

## **Проблемы энергосбережения и оценка эффективности энергопотребления при производстве сахара**

**А.П. ЩЕРЕНКО, Н. Д. ДЕНИСОВ-ВИНСКИЙ**  
[401101@mail.ru](mailto:401101@mail.ru)

*ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств»*

*Решение проблемы по разработке и внедрению энергосберегающих технологий в производственный процесс сахарных заводов и предлагаемая методика оценки энергоэффективности потребления тепловой энергии в технологическом процессе на основе термодинамического анализа и рационализации теплотехнологической схемы имеет важнейшее значение для снижения энергозатрат в производстве сахара и его себестоимости.*

*Ключевые слова:* энергосбережение; энергоэффективность; рационализация; технология; термодинамический анализ.

---

## **Problems energosberezhenya and the assessment of efficiency of energopotroyeblyeny by production of sugar**

**A. P. SHCHERENKO, N. D. DENISOV-VINSKY**  
*FGBOU VPO «Moscow state university of food productions»*

*The solution on development and introduction of energy saving technologies in production of sugar plants and an offered technique of an assessment of power efficiency of consumption of thermal energy in technological process on the basis of the thermodynamic analysis and rationalization of the heat technological scheme is essential for decrease in energy consumption in production of sugar and its prime cost.*

*Keywords:* energy saving; power efficiency; rationalization; technology; thermodynamic analysis.

---

В последние два десятилетия наметилось устойчивое и значительное отставание в области разработок и внедрения энергосберегающих технологий на отечественных пищевых предприятиях. Особенно это касается сахарных заводов, являющихся мощными потребителями тепловой энергии, которая вносит весомый вклад в себестоимость выпускаемой продукции. В целом же, по различным экспертным оценкам, нереализованный потенциал энергосбережения в нашей стране достигает 30 – 40% от общего объема энергопотребления.

Причина не решенных задач в области практической реализации энергосбережения кроется, прежде всего, в несовершенстве организации технологических процессов; в использовании устаревшей техники – оборудования и аппаратов, не обеспечивающих высокую интенсивность и эффективность при реализации технологий; в отсутствии комплексного системного подхода в разработке и создании рациональных энергосберегающих теплотехнологических схем на базе современных научно-технических достижений. Уже не достаточно считать какую – либо технологию совершенной, отвечающей только требованиям высокого качества выпускаемой продукции при максимально возможном ее выходе. В настоящее время к ним добавляются: экологическая чистота и безопасность производства,

минимизация энергозатрат и создание сопутствующих основному производству технологий по переработке техногенных отходов. Только при выполнении всех указанных требований технология может обладать высоким уровнем совершенства. Конкретные примеры, подтверждающие характерные причины отставания отечественных предприятий в области освоения энергосберегающих технологий, можно проиллюстрировать на базе свеклосахарного производства:

- начальный урон энергосбережению наносится на этапе получения свекловичного сока в результате завышения величины его откачки из диффузионного аппарата, превышающей нормативное значение. Это приводит к увеличению расхода сока и, как следствие, к перерасходу тепловой энергии при его подогреве в теплообменниках на всех стадиях очистки и испарении излишков воды на выпарной установке (ВУ);

- дальнейший перерасход энергии определяется отсутствием оптимальной скоординированности в организации совместной работы ВУ и варочно-кристаллизационного отделения завода. Это связано с заниженными значениями концентрациями сиропа на выходе из последнего корпуса ВУ (по отечественным нормативам она равна 65%, а лучшие зарубежные заводы работают с концентрацией 68 – 72%) и его входе в вакуум-аппарат первого продукта, что приводит к значительному перерасходу тепловой энергии на уваривание и кристаллизацию, увеличению выхода низкопотенциального уфельного пара из вакуум-аппарата и, соответственно, расхода охлаждающей воды на его конденсацию, и, как следствие, к дополнительным затратам электрической энергии на ее перекачку в барометрические конденсаторы;

- свою лепту в повышении энергозатратности производства при реализации тепломассообменных процессов вносит машинно-аппаратурное сопровождение технологии, не отвечающее современному уровню научно-технических достижений и не способных обеспечить высокую интенсивность осуществляемых процессов и требующих повышенных температурных потенциалов энергоносителей, снижая долю использования вторичных энергоресурсов в производстве (это кожухотрубные теплообменники – вместо пластинчатых; выпарные аппараты с естественной циркуляцией – вместо пленочных аппаратов, а также вакуум-аппараты без принудительной циркуляции растворов);

- большими энергозатратами характеризуется переработка мощного технологического отхода производства – свекловичного жома, которая осуществляется сушкой продуктами сгорания, приводит к наличию канцерогенообразователей при производстве комбикормов и не позволяет утилизировать вторичный полученный в процессе сушки пар на нужды основного технологического процесса из-за содержания в нем кислот;

- не входит в состав мероприятий по энергосбережению использование тепловой энергии, теряемой в процессе конденсации низкопотенциальных уфельных (вакуумных) паров.

Анализируя выше приведенные причины, не способствующие решению задач в области энергосбережения, можно отметить, что первые три устраняются соблюдением нормативов и требований технологических регламентов и финансовых вложений в закупку высокоэффективного оборудования, а последние два ну-

ждаются в теоретических изысканиях и конструкторских разработках соответствующих технологий и техники с последующим внедрением в производство. Что касается задачи по разработке технологии переработки жома, то она частично решена с использованием для его сушки экологически чистого сушильного агента – перегретого водяного пара, но созданная для этого установка обладает существенным недостатком: громоздкостью, большой металлоемкостью и стоимостью. Промышленное же получение из него биогаза для обеспечения энергией основного производства ждет своего решения для создания высокоскоростной технологии синхронизированной с большой производительностью заводов по производству сахара. Проблема полной утилизации тепловой энергии низкопотенциальных паров из вакуум-аппаратов и последнего корпуса ВУ (при нерациональном распределении вторичных паров с ВУ) нуждается в окончательном решении (часть пара используется для подогрева диффузионного сока в первой группе теплообменников).

Наиболее перспективным направлением в решении проблемы повышения энергетического потенциала вакуумных паров является использование турбо- или электрокомпрессии ( в случае , когда нет возможности использовать отработанный пар с турбины-привода компрессора). Достоинство данного направления заключается в следующем: полная утилизация теплоты низкопотенциальных паров; значительное снижение водооборота в производственном цикле завода; уменьшение электрозатрат на перекачку больших объемов конденсата; отсутствие необходимости в конденсатных насосах и пароконденсатных установках в целом. Представляет интерес термодинамическая оценка энергетической эффективности цикла теплосиловой установки в комплексном сочетании: ТЭЦ – сахарное производство и учета в ней вклада утилизации тепловой энергии компримированных низкопотенциальных водяных паров.

Сложность проведения термодинамического анализа теплосиловой схемы энергоснабжения сахарного завода заключается в том, что она характеризуется и объединяет в своей работе несколько термодинамических циклов: основного прямого и одного или нескольких обратных (в зависимости от числа паровых потоков различного давления), составляющие процессы которых комбинировано увязаны между собой теплоэнергетической трансформацией с фазовыми превращениями. Классическая формула Карно для к.п.д. дает оценку полноты использования теплоты сгорания топлива для двух типов паросиловых установок – КЭС и ТЭЦ:

$$а) \eta_{ц}^{кэс} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l_0}{l_1} \quad б) \eta_{ц}^{тэц} = \frac{l_0 + q_2}{q_1} \quad (1)$$

где:  $l_0$  - полезная работа цикла, превращаемая в электрическую энергию;  
 $q_1$ ;  $q_2$  - подведенная и отведенная теплота в цикле.

Так как работа сахарного завода соответствует теплофикационной схеме ТЭЦ и теплота отводится в цикле с параметрами ( $P = 3$  бары;  $T = 133$  °С), позволяющими ее использовать в производственном процессе завода, то в этом случае термический коэффициент полезного теплоиспользования определяется по формуле (1)-б и будет равен единице. Но учитывая, что при реализации технологического процесса происходит многоэтапная трансформация тепловой энергии с понижением ее температурного потенциала при фазовых превращениях, начиная с

первого корпуса ВУ и заканчивая теплообменными и вакуум– аппаратами, предлагается ввести понятие обобщенного, «расширенного» теплофикационного производственного цикла с каскадно-последовательной регенерацией теплоты, которая в конечном итоге заканчивается потерей тепловой энергии низкого потенциала при конденсации паров из вакуум-аппаратов в барометрических конденсаторах. Это должно быть учтено при оценке энергетической эффективности производства и после введения в классическую формулу (1)-б величины теряемой тепловой энергии в барометрических конденсаторах с последнего корпуса ВУ -  $q_p$  (при нерациональном распределении вторичных паров по потребителям) и с вакуум-аппаратов (ульфельные пары) -  $q_y$ , получим значение коэффициента полезного использования ( $\eta_{\text{пн}}$ ) располагаемой подводимой теплоты в цикле:

$$\eta_{\text{пн}} = \frac{(l_0 + q_2) - (q_p + q_y)}{q_1} \quad (2)$$

или

$$\eta_{\text{пн}} = \frac{(l_0 + q_2) - (q_p + q_y)}{q_1} \quad (3)$$

где:  $\xi_p$ ,  $\xi_y$  - относительные расходы низкопотенциального пара из последнего корпуса ВУ и ульфельных паров из вакуум-аппаратов;

$r$  - усредненное значение скрытой теплоты парообразования.

Максимальная величина ( $\eta_{\text{пн}}$ ) может быть достигнута при полной утилизации в производственном цикле завода тепловой энергии низкопотенциальных паров. Основываясь на теории теплового насоса, предлагается использовать метод компрессирования указанных выше паров, позволяющий повысить их энергетические параметры до необходимого уровня, дающий возможность утилизировать полученный пар в технологическом процессе. Повышение энергетических параметров пара в турбокомпрессионной установке происходит за счет затраты механической энергии – работы турбин-приводов компрессоров низкопотенциального пара ( $l_{\text{тп}}$  и  $l_{\text{ты}}$ ). Вследствие этого в уравнение (3) вместо величины тепловых потерь, связанных с конденсацией низкопотенциальных паров необходимо ввести величину соответствующих затраченных работ на их компрессирование:

$$\eta_{\text{пн}} = 1 - \frac{l_{\text{тп}} + l_{\text{ты}}}{q_1} \quad (4)$$

Исходя из равенства работы расширения острого пара в турбине-приводе работе сжатия низкопотенциального пара в компрессоре, соединенными одним валом и введя понятие условного коэффициента инжекции турбокомпрессора по аналогии с таковым, используемым для характеристики эффективности работы термокомпрессоров ( $K_{\text{и}}$ ), можно выразить относительный расход острого пара на турбину-привод через относительный расход низкопотенциального пара на компрессор, используя введенный коэффициент инжекции (его можно определить через соотношение энтальпийных теплоперепадов в термодинамических процессах расширения в турбине-приводе и сжатия в компрессоре). Так как коэффициент инжекции представляет собой соотношение массовых расходов низкопотенциального и острого пара, то относительный расход последнего ( $\xi_{\text{тп}}$ ) применительно к логике рассуждений будет равен:  $\xi_{\text{тп}} = \xi_p / K_{\text{и}}$ . Так как работа в прямом цикле для одного

килограмма рабочего тела равна:  $l_0 = \eta_{ц} \cdot q_1$ , то применительно к относительному расходу ее величина будет следующей:

$$l_{тп} = \eta_{ц}^{тп} \cdot q_1 \cdot \frac{\xi_{п}}{K_{и}} \quad * (5)$$

Принимая параметры острого пара для основного прямого рабочего цикла теплосиловой установки завода и пара, подаваемого на турбины-приводы идентичными, можно получить окончательный вид уравнения для оценки термодинамической энергоэффективности сахарного завода:

$$\eta_{пн} = 1 - \frac{\eta_{ц}^{тп}}{K_{и}} (\xi_{п} + \xi_{у}) \quad (6)$$

Но данный термодинамический коэффициент энергоэффективности не учитывает степень полной рациональной организации теплового хозяйства завода с учетом использования всего потенциала вторичных энергоресурсов (отработанных горячих конденсатов и их паров самоиспарения). Следовательно необходимо ввести дополнительный критерий, учитывающий этот важный фактор, который характеризует уровень внедрения энергосберегающих технологий в производство. Таким критерием может стать предлагаемый коэффициент рационализации теплоэнергетического хозяйства для сахарного завода: ( $\eta_p$ )

$$\eta_p = \frac{d_t - d_d}{d_t - d_p} = \frac{1 - \varphi_d}{1 - \varphi_p}; \quad (7)$$

где:  $d_t$  - удельный расход первичного теплоносителя-пара, востребованного технологическим оборудованием и рассчитанный по его тепловым балансам;

$d_d, d_p$  - удельные расходы первичного пара в действующем и рационально организованном хозяйстве завода;

$\varphi_d, \varphi_p$  - соответствующие относительные удельные расходы пара.

Из формулы (7) очевидно, что при рациональной организации теплотехнологической схемы завода коэффициент ( $\eta_p$ ) должен стремиться к единице. На основании вышеизложенного полная оценка эффективности энергопотребления сахарного завода должна определяться совершенством термодинамического производственного цикла и уровнем рационализации теплотехнологической схемы:

$$\eta_{эф} = \eta_{пн} \cdot \eta_p.$$

Таким образом, если предприятие располагает высоким уровнем энергосберегающей технологии, разработанных на базе современных научно-технических достижений, то уровень его энергоэффективности определяется степенью совершенства его термодинамического производственного цикла.

### Список литературы

1. Щеренко А.П. Перспективы в энергосберегающей технологии сахарных заводов; монография. – М. – Издательский комплекс МГУПП, 2002. – 136 с.
2. Щеренко А.П., Гриценко А.Ю., Миринов В.Г. Реконструкция свеклосахарного производства: комплексный подход с использованием энергосберегающих технологий. Сахар. - №5. – с. 32 – 33.