

УДК 664.1

ПОТЕНЦИАЛ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В СВЕКЛОСАХАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

С.М. Василенко, докт. техн. наук, профессор,

К.О. Штангеев, канд. техн. наук, доцент,

Украинский НИИ сахарной промышленности, г. Киев, Украина

С.Н. Самойленк , Национальный университет пищевых технологий, г. Киев. Украина.

При внедрении комплексных мероприятий по энергосбережению важно разработать как стратегические ориентиры, которые будут отображать долгосрочные приоритеты развития предприятий, их производственный и ресурсный потенциал, так и тактические шаги, которые бы учитывали их возможности в переходной период. При этом следует учитывать, что энергосбережение не сводится лишь к сбережению топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), а, в первую очередь, имеет целью обеспечение максимальной эффективности их использование.

В этом смысле, энергосберегающую политику сахаропроизводящих компаний следует рассматривать как ориентированный на долгосрочную перспективу комплекс мероприятий по повышению эффективности использования ТЭР на предприятиях с целью сокращения затрат энергии на производство, поскольку уровень удельных затрат ТЭР при производстве сахара в значительной мере определяет его себестоимость и конкурентность [1,2].

Мировое повышение цен на топливо в 70-х гг. вызвало интенсивное внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий, которые, в свою очередь, привело к значительному сокращению удельных затрат ТЭР в сахарном производстве, прежде всего, в странах Западной Европы. В этих странах за последние 20 лет удельные расходы топлива сократились, практически, в два раза, а на лучших свеклосахарных заводах величина комплексной удельного расхода условного топлива достигла значений 2,2...2,5 % к массе свеклы (к м.св.) [3].

Этому достижению оказывали содействие твердая законодательная и экономическая политика государств в сфере энергосбережения и охраны окружающей среды, а также наличие развитого машиностроения и приборостроения, высококвалифицированных технических и научных кадров, плановое ведение хозяйства, стабильное финансовое положение предприятий, концентрация производства и широкая межгосударственная интеграция [3].

В настоящее время на сахарных заводах Украины и СНГ удельные расходы тепловой энергии на технологические нужды изменяются в весьма широких пределах: от 300...330 Мкал/т до лучших, приближаются к уровню 180 ... 185 Мкал/т.св. (это отвечает величине комплексного удельного расхода условного топлива на уровне 3 % к м.св.).

Согласно существующей методике [4] удельный комплексный расход топлива рассчитывается как сумма удельных расходов топлива на выработку тепловой и электрической энергии, а также расход топлива на производство извести и сатурационного газа:

$$b = 0,0001 \cdot (H_q^{6,i} \cdot b'_{me} + H_e^{6,i} \cdot b'_{ee} + x^{6,i} \cdot b'_{ван})$$

где: $H_q^{6,i}$ – норма расхода тепловой энергии на переработку свеклы при производстве сахара-песка, Мкал/т св.

b'_{me} – норма расхода условного топлива на отпуск от ТЭЦ тепловой энергии, кг у.т./Гкал.

$H_e^{6,i}$ – норма расхода электрической энергии на переработку свеклы при производстве сахара-песка, кВт-ч/т св.

b'_{ee} – норма расхода условного топлива на отпуск от ТЭЦ электрической энергии, кг у.т./кВт-ч.

$x^{6,i}$ – норма расхода извести на переработку свеклы, кг СаО/т св.

$b'_{ван}$ – норма расхода условного топлива на производство извести, кг у.т./т СаО.

В соответствии с этим существующие величины расхода энергоресурсов в сахарной промышленности представлены в таблице:

Величины	Удельный расход тепла на переработку свеклы, Мкал/т.св.	Удельный расход топлива в ТЭЦ на выработку теплоты, кг.т./Мкал	Удельный расход электроэнергии на переработку свеклы, кВт-ч/т.св.	Удельный расход топлива в ТЭЦ на выработку электроэнергии, кг.т./кВт-ч	Удельный расход извести на очистку, %СаО к м.св.	Удельный расход топлива на производство извести, кг.т./кг СаО
Базовый уровень	294	0,175	27,7	0,178	2,5	0,17
Лучшие показатели по заводам СНГ	180	0,160	22,0	0,166	1,8	0,142
Лучшие мировые показатели (потенциально возможный уровень)	92	0,154	15,0	0,151	1,2	0,135
Удельный расход топлива для базового уровня, % к м.св.	5,15		0,49		0,43	
Удельный расход топлива для лучшего уровня в СНГ, % к м.св.	2,88		0,37		0,26	
Удельный расход топлива для лучшего мирового уровня, % к м.св.	1,42		0,23		0,16	
Комплексный удельный расход топлива для базового уровня, % к м.св.				6,07		
Комплексный удельный расход топлива для лучшего в СНГ уровня, % к м.св.				3,51		
Комплексный удельный расход топлива для лучшего мирового уровня, % к м.св.				1,92		

В качестве базового уровня приняты величины удельных расходов энергоресурсов, характерные для большинства свеклосахарных заводов Украины и Российской Федерации.

При расчете лучших показателей сахарных заводов СНГ приняты показатели работы Слуцкого и Жабинковского (Беларусь), Чертковского и Крыжопольского (Украина), Валуйского и Знаменского (РФ) сахарных заводов.

Лучшие в мире показатели не относятся к конкретному сахарному заводу, а рассчитаны по лучшим показателям расхода отдельных видов энергоресурсов на разных западноевропейских сахарных заводах.

При анализе эффективности использования ТЭР, внедрения энергосберегающих технологий основной методической задачей является выбор метода ее количественной оценки. Сравнение показателей расходов ТЭР предлагаемых вариантов совершенствования теплотехнологического комплекса с показателями работы существующей схемы являются субъективным, поскольку не характеризует уровень совершенства тепловой схемы.

Так, в работе [5] с учетом реальных условий работы при откачке диффузного сока 120 % к м.св. и сгущении сиропа до 72 % СВ была определена перспективная величина затрат топлива на производство тепловой энергии в количестве

3,4 % к м.св. Но уже в нынешнее время она уже уступает практически достигнутым показателям. Это объясняется тем, что ряд заводов перешли на работу с величиной откочки диффузионного сока на уровне 100...110 % к массе свеклы и оснащены более совершенным технологическим оборудованием с соответствующим усовершенствованием технологических процессов.

В то же время всегда весьма актуальным остается вопрос: до какой величины теоретически возможно уменьшить удельные величины расхода ТЭР на технологические нужды свеклосахарного производства при существующей технологии производства сахара-песка.

В теплотехнике традиционно для объективного анализа эффективности термодинамических процессов и систем используют как базу сравнения некоторые соответствующие идеализированные объекты, к которым принадлежит, в том числе, общеизвестные "цикл Карно", "цикл Ренкина", "адиабатическая турбина" и т.п. Эффективность реальных объектов определяется путем сравнения их показателей с показателями идеальных в соответствующем диапазоне изменения режимных параметров. Поэтому логическим предположением является разработка такой идеализированной схемы теплотехнологического комплекса сахарного завода, показатели работы которой бы минимально зависели от аппаратурного оформления и определялись бы, в первую очередь, предельно возможными значениями режимных параметров.

Существующая технология свеклосахарного производства предусматривает многоступенчатое нагревание продуктов и выпаривание довольно значительного количества воды из сахарных растворов, необходимые для ее реализации. Поэтому минимально необходимая величина удельных затрат тепловой энергии определяется технологическими процессами, которые применяются для получения сахара.

Она может быть оценена исходя из идеализации всех технологических и теплотехнических процессов, т.е. при условии их приведения к полному выравниванию температур и концентраций, а также из предположения отсутствия потерь энергии в окружающую среду. При этом следует учесть, что кроме потерь энергии в окружающую среду через наружные поверхности оборудования и трубопроводов, имеет место диссипация механической энергии, то-есть необратимый переход механической энергии во внутреннюю вследствие процессов вязкостного трения, что можно рассматривать как дополнительный подвод теплоты к движущимся потокам жидкостей.

Исходя из изложенных принципов рассмотрим расходы тепловой энергии по отдельным участкам свеклосахарного производства.

Минимально возможная величина откочки не может быть меньше количества клеточного сока. Принимаем ее величину 95 % к м.св. При начальной температуре стружки 18 °С температура откочки будет составлять 20,5 °С (полного выравнивания температур сока и стружки не происходит из-за того, что массовая расходная теплоемкость получаемого диффузионного сока меньше, чем массовая расходная теплоемкость стружки).

Питание диффузионной установки обеспечивается жомпрессовой водой (61,3 % к м.св.) и избыточными конденсатами (14,6 % к м.св.). Поскольку принято, что отсутствуют теплопотери в окружающую среду, их температура принимается равной температуре диффузионного процесса 72 °С.

В этих условиях будет иметь место следующий баланс теплоты диффузионной установки (в ккал/100 кг свеклы):

Поступление теплоты со стружкой – 1494,0;
Поступление тепла с ЖПВ – 4412,7;
Поступление тепла с конденсатом – 1049,04;

Расход тепла с диф. соком	– 1539,0;
Расход тепла с жомом	– 5530,6;
Потери теплоты	– 0,0;
Всего расход тепловой энергии	– 7069,6.

Поступление тепловой энергии с греющим паром при этом составит 113,9 ккал/100 кг свеклы.

Т.е., для приведенных условий удельные расходы тепловой энергии на проведение диффузионного процесса будут составлять 1,14 Мкал/т.б.

Считаем, что технологический процесс очистки диффузионного сока происходит при температуре горячей дефекации 88 °С , 2- й сатурации 95°С (соответствующей является температура вторичного пара последнего корпуса выпарной установки), с удельным расходом извести на очистку в количестве 1,5 % к массе свеклы и ее 100 % активности.

Теплопотери через стенки аппаратуры и трубопроводов отделения сокоочистки отсутствуют. Имеют место лишь теплопотери, связанные с процессом сатурации за счет испарения воды из обрабатываемого сока. Расчет выполнялся по методике [6] при объемной концентрации CO₂ в сатурационном газе 41%, 100 % использовании CO₂ в процессе сатурации и с учетом выделения теплоты химической реакции.

Тепловая схема предполагалась с максимально возможным использованием теплоты вторичных энергоресурсов. Перед преддефекацией диффузионный сок нагревается вторичным паром вакуум-аппаратов и конденсатами в теплообменных аппаратах с коэффициентами тепловой эффективности равными единицы. Дальнейшие нагревания сока выполняются отборами вторичного пара выпарной установки, причем сок I сатурации перед фильтрацией не нагревается. Промывка фильтров выполняется избыточными конденсатами в количестве 5,52 % к м.св. и затем промой направляются на гашение извести. Потом с известковым молоком, имеющим температуру 85°С они возвращаются в соковый поток.

Для определения количества энергии, которое может быть получено от вторичных источников - вторичного пара вакуум-аппаратов и избыточных конденсатов, необходимо знать их количество. Количество избыточных конденсатов определяется из баланса выпаренной воды из сока в выпарной установке. Из расчета материального баланса при очистке на выпарную установку будет поступать очищенный сок в количестве 95,54 % к м.св. при содержимом 18,54 % СВ и чистоте 92,13 %. Наиболее высокие значения концентрации СВ сиропа, с которыми работают на практике (Дания), составляют 78 % СВ. В этом случае в выпарной установке должно быть выпарено воды в количестве:

$$W = S_c \cdot \left(1 - \frac{CP_c}{CP_{эф}} \right) = 95,54 \cdot \left(1 - \frac{18,54}{78} \right) = 72,83, \text{ \% к м.св.}$$

Из этого количества конденсата 5,52 % к м.св. расходуется на промывку фильтров, 14,57 % к м.св. охлаждается в теплообменнике диффузионного сока до 72 °С и направляется на питание диффузионной установки, а остаток в количестве 52,74 % к м.св. охлаждается в теплообменниках диффузионного сока до температуры диффузионного сока после I группы нагрева тупельным паром.

Величина нагрева диффузионного сока в первой группе зависит от количества выпаренной воды в вакуум-аппаратах 1,2 и 3 кристаллизаций. Технологический расчет продуктового отделения выполнялся при указанных выше концентрации и чистоте сиропа. Причем считалось, что на первой кристаллизации применяется дополнительная вакуумная кристаллизация (по типу аппаратов системы МЕТ), которая дает возможность обеспечить выход товарного сахара до 60,15 % к массе утфеля. Принималось также, что

отсутствуют соковые или водные раскочки при уваривании утфелей, а пересыщение межкристалльного раствора в конце варки равняется единице. При указанных условиях в вакуум-аппаратах будет выпарено воды, в % к м.св.:

- 1 кристаллизация - 3,7;
 - 2 кристаллизация - 0,65;
 - 3 кристаллизация - 0,20.
- Всего выход утфельного пара - 4,56 % к м.св.

При полном использовании энергии этого количества вторичного пара вакуум-аппаратов (теплота конденсации 565 ккал/кг) диффузионный сок в 1 группе может быть нагрет до температуры 48,61 °С.

Общая энергия избыточных конденсатов, которая может быть использована на нагревание диффузионного сока будет составлять 1670 ккал/100 кг свеклы, которые обеспечат нагревание сока на 19,53 °С и конечная температура диффузионного сока будет составлять 68,14 °С.

На дальнейшее нагревание дефекованного сока и сока перед 2 сатурацией будет израсходован пар в количестве 3,82 % к м.св. при теплоте конденсации 540 ккал/кг. Т.е. расход тепловой энергии, которую необходимо будет подать из ТЭЦ на проведение процесса очистки, будет составлять:

$$3,82 \cdot 540 \cdot 10 = 20,61 \text{ Мкал/т.св.}$$

На выпаривание воды в вакуум-аппаратах при теплоте парообразования 565 ккал/кг необходимо израсходовать теплоту в количестве:

$$4,56 \cdot 565 \cdot 10 = 25,79 \text{ Мкал/т.св.}$$

Выпарная установка при идеальных условиях, при полной регенерации энергии, минимизации теплоперепадов и отсутствии теплопотерь может работать без дополнительных затрат энергии.

При идеальных условиях энергия, израсходованная в процессе сушки сахара, полностью утилизируется.

Таким образом, в целом минимальные расходы тепловой энергии на технологический процесс в идеальных условиях будут составлять:

$$1,14 + 20,61 + 25,79 = 47,54 \text{ Мкал/т.св.}$$

При этом следует учесть, что данный расчет имеет форму так называемого «аналитического» баланса, в котором отражаются основные связи между отдельными стадиями переноса энергии и элементами теплотехнологического комплекса, а также оборот энергии в отдельных его процессах. Сопоставление такого баланса с фактическим энергобалансом предприятия выявляет общий потенциал энергосбережения на предприятии, позволяет определить количество неиспользуемых ВЭР, уровень потерь энергии и т.д.

Если в ТЭЦ тепловые процессы также идеальны: к.п.д. парогенераторов составляет 96% и определяется только потерями с дымовыми газами, расходы тепла с продувками составляют 1% при отсутствии других потерь, удельные расходы условного топлива на производство теплоты будут составлять 150,31 кг у.т./Гкал. Тогда удельные расходы условного топлива на производство тепловой энергии для технологических нужд будут составлять:

$$0,0001 \cdot 150,31 / 1000 \cdot 47,54 = 0,71 \% \text{ к м.св.}$$

Эти минимальные расходы могут быть несколько уменьшены при повышении температуры стружки и понижении температурного режима технологического процесса. Но влияние этих факторов относительно незначительно.

Комплексная величина удельных затрат условного топлива будет состоять из суммы удельных затрат топлива на производство тепловой энергии на технологические нужды, топлива на производство электрической энергии и топлива на производство известки и сатурационного газа.

Удельные расходы условного топлива на производство известки, при определенных условиях технологического процесса будут составлять 0,23 % к г.б.

При определении расхода топлива на производство электрической энергии из условия баланса производства и потребления тепловой и электрической энергии следует три возможных варианта:

1. При удельных затратах электрической энергии 22 квт-ч/т.св. и удельных затратах условного топлива 170 кг на производство Мвт-ч электроэнергии, удельные расходы условного топлива по этой статье будут составлять 0,38 % к м.св.

Тогда минимально возможные, при идеальных условиях, комплексные удельные расходы условного топлива будут представлять :

$$0,71 + 0,38 + 0,23 = 1,32 \% \text{ к м.св.}$$

Т.е. при ныне существующей технологии, качестве сырья и других условиях достичь меньших удельных затрат топлива практически невозможно. Фактические же минимальные удельные расходы будут определяться фактической неидеальностью процессов и экономической целесообразностью их аппаратного оформления и режимных параметров ведения процессов.

Выводы

Предложена методика анализа эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в свеклосахарном производстве при существующей технологии производства, которая базируется на применении сравнения удельных расходов с показателями предложенной идеализированной схемы теплотехнологического комплекса.

Применение методики позволяет количественно оценивать уровень совершенства реальных существующих и предлагаемых тепловых схем, а также влияние на их совершенство как отдельных мероприятий по энергосбережению, так и их комплекса.

Список литературы

1. Головняк Ю.Д., Горох В.Н., Князев А.О. Энергосбережения в технології цукрового виробництва. // Цукор України.- 1997.- № 1.- С.23 - 25.
2. Князев А.А., Горох В.Н., Вовченко В.С. Совершенствование тепловых схем сахарных заводов //Сахарная промышленность.-1998.-№ 1.- С. 25-29.
3. Штангеев К.О., Христенко В.І. Развитие тепловых схем цукровых заводов. Навчальний посібник.-К.: ПДО НУХТ, 2003.- 30 с.
4. Методики по визначенню нормативних показників питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів при переробі цукрових буряків – К.: «Цукор України», 2006. 150 с.
5. Князев А.О., Філоненко В.С. Василенко С.М., Петренко В.П. Витрати тепла і палива на виробництво цукру: перспективи, проектні, реальні.// Цукор України. 1994, № 1. С.8 - 13.
6. Христенко В.І., Штангеев К.О., Мішук Р.Ц. Визначення та методика розрахунку тепловтрат при сатурації // Журнал "Цукор України", 2000, №2, с. 14-16.