

Витрати тепла і палива на виробництво цукру: перспективні, проектні, реальні

*А.О. Князєв
НВО "Цукор"*

*В.М. Філоненко, С.М. Василенко, В.П. Петренко
Український державний університет харчових технологій*

На сучасному етапі першочерговим завданням кожного цукрового заводу є суттєве зменшення витрат паливно-енергетичних ресурсів. Безумовно, що основна увага зосереджується на можливості досягнення мінімально необхідної питомої витрати тепла на технологічний процес переробки цукрових буряків, оскільки на виробництво цього тепла витрачається близько 80% всієї кількості палива.

Досвід передових цукрових заводів, особливо Данії, Франції та Німеччини, показує, що досягнення мінімальних витрат тепла забезпечується тільки при комплексному впровадженні багатьох організаційно-технічних заходів. Комплексний підхід при впровадженні заходів слід визнати основним надбанням цього досвіду, бо в умовах дуже тісних взаємозв'язків всіх елементів енерготехнологічної схеми впровадження поодиноких заходів може призвести не до зменшення, а до збільшення витрат тепла і відповідно палива.

Для створення енерготехнологічної схеми з мінімальними витратами тепла в цукровій промисловості України можуть бути залучені організаційні та перевірені і відпрацьовані на цукрових заводах науково-технічні розробки, які забезпечують впровадження прогресивної технологічної схеми, додержання регламентних (нормативних) технологічних та теплотехнічних показників роботи, ефективне використання тепла утфельної пари і промислових конденсатів, згущення соку у випарній установці до 72% сухої речовини у сиропі без відбору вторинної пари з останнього корпусу у конденсатор.

При названих вихідних вимогах мінімально необхідні витрати тепла на технологічний процес переробки цукрових

буряків будуть складатись з витрат тепла на дифузійну установку, ступеневе підігрівання соку на станції очистки та перед випарною установкою, підігрівання сиропу і витоків, уварювання утфелю, кристалізацію та сушіння цукру, але за винятком кількості ефективно використаного тепла утфельної пари та конденсатів, у тому числі у вигляді пари самовипаровування.

Якщо розглядати цукровий завод з дифузійною похилою установкою, пресуванням у вітчизняних жомовіджимних пресах усього жому до 22% сухої речовини, використанням термообробленої жомопресової води і деамонізованих конденсатів для живлення дифузійних апаратів, підтриманням високої якості бурякової стружки, оптимального температурного режиму і тривалості дифузійного процесу, то масові і теплові потоки та необхідні витрати тепла можна звести в таблицю (табл. 1).

Дифузійний сік очищають за типовою схемою з прогресивною переддефекацією та поверненням 20% до маси буряків згущеної суспензії соку I сатурації. Для зменшення витрат тепла та палива дифузійний сік до переддефекації можна нагріти від 30 до 47 °С вторинною (утфельною) парою вакуум-апаратів. При цьому згідно з матеріальним та тепловим балансами температура соку після переддефекатора буде 52 °С.

Подальше підігрівання соку перед основною дефекацією може бути здійснено охолодженням конденсатів, які після деамонізатора повинні потрапити в загальний збірник конденсатів, а потім частина з них при температурі 65 °С - для живлення дифузійної установки. Якщо в деамонізатор надходить аміачних конденсатів близько 85%

1. Масовий та тепловий баланси дифузійної установки

Потік вхідної та вихідної речовини	Температура, °С	Кількість		
		речовини, % до маси буряків	тепла, кДж/т	пари, % до маси буряків
Бурякова стружка	10	100	3771	-
Жомопресова вода:				
після жомових пресів	55	52,3	12052	-
після регенеративного підігрівання	66	52,3	14463	-
після термообробки в пароконтактному підігрівнику	85	54,1	19267	-
на вході у дифузійні апарати	74	54,1	16774	-
Деамонізовані конденсати	65	42,6	11602	-
Дифузійний сік на виробництво	30	120	13575	-
Жом після дифузійних апаратів	68	76,7	21853	-
Пара для пароконтактного підігрівання жомопресованої води з урахуванням 10% втрат тепла	90	-	4788	1,80
Пара для підігрівання корпусу дифузійних апаратів з урахуванням 8% втрат тепла	102	-	3567	1,33

до маси буряків, то після нього частина деамонізованих конденсатів у кількості 23% до маси буряків використовується для промивання фільтрів та приготування вапняного молока. Решта конденсатів у кількості 62% до маси буряків може бути охолоджена з 100 до 68 °С за рахунок нагрівання соку від 52 до 67 °С у протитечійному теплообміннику і спрямована в загальний конденсаторний збірник заводу.

Для остаточного нагрівання соку перед основною дефекацією в кількості 141,5% до маси буряків від 67 до 90 °С необхідно витратити пари 5,57% до маси буряків.

Згідно з регламентом типової технологічної схеми фільтрований сік I сатурації в кількості 132,3% до маси буряків нагрівається від 82 до 92 °С, витрати пари становлять 2,28% до маси буряків.

Сік перед випарною установкою в кількості 125,55% до маси буряків необхідно нагріти від 88 °С до температури кипіння соку у першому корпусі випарної установки. Якщо останню прийняти на рівні 134 °С, то загальна кількість пари на нагрівання соку буде 10,24% до маси буряків.

Сік можна згустити до 72% сухої речовини без додаткової витрати пари, а тільки за рахунок раціонального використання вторинної пари, особливо останніх корпусів випарної установки, та інших

заходів. При цьому кількість випареної води буде 101,25, а сиропу із випарної установки - 24,3% до маси буряків.

Ураховуючи досвід Теофіпольського цукрового заводу, сироп із випарної установки використовується для первинного набору вакуум-апаратів I кристалізації, а підкачки здійснюються клеруванням жовтого цукру в кількості 16,43% до маси буряків з концентрацією 65% сухої речовини. При загальній кількості сиропу та клеровки 40,73, а утфелю 30,44% до маси буряків витрата пари на уварювання утфелю I кристалізації з урахуванням 10% втрат тепла у навколишнє середовище становить 11,32% до маси буряків: 1,1 (40,73-30,44).

Згідно з продуктивним та тепловим розрахунками витрати пари на інші потреби кристалізаційного відділення становлять, % до маси буряків: на уварювання утфелю II кристалізації 2,32; на уварювання утфелю III кристалізації 1,49; на нагрівання витоків від 55 до 85 °С 0,79; на клерування жовтого цукру 0,30; на пропарювання вакуум-апаратів методом "видавлювання утфелю" за досвідом фірми DdS 0,50; на пропарювання центрифуг та нагрівання води 0,20; нагрівання повітря в калориферах сушарок для цукру 0,50.

Сума наведених витрат пари на теплотехнологічне обладнання є мінімально необхідною для технологічного процесу

виробництва цукру, але тільки за умови, що на випарній установці раціональним відбором вторинної пари буде досягнуто згущення соку до 72% сухих речовин без скидання пари з останнього корпусу в конденсатор.

Ураховуючи досвід передових цукрових заводів, проблема раціонального розподілу вторинної пари випарної установки може бути вирішена підвищенням температурного режиму на випарній установці до рівня, при якому забезпечується стає використання вторинної пари третього корпусу для уварювання утфелю у вакуум-апаратах I, II і III кристалізації.

Якщо орієнтуватись на існуючий парк установлених вакуум-апаратів, то відпрацьовано регламент їх роботи при температурі гріючої пари на рівні 114-115 °С. Безумовно, що при впровадженні вакуум-апаратів із механічною циркуляцією температура гріючої пари може бути зменшена до 106-108 °С і відповідно зменшаться витрати пари на нагрівання соку до температури кипіння у першому корпусі випарної установки.

Для сучасних умов прийнятний температурний режим випарної установки наведено в табл. 2.

2. Температурний режим випарної установки, °С

Показники	Корпуси (ступіні) випарної установки			
	перший	другий	третій	четвертий
Температура гріючої пари	140	132,6	124,4	114,3
Корисна різниця температур	6,0	6,5	7,0	7,5
Температура кипіння соку	134,0	126,1	117,4	106,8
Температурна депресія	0,4	0,7	2,1	3,3
Температура вторинної пари	133,6	125,4	115,3	103,5
Зниження температури в трубопроводах	1,0	1,0	1,0	1,0
Температура конденсату	138,0	130,6	122,4	112,3

Температурний режим, наведений у табл. 2, можливо реалізувати при впровадженні комбінованої випарної установки, коли як першу ступінь випарювання використовують випарні апарати з нетривалим перебуванням соку при високій температурі кипіння. Це випарні апарати плівкового, прямоточно-плівкового чи однопрохідного типу, які відповідно до державної програми освоєння нових видів обладнання повинні

бути в 1994-1995 рр. впроваджені у серійне виробництво. У цей же час передбачається на одному з цукрових заводів реалізувати і відпрацювати режим експлуатації теплової схеми з комбінованою випарною установкою.

При використанні трубчастих підігрівників необхідної площі поверхні нагріву, які на проміжних стадіях забезпечують нагрівання соку до температури на 8 °С менше, ніж температура гріючої пари, раціональний розподіл вторинної пари випарної установки буде відповідати даним, наведеним у табл. 3.

Конденсатна схема повинна забезпечувати відвід конденсатів приблизно одного тиску у відповідні групові збірники конденсатів. Конденсат технологічної (ретурної) пари та частково конденсат вторинної пари першого корпусу випарної установки після зниження їх температури до 102-103 °С, наприклад за рахунок самовипарювання, надходять в ТЕЦ для живлення парових котлів. Конденсати вторинної пари інших корпусів випарної установки послідовно перетікають із збірників у збірник останнього корпусу і після деаерізації використовуються для промивання фільтрів і після охолодження в теплообміннику - для живлення дифузійних апаратів. При такій схемі пара самови-

парювання конденсатів потрапляє у відповідні паропроводи і зменшує розрахункову потребу у вторинній парі випарної установки, яка буде становити, % до маси буряків: $E_1 = 2,52$; $E_2 = 3,51$; $E_3 = 19,36 - 0,40 = 18,96$; $E_4 = 5,81 - 5,20 = 0,61$; $E_5 = 5,17$.

У результаті відбору вторинної пари загальна кількість випареної води у випарній установці буде: $\Sigma W = 2,52 + 2 \cdot 3,51 +$

3. Розподіл вторинної пари випарної установки

Споживачі пари	Кількість пари, % до маси буряків					
	технологічної	вторинної корпусів				
		першого	другого	третього	четвертого	п'ятого
Пароконтактні підігрівники жомопресової води	-	-	-	-	1,80	
Дифузійні апарати	-	-	-	1,33	-	
Підігрівники дифузійного соку	Утфельна пара вакуум-апаратів					
Підігрівники соку перед дефекацією групи:	Промислові конденсати					
1-ї	-	-	-	-	3,37	
2-ї	-	-	-	2,20	-	
3-ї	-	-	-	2,28	-	
Підігрівники фільтрованого соку <i>128</i>	-	-	-	2,28	-	
Підігрівники соку перед випарною установкою групи:						
1-ї	-	-	3,73	-	-	
2-ї	-	2,22	-	-	-	
3-ї	-	2,02	-	-	-	
4-ї	2,27	-	-	-	-	
Вакуум-апарати I кристалізації	-	-	-	11,32	-	
Вакуум-апарати II кристалізації	-	-	-	2,32	-	
Вакуум-апарати III кристалізації	-	-	-	1,49	-	
Збірники витоків	-	-	0,79	-	-	
Збірники клеровки	-	-	0,30	-	-	
Пропарювання вакуум-апаратів	-	-	-	0,50	-	
Пропарювання центрифуг	-	-	0,20	-	-	
Сушарка для цукру	-	0,50	-	-	-	
Всього	2,27	2,52	3,51	19,36	5,17	

$+3 \cdot 18,96 + 4 \cdot 0,61 + 5 \cdot 5,17 = 94,71\%$ до маси буряків. Для випарювання необхідної кількості води слід передбачити в тепловій схемі застосування пароструминної термокомпресорної установки, наприклад марки Ш1-ПУТ, яка в розрахунковому режимі повинна ежектувати $101,25 - 94,71 = 6,54\%$ до маси буряків вторинної пари першого корпусу випарної установки. За цієї умови потреба випарної установки в технологічній парі $D_1 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 = 2,52 + 3,51 + 18,96 + 0,61 + 5,17 = 30,77\%$ до маси буряків, а кількість випареної води у корпусах випарної установки $W_1 = 30,77 + 6,54 = 37,31$; $W_2 = 28,25$; $W_3 = 24,74$; $W_4 = 5,78$; $W_5 = 5,17\%$ до маси буряків. Це забезпечить згущення соку у корпусах випарної установки до такого остаточного

вмісту сухої речовини: $CP_1 = 19,82$; $CP_2 = 29,15$; $CP_3 = 49,61$; $CP_4 = 59,35$; $CP_5 = 72\%$.

При загальній кількості конденсатів у збірниках $128,12\%$ до маси буряків у ТЕЦ передбачається направити $128,12 - 85 = 43,12\%$ до маси буряків, або на 30% більше, ніж потреба в парі цукрового заводу. Таким чином, при зазначених вихідних вимогах мінімально необхідні витрати пари на процес переробки цукрових буряків складаються з витрат на перший корпус випарної установки та підігрівники соку 4-ї групи перед випарною установкою і становлять $30,77 + 2,27 = 33,04\%$ до маси буряків. Ця потреба в парі забезпечується за рахунок відпрацьованої пари парових турбін та робочої пари парових котлів, яка подається в термокомпресорну установку.

При розрахунковому коефіцієнті інжекції термокомпресорної установки марки ШІ-ПУТ на рівні 1,21 кількість робочої пари парових котлів, яка подається в термокомпресорну установку, становить $6,54:1,21 = 5,40\%$ до маси буряків, а кількість стиснутої пари (з урахуванням конденсатів на охолодження стиснутої пари) - $5,40 + 6,54 + 1,09 = 13,03\%$ до маси буряків. Кількість відпрацьованої пари парових турбін, необхідної для технологічних потреб виробництва цукру, становить $33,04 + 6,54 - 13,03 = 26,55\%$ до маси буряків. Ураховуючи, що на сантехнічні потреби (опалення, гаряче водопостачання та механічну вентиляцію) цукрового заводу витрачається пари близько 3,5% до маси буряків, кількість відпрацьованої пари становить $26,55 + 3,5 = 30,05\%$ до маси буряків.

Безумовно, що при наведеній кількості відпрацьованої пари парових турбін можливо виробити електричної енергії на рівні 30 кВт·год/т буряків, якої вистачить при впровадженні необхідних заходів по її економії. До речі, питомі витрати електроенергії на цукрових заводах Данії становлять приблизно 19 кВт·год/т буряків.

Питомі витрати тепла на переробку 1 т буряків при вживанні такої кількості пари та поверненні в ТЕЦ конденсатів становлять $(5,40 \cdot 795,4 + 30,05 \cdot 663,8 - 43,12 \cdot 102) : 100 = 199,44$ Мкал/т. При питомих витратах умовного палива (7000 ккал/кг) на виробництво тепла в ТЕЦ на рівні 170 кг/Гкал потреба цукрового заводу в тепловій енергії буде еквівалентна витратам палива: $199,44 \cdot 170 \cdot 10^{-4} = 3,4\%$ до маси буряків. Такі питомі витрати тепла і палива є перспективними для цукрової промисловості України і можуть бути досягнуті при комплексному впровадженні зазначених науково-технічних та організаційних заходів.

Проектна документація теплового господарства цукрового заводу на сучасному етапі також ґрунтується на типовій технологічній схемі та 5-корпусній випарній установці, але має суттєві відмінності від наведеної теплової схеми, а саме: дифузійні апарати живляться жомопресовою водою в кількості 40% до маси буряків, а решта барометричною водою,

нагрітою до 66 °С у пароконтактних підігрівниках; не передбачається використання утфельної пари для підігрівання дифузійного соку перед переддефекацією; розрахункова температура кипіння соку у першому корпусі випарної установки становить 129 °С, а температура вторинної пари у першому корпусі 128,5 °С, другому 120, третьому 111, четвертому 100 і п'ятому 86,5 °С; температура соку на виході з проміжних підігрівників приймається меншою, ніж температура гріючої пари, на 10 °С; згущення соку у випарній установці передбачається до вмісту сухої речовини 65%; для уварювання утфелю І, ІІ і ІІІ кристалізації використовується вторинна пара другого корпусу випарної установки; не застосовується пароструминна термокомпресорна установка, а сироп до потрібної концентрації доводиться у результаті скидання пари з останнього корпусу випарної установки в конденсатор.

З урахуванням зазначених відмінностей витрати та розподіл вторинної пари випарної установки між окремими споживачами зведені в табл. 4.

Проектні питомі витрати пари на технологічні $(37,81 + 3,11 = 40,92)$ та сантехнічні (3,5) потреби виробництва цукру становлять $40,92 + 3,5 = 44,42\%$ до маси буряків, витрати тепла $(44,42 \cdot 663,8 - 53,2 \cdot 99) : 100 = 242,2$ Мкал/т, а еквівалентні витрати умовного палива $242,2 \cdot 170 \cdot 10^{-4} = 4,1\%$ до маси буряків. *без з/з і пали*

Згідно із статистичними даними про роботу цукрових заводів України за друге півріччя 1992 р. реальні питомі витрати тепла на виробництво цукру знаходяться на рівні 280-310 Мкал/т, еквівалентні витрати умовного палива - 4,7-5,7, а у середньому $300,9 \cdot 176,4 \cdot 10^{-4} = 5,3\%$ до маси буряків.

Реальні питомі витрати палива на виробництво цукру перебільшують проектні на 0,6-1,6% до маси буряків, що в середньому пояснюється на 75% роботою заводів із підвищеною кількістю соків та напівпродуктів на всіх ділянках технологічної схеми, на 10% порушенням теплотехнічного режиму і на 15% з пониженою ефективністю роботи ТЕЦ (промкотельних) цукрових заводів.

4. Витрати та розподіл пари між споживачами

Споживачі пари	Кількість пари, % до маси буряків					
	технологічної	вторинної корпусів				
		першого	другого	третього	четвертого	п'ятого
Пароконтактні підігрівники жомпресової води	-	-	-	-	1,50	-
Пароконтактні підігрівники барометричної води	-	-	-	-	-	1,80
Дифузійні апарати	-	-	-	0,82	-	-
Підігрівники соку перед дефекацією групи:						
1-ї			Промислові конденсати			
2-ї	-	-	-	-	-	4,30
3-ї	-	-	-	-	2,91	-
4-ї	-	-	-	0,74	-	-
Підігрівники фільтрованого соку групи:						
1-ї	-	-	-	-	1,14	-
2-ї	-	-	-	1,15	-	-
Підігрівники соку перед випарною установкою групи:						
1-ї	-	-	-	2,62	-	-
2-ї	-	-	1,99	-	-	-
3-ї	-	1,90	-	-	-	-
4-ї	2,61	-	-	-	-	-
Вакуум-апарати I кристалізації	-	-	14,19	-	-	-
Вакуум-апарати II кристалізації	-	-	2,32	-	-	-
Вакуум-апарати III кристалізації	-	-	1,49	-	-	-
Збірники витоків	-	0,79	-	-	-	-
Збірники клеровки	-	0,30	-	-	-	-
Пропарювання вакуум-апаратів	-	1,50	-	-	-	-
Пропарювання та підігрівання води для центрифуг						
Сушарка для цукру						
Всього	3,11	4,69	19,99	6,33	5,55	6,10
Кількість пари самовипарювання конденсатів	-	-	0,24	0,67	4,48	-
Розрахункові паровідбори	-	4,69	19,75	5,66	1,07	6,10
Скидання пари з останнього корпусу в конденсатор	-	-	-	-	-	0,54
Кількість випареної води	-	37,81	33,12	13,37	7,71	6,64

Досягнення проектних та перспективних питомих витрат палива у результаті комплексного впровадження організаційно-технічних заходів дозволить зменшити щорічні витрати умовного палива на технологічні потреби цукрових заводів України відповідно на 500 та 800 тис.т.

Додаткова економія може бути отримана при впровадженні заходів по зменшенню витрат тепла та палива на інші виробничі потреби цукрового заводу та удосконаленні системи опалення і гарячого водопостачання кожного заводу і при заводського житлового селища.