура аміачних конденсатів при цьому стає неважливою, тому охолодження аміачних конденсатів у цьому випадку є заходом не енергозберіжним, а виключно технологічним.

Тоді, із загальновиробничого водного балансу заводу (матеріальні потоки, як і в попередньому матеріалі, приймаємо згідно [1]) отримаємо витрату барометричної води в завод $S_{\text{об}} = 211,2$ кг/т.

Підставивши значення $W_{\text{над}}$ та $S_{\text{об}}$ в рівняння загальновиробничого теплового балансу, отримаємо витрату пари на технологію за виключенням кількості пари, що витрачається на компенсацію витрат, $D_{\text{п}} = 241,2$ кг/т (всі припущення та спрощення при побудові балансу приймаємо ті ж, що і в попередньому матеріалі).

Загальна витрата пари на технологічні потреби складатиме $\Sigma D_{\text{пр}} = 318,2$ кг/т, а витрата теплоти на технологічні потреби:

$$Q_{\text{техн}} = 728,04 \text{ МДж/т} = 173,76 \text{ Мкал/т} \quad (1)$$

Тоді витрата умовного палива на виробництво технологічної пари в ТЕЦ:

$$B_{\text{техн}} = Q_{\text{техн}} / (Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{кот}}) = 728,04 / (29330 \cdot 0,9) = 27,58 \text{ кг/т} \quad (2)$$

Приймаючи витрату електричної енергії на технологічні потреби рівною 30 кВт·год/тн, отримаємо витрату умовного палива на виробництво електроенергії:

$$V_{\text{еe}} = 30 \cdot 3600 / (Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{тец}}) = 108000 / (29330 \cdot 0,8) = 4,6 \text{ кг/т} \quad (3)$$

Витрата умовного палива на технологічні потреби та виробництво електроенергії:

$$V = V_{\text{техн}} + V_{\text{еe}} = 32,18 \text{ кг/т} \quad (4)$$

Витрата газу складатиме 28,73 м³/т.

Слід відзначити, що через турбіну для виробництва електроенергії на тепловому споживання проходить пари 285 кг/т (приймаємо, що для виробництва 1 кВт·год електроенергії в новому турбоагрегаті Р-Н-3,4/0,5 необхідно 9,5 кг пари).

Пара в кількості 33,2 кг/т надходить в завод з ТЕЦ через РОУ.

2 етап. В дифузійному відділенні переходять на дифузійно-пресовий метод сокодобування, для чого встановлюються жомові преси глибокого віджиму (в пресованому жомі СР=25%), а вся жомопресо́ва вода повертається на живлення дифузійного апарату. Кількість пресованого жому, що залишає завод, при цьому складатиме $S_{\text{ж}} = 249 \text{ кг/т}$. Вся інша кількість живильної води надходить у вигляді аміачних конденсатів. З загально-виробничого водного балансу кількість надлишкових аміачних конденсатів, що залишають завод, складатиме $W_{\text{над}} = 361 \text{ кг/т}$ (в розрахунку температуру надлишкових аміачних конденсатів приймаємо рівною 70°C).

Тоді, із загально-виробничого теплового балансу $D_{\text{п}} = 228,9 \text{ кг/т}$, $\Sigma D_{\text{пр}} = 305,9 \text{ кг/т}$, $Q_{\text{техн}} = 699,9 \text{ МДж/т} = 167,04 \text{ Мкал/т}$.

Тоді витрата умовного палива на виробництво технологічної пари в ТЕЦ

$$V_{\text{техн}} = Q_{\text{техн}} / (Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{кот}}) = 699,9 / (29330 \cdot 0,9) = 26,51 \text{ кг/т} \quad (5)$$

Приймаючи витрату електричної енергії на технологічні потреби рівною 30 кВт·год/т, отримаємо витрату умовного палива на виробництво електроенергії:

$$V_{\text{еe}} = 30 \cdot 3600 / (Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{тец}}) = 108000 / (29330 \cdot 0,8) = 4,6 \text{ кг/т} \quad (6)$$

Витрата умовного палива на технологічні потреби та виробництво електроенергії:

$$V = V_{\text{техн}} + V_{\text{еe}} = 31,11 \text{ кг/т} \quad (7)$$

Витрата газу складатиме 27,78 м³/т.

Пара в кількості 20,9 кг/т надходить в завод з ТЕЦ через РОУ.

При відсутності барометричної води на живлення дифузійної установки відкачка, згідно загально-виробничих балансів, безпосередньо не впливає на витрату ПЕР. Цей вплив стає опосередкованим і повинен аналізуватись в процесі балансування випарної установки з метою підтримання стабільно високого вмісту сухих речовин в сиропі після неї.

3 етап. В продуктовому (кристалізаційному) відділенні встановлені вакуум-апарати з механічними циркуляторами, що дає можливість уварювати густі продукти. Задавшись значенням вмісту сухих речовин в продукті, що надходить в вакуум апарати 1 продукту (суміші сиропу після випарної установки та клеровки), на рівні 72%, з водного балансу продуктового відділення отримаємо кількість утфельної пари, що надходить у вакуум-конденсаційну установку, $D_{\text{уп}} = 98,8 \text{ кг/т}$.

Із загально-виробничого водного балансу отримаємо кількість надлишкової аміачної води, що залишає завод, $W_{\text{над}} = 396,5 \text{ кг/т}$.

Тоді, із загально-виробничого теплового балансу $D_{\text{п}} = 192,8 \text{ кг/т}$, $\Sigma D_{\text{пр}} = 269,8 \text{ кг/т}$, $Q_{\text{техн}} = 617,3 \text{ МДж/т} = 147,3 \text{ Мкал/т}$.

Витрата умовного палива на виробництво технологічної пари в ТЕЦ:

$$V_{\text{техн}} = Q_{\text{техн}} / (Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{кот}}) = 617,3 / (29330 \cdot 0,9) = 23,39 \text{ кг/т} \quad (8)$$

Слід відзначити, що при такій витраті пари максимально можливе виробництво електроенергії в ТЕЦ на тепловому споживанні складатиме 28,4 кВт·год/т. Витрата умовного палива на виробництво цієї кількості електроенергії:

$$V_{\text{еe}} = 28,4 \cdot 3600 / (Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{тец}}) = 4,36 \text{ кг/т} \quad (9)$$

Витрата умовного палива на технологічні потреби та виробництво електроенергії:

$$V = V_{\text{техн}} + V_{\text{еe}} = 27,75 \text{ кг/т} \quad (10)$$

Витрата газу складатиме 24,78 м³/т.

4 етап. Частина утфельної пари використовується для нагрівання дифузійного соку на 20°C (якщо при використанні барометричної води на живлення дифузійної установки частина утфельної пари використовується для її попереднього нагрівання, то з переходом на живлення дифузійної установки жомопресо́вою водою та аміачним конденсатом цей варіант утилізації вторинного енергоресурсу, яким є утфельна пара, вичерпується). Витрата надлишкової води залишається рівною $W_{\text{над}} = 396,5 \text{ кг/т}$.

Кількість теплоти, що утилізується, $Q_{\text{підгр.уп}} = S_{\text{дс}} \cdot c_{\text{дс}} \cdot 20 = 82940 \text{ кДж/т}$.

Тепловміст утфельної пари, що надходить у вакуум-конденсаційну установку $Q_{\text{уп}} = 176207 \text{ кДж/т}$.

Відповідно, із загально-виробничого теплового балансу отримаємо $D_{\text{п}} = 156,5 \text{ кг/т}$, $\Sigma D_{\text{пр}} = 233,5 \text{ кг/т}$, $Q_{\text{техн}} = 534,25 \text{ МДж/т} = 127,5 \text{ Мкал/т}$.

Витрата умовного палива на виробництво технологічної пари в ТЕЦ

$$V_{\text{техн}} = Q_{\text{техн}} / (Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{кот}}) = 534,25 / (29330 \cdot 0,9) = 20,24 \text{ кг/т} \quad (11)$$

Результати аналізу впливу окремих факторів на ефективність тепловикористання

№ пп	Показник	Базовий варіант	1 етап	2 етап	3 етап	4 етап
1	Витрата барометричної води, кг/т	830	211,2	0	0	0
2	Витрата надлишкової води, кг/т	718,8	0	361	396,5	396,5
3	Витрата пари на технологічні потреби, кг/т	353,4	318,2	305,9	269,8	233,5
4	Витрата теплоти на технологічні потреби, Мкал/т	192,95	11733,76	167,04	147,3	127,5
5	Виробництво електроенергії на тепловому споживанні, кВт·год/т	30	30	30	28,4	24,6
6	Витрата умовного палива на технологічні потреби, кг/т	30,62	27,58	26,51	23,39	20,24
7	Витрата умовного палива на виробництво електроенергії, кг/т	4,6	4,6	4,6	4,36	3,77
8	Витрата умовного палива на технологію та виробництво електроенергії, кг/т	35,12	32,18	31,11	27,75	24,01
9	Комплексна витрата газу, м ³ /т	31,36	28,73	27,78	24,78	21,44
10	Доля тепловтрат в загальній витраті теплоти, %	21,8	24,2	25,2	28,5	33
11	Відносне зменшення витрати теплоти на техн. потреби, %	-	10	13	24	33

Слід відзначити, що при такій витраті пари максимально можливе виробництво електроенергії в ТЕЦ на тепловому споживанні складатиме 24,6 кВт·год/т. Витрата умовного палива на виробництво цієї кількості електроенергії

$$V_{ee} = 24,6 \cdot 3600 / (Q_n^p \cdot \eta_{тец}) = 3,77 \text{ кг/т} \quad (12)$$

Витрата умовного палива на технологічні потреби та виробництво електроенергії

$$V = V_{техн} + V_{ee} = 24,01 \text{ кг/т} \quad (13)$$

Витрата газу складатиме 21,44 м³/т.

Зведемо результати розрахунків у **таблицю 1**.

Як відзначалось в попередньому матеріалі, вищенаведені результати з витрати ПЕР можуть бути використані для аналізу як мінімально можливі.

В цьому сенсі отримані результати можуть слугувати **критерієм ефективності** використання теплоти на цукрових заводах з аналогічними теплотехнологічними схемами.

Слід особливо відзначити, що коли мова йде про аналіз ефективності, то це обов'язково повинен бути **порівняльний аналіз**. В основу ж процедури порівняльного аналізу покладено поняття **критерія порівняння**, в даному випадку **критерія ефективності**.

В реальних розрахунках в основу аналізу ефективності теплоспоживання повинні бути покладені результати теплотехнологічного аудиту підприємства. Якщо в проектних розрахунках згідно запропонованої методики при формулюванні вихідних умов ми задаємося деяким розрахунковим матеріальним балансом по всім станціям заводу та величинами тепловтрат, а в результаті визначаємо комплексні показники витрати ПЕР, то при аналізі реального стану теплоспоживання за результатами аудиту складають реальний матеріальний баланс по всім станціям заводу, після чого, знаючи реальні показники витрати ПЕР, з використанням запропонованої методики визначають реальні значення тепловтрат. Отримані результати повинні бути покладені в основу порівняльного аналізу реальних показників споживання ПЕР з показниками передових теплотехнологічних комплексів, що виконуватимуть роль **критеріїв ефективності**. На цих же результатах повинні базуватися подальші варіантні розрахунки перспективних теплотехнологічних схем та їх порівняльний аналіз.

Також при складанні балансу виробництва теплової та електричної енергії в ТЕЦ приймали, що турбоагрегати нові, тобто мають максимально можливий відносний внутрішній к.к.д. На діючих ТЕЦ цукрових заводів внаслідок зношеності турбоагрегатів їх відносний внутрішній к.к.д. нижчий від паспортного, відповідно, збільшується витрата пари (не енергії) через турбіну на виробництво електроенергії.

Таблиця 2

Показники	Базовий варіант	1 етап	2 етап	3 етап	4 етап
Витрата соку на випарну установку, кг/т, $S_{св}$	846,15	846,15	846,15	877,95	877,95
Вміст сухих речовин в сиропі, %, $CP_{сир}$	65	65	65	72	72
Витрата пари на випарну установку, кг/т, $D_{техн}$	353,4	318,2	305,9	269,8	233,5
Кратність випаровування	2,39	2,66	2,77	3,25	3,76

В сенсі теплотехнічної частини аналізу теплотехнологічного комплексу цукрового заводу важливим показником є кратність випаровування випарної установки, що визначає, скільки кілограмів води випарює у випарній установці один кілограм пари, що надходить в її перший корпус. Визначимо цей показник, вважаючи, що вся пара з ТЕЦ надходить лише в нагрівну камеру першого корпусу, всі ж інші споживачі використовують вторинну пару випарної установки.

Значення кратності випаровування визначимо наступним чином:

$$k = S_{св} (1 - CP_{св} / CP_{сир}) / D_{техн} \tag{14}$$

де $S_{св}$ – витрата соку на випарну установку, кг/т; $CP_{св}$ – вміст сухих речовин в соку перед випарною установкою, %, $CP_{св} = 15\%$; $CP_{сир}$ – вміст сухих речовин в сиропі після випарної установки, %.

Приймаючи вміст сухих речовин в клеровці жовтих цукрів такою, що дорівнює вмісту сухих речовин в сиропі після випарної установки, при заданих вихідних умовах визначимо кратність випаровування для розглянутих вище варіантів тепло технологічної схеми цукрового заводу.

Таким чином, поетапне зменшення витрати пари на технологічні потреби вимагає відповідного збільшення кратності випаровування випарної установки. Для цього в кожному конкретному випадку впровадження заходів із зменшення витрати ПЕР необхідно проводити балансування випарної установки, яке включає в себе цілий ряд теплотехнічних дій, а саме: перерозподіл паровідборів з переведенням споживачів на обігрів вторинною парою наступних корпусів (так зване «перенесення грівів на хвіст випарної установки»), включаючи збільшення площ поверхонь нагрівання споживачів; перерозподіл площ поверхонь теплообміну ступенів випарювання випарної установки (так званих «корпусів» випарної установки), включаючи на певному етапі збільшення їх числа (перехід до шестиступеневої, а потім і до семиступеневої схеми випарної установки); підвищення температурного режиму випарної установки.

Одним з найважливіших факторів, що впливає на кратність випаровування, є кількість води в соку перед випарною установкою, яка визначається величиною відкачки та розбавленням продуктів на верстаті заводу. Очевидно, зменшення кількості води при заданій кратності випаровування дозволяє підвищити вміст сухих речовин у сиропі та, як наслідок, зменшити витрату пари на вакуум-апарати та на технологічні потреби в цілому. Збільшення кратності випаровування при заданій витраті соку на випарну установку також дозволяє підвищити вміст сухих речовин у сиропі та, як наслідок, зменшити витрату пари на вакуум-апарати та на технологічні потреби в цілому.

Висновки

Лише поетапна комплексна реконструкція теплотехнологічного комплексу цукрового виробництва дозволяє послідовно зменшувати витрату ПЕР на технологічні потреби. При цьому збільшується відносна доля втрат в навколишнє середовище, а також зменшується виробництво електроенергії на тепловому споживанні.

Список використаних джерел:

1. Загородский С. Тепловое хозяйство сахарных заводов: пер. с польск./Предисл. А.Р.Сапронова.– М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1984.– 128 с.