

УДК 66.047.1

Профессор А.А. Шевцов, докторант А.В. Дранников,
студент А.А. Подrezова, студент Т.В. Лесных
(Воронеж. ун-т инж. технол.) кафедра технологии хранения и переработки зерна,
тел. (473) 255-65-11

Сбалансированное теплоснабжение жомосушительного отделения свеклосахарного завода

Рассмотрены различные технологические режимы работы жомосушительных установок в тепловой схеме сахарного завода. Представлена сравнительная оценка этих режимов с точки зрения потребления энергии, и проведены необходимые расчеты.

Various technological operating modes of zhomosushilny installations in the thermal scheme of sugar plant are considered. The comparative assessment of these modes from the point of view of consumption of energy is presented and necessary calculations are carried out.

Ключевые слова: жомосушительная установка, энергетический анализ, тепловая схема, сахарный завод.

На отечественных сахарных заводах сушку жома в основном осуществляют в барабанных сушилках продуктами сгорания топлива с высокой температурой, что влечет за собой подгорание частиц жома и выброс загрязненного отработанного теплоносителя в атмосферу. Кроме того, этот способ требует значительных затрат топлива, что подтверждают ранее выполненные расчеты, согласно которым испарительная способность топлива (мазута с низшей теплотворной способностью

$Q_i^D = 38800 \text{ кДж/кг}$) составляет $0,0773 \text{ кг/кг}$ [1].

Следовательно, на сушку жома в барабанной сушилке необходимо затратить теплоту в количестве 74 МДж/100 кг свеклы.

Наиболее эффективным из известных способов сушки жома, является сушка перегретым паром под давлением [2]. Данный способ обладает рядом преимуществ по сравнению с известными:

- экологическая чистота проведения процесса;
- высокое качество готового продукта;
- высокая интенсивность протекания процесса;
- значительная экономия энергии.

На рис. 1 представлена схема сушки свекловичного жома с использованием сушилки 4, работающей под давлением $P = 0,32 \text{ МПа}$. Это давление соответствует давлению греющего пара в первом корпусе выпарной станции 3, поэтому вторичный пар

(ВП), образованный в результате сушки жома, можно использовать в качестве ретурного (РП) в данном корпусе. Вторичный пар, который является рабочим, перегревают в пароперегревателе 5 греющим паром (ГП) с давлением $P = 1,2 \text{ МПа}$ отобранном от турбины противодавления 2. Сушилки Niro, работающие по этой технологии, эксплуатируются как на сахарных заводах европейских стран, так и на ряде сахарных заводов США [2]. Однако внедрение такого способа сушки на отечественных сахарных заводах потребует приобретения дорогостоящего импортного оборудования и изменения тепловой схемы завода.

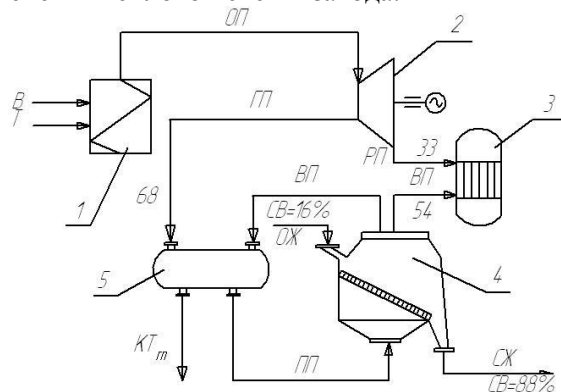


Рис. 1. Схема сушки свекловичного жома перегретым паром под давлением: 1 – парогенератор; 2 – турбина противодавления; 3 – первый корпус выпарной станции; 4 – сушилка, работающая под давлением; 5 – пароперегреватель; ОП – острый пар; ГП – греющий пар; РП – ретурный пар; ВП – вторичный пар; ПП – перегретый пар; КТ_{гп} – конденсат греющего пара; В – воздух; Т – топливо; ОЖ – отжатый жом; СЖ – сухой жом

Цель исследования – разработка энергетически эффективного способа сушки свекловичного жома и сравнение его с известными аналогами с точки зрения удельного потребления теплоты.

Учитывая преимущества и недостатки известных тепловых схем жомосушильного отделения разработан комбинированный способ сушки свекловичного жома (рис. 2) в две стадии: в низкотемпературной сушилке 6 подогретым воздухом и в высокотемпературной сушилке 4 перегретым паром атмосферного давления [3, 4].

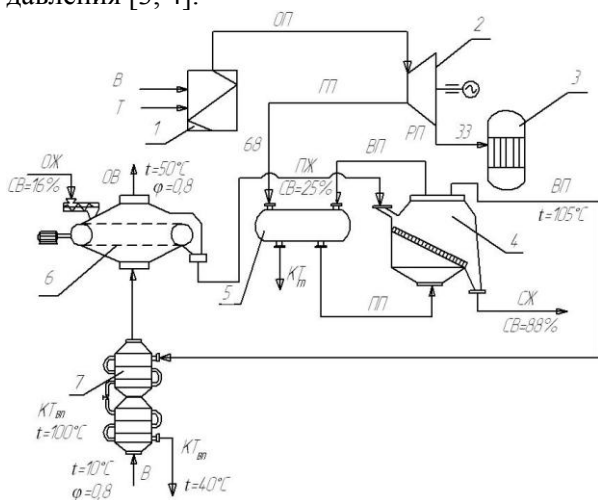


Рис. 2. Схема сушки свекловичного жома комбинированным способом: 1 – парогенератор; 2 – турбина противодавления; 3 – первый корпус выпарной станции; 4 – высокотемпературная сушилка; 5 – пароперегреватель; 6 – низкотемпературная сушилка; 7 – калорифер; ОП – острый пар; ГП – греющий пар; РП – ретурный пар; ВП – вторичный пар; ПП – перегретый пар; КТ_{гр} – конденсат греющего пара; КТ_{вп} – конденсат вторичного пара; В – воздух; Т – топливо; ОВ – отработанный воздух; ОЖ – отжатый жом; ПЖ – подсушенный жом; СЖ – сухой жом

На первой стадии отжатый жом (ОЖ) с содержанием СВ = 16 % направляется в сушилку 6 для подсушки подогретым атмосферным воздухом. Принятое значение содержания СВ = 16 % обусловлено техническими возможностями прессов на отечественных сахарных заводах, а приобретение зарубежных прессов, позволяющих довести содержание СВ в отжатом жоме до 25 %, потребует значительных затрат денежных средств.

Нагрев воздуха осуществляется в двухсекционном калорифере 7, где в первой секции конденсируется вторичный пар (ВП), образо-

ванный в результате сушки жома в высокотемпературной сушилке 4. Во второй секции калорифера нагрев воздуха осуществляется конденсатом вторичного пара (КТ_{вп}) при его охлаждении до температуры 40 °С. Подсушенный жом (ПЖ) с СВ = 25 % подается в высокотемпературную сушилку 4 для окончательной сушки до СВ = 88 % перегретым паром (ПП) атмосферного давления. Перегрев пара происходит в пароперегревателе 5 ретурным паром после турбины противодавления 2.

Представляет интерес проведение сравнительного энергетического анализа различных технологических режимов работы разработанной жомосушильной установки (рис. 2) и зарубежной (рис. 1).

Для сахарного завода мощностью 1500 т свеклы в сутки выход жома с содержанием СВ = 6 % составит 1200 т в сутки (80 % от перерабатываемой свеклы), который необходимо предварительно отжать до СВ = 16 %, а затем высушить до содержания СВ = 88 %.

Количество теплоты Q , кДж/кг, на испарение 1 кг влаги из отжатого до СВ = 16 % и СВ = 25 % жома определим для двух значений давления перегретого пара $P = 0,32$ МПа и $P = 0,1$ МПа (атмосферного) по формуле

$$Q = r + c_a(t_{\text{всп}} - \theta_1) + \tilde{n}_a(\theta_2 - \theta_1) + \tilde{n}_i(t_2 - t_1),$$

где r – теплота парообразования при данном давлении, кДж/кг; c_a – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·°С), ($c_a = 4,19$ кДж/(кг·°С)); $t_{\text{кип}}$ – температура кипения воды при данном давлении, °С; θ_1 – температура жома на входе в сушилку после прессования, °С, (принимается $\theta_1 = 50$ °С); θ_2 – температура жома на выходе из сушилки, °С, (для упрощения принимаем θ_2 равной температуре пара на выходе из сушилки t_2 , которая для $P = 0,1$ МПа составляет $t_2 = 105$ °С, для $P = 0,32$ МПа $t_2 = 140$ °С); $c_{\text{ж}}$ – удельная теплоемкость СВ жома, кДж/(кг·°С), (принимается $c_{\text{ж}} = 2,5$ кДж/(кг·°С)); $c_{\text{п}}$ – удельная теплоемкость пара на выходе из сушилки при данном давлении, кДж/(кг·°С).

При давлении перегретого пара $P = 0,32$ МПа расход теплоты на сушку выше в среднем на 5,0 % по сравнению с сушкой при атмосферном давлении (таблица). Это объясняется более высокими затратами теплоты на нагрев свекловичного жома до температуры испарения влаги, более высокой температурой

отработанного пара и продукта на выходе из сушилки.

Т а б л и ц а
Расход теплоты на сушку жома

Содержание СВ в отжатом жоме, %	Кол-во испаряемой влаги из жома $m_{вл}$		Q , МДж/ч (МДж/100 кг свеклы)	
	т/ч	кг/100 кг свеклы	$P = 0,1$ МПа	$P = 0,32$ МПа
16	15,3	24,48	40023 (64,0)	42148 (68,0)
25	8,6	13,76	22497 (36,0)	23691 (37,9)

Для стабилизированной совместной работы низкотемпературной и высокотемпературной сушилок (рис. 2) необходимо, чтобы теплоты вторичного пара (ВП), выходящего из высокотемпературной сушилки 4 с температурой 105 °С и направляемого в калорифер 7, было достаточно для подсушки жома в низкотемпературной сушилке 6. Для этого проведем некоторые расчеты.

Количество испаряемой влаги в низкотемпературной сушилке составляет (таблица):

$$m_{вл} = 15300 - 8600 = 6700 \text{ кг/ч.}$$

Состояние воздуха до калорифера 7 и на выходе из сушилки 6 примем согласно рекомендациям, приведенным в литературе для низкотемпературных сушилок [5, 6, 7]: $t_0 = 10$ °С, $\phi_0 = 0,8$ и $t_2 = 50$ °С, $\phi_2 = 0,8$.

Удельный расход теплоты q , кДж/кг, на испарение 1 кг влаги в сушилке 6:

$$q = (i_2 - i_0)(x_2 - x_0),$$

где i_0, i_2 – удельная энтальпия воздуха соответственно входящего в калорифер и на выходе из сушилки, кДж/кг; x_0, x_2 – влагосодержание воздуха до входа в калорифер и на выходе из сушилки, кг/кг:

$$q = (250 - 30) / (0,078 - 0,008) = 3142,9 \text{ кДж/кг.}$$

Следовательно, расход теплоты в низкотемпературной сушилке составит $Q_{нс} = 6700 \cdot 3142,9 = 21057430 \text{ кДж/ч} = 5849 \text{ кВт.}$

Теплоту, $Q_{вт}$, кДж/ч, отдаваемую в калорифере вторичным паром из высокотемпературной сушилки за счет его конденсации и охлаждения до температуры 40 °С, определим по формуле

$$Q_{\text{до}} = m_{\text{в}} \left[(i - i'_e) + (i'_e - i'_{\text{до}}) \right],$$

где i – удельная энтальпия вторичного пара, кДж/кг; i'_e – удельная энтальпия конденсата

вторичного пара, выходящего из первой во вторую секцию калорифера, кДж/кг; $i'_{\text{до}}$ – удельная энтальпия конденсата вторичного пара на выходе из калорифера, кДж/кг:

$$Q_{\text{вт}} = 8600[(2688,7 - 419,4) + (419,4 - 167,6)] = 21681460 \text{ кДж/ч} = 6023 \text{ кВт.}$$

Таким образом, в калорифере вторичным паром выделяется теплоты больше, чем необходимо для подсушки жома в низкотемпературной сушилке. Представленные результаты являются ориентировочными и могут изменяться в зависимости от параметров теплоносителей и влажности жома. Из расчетов следует, что создаются реальные условия в сбалансированной работе низкотемпературной и высокотемпературной сушилки.

Средний показатель потребления ретурного пара на отечественных сахарных заводах на первый корпус выпарной станции составляет 40 кг/100 кг свеклы или 87 МДж/100 кг свеклы. При этом, как правило, данное количество пара в турбине противодавления (ТП) вырабатывает электрическую энергию, которая полностью используется сахарным заводом.

При сушке жома по схеме рис. 1 расход теплоты составит 68 МДж/100 кг свеклы (см. таблицу). Полезно используемое количество теплоты с вторичным паром $Q_{п} = 54$ МДж/100 кг свеклы направляется на первый корпус выпарной станции. Поэтому после турбины противодавления 2 расход теплоты с ретурным паром составит $Q = 87 - 54 = 33$ МДж/100 кг свеклы, так как вторичный пар после сушилки 4 по своим технологическим параметрам соответствует ретурному. Следует отметить, что по данной схеме наблюдается недовыработка электрической энергии, так как турбина противодавления не используется на полную мощность в связи с промежуточным отбором греющего пара (ГП) с давлением $P = 1,2$ МПа. В этом случае наблюдается недовыработка электроэнергии в количестве 123,4 кВт·ч на 100 кг свеклы, которую, очевидно, необходимо будет приобретать по рыночной цене 4,2 р. кВт·ч (в ценах на август 2011 г.).

По схеме рис. 2 ретурный пар в количестве 36 МДж/100 кг свеклы (см. таблицу) расходуется на сушку подсушенного жома и 87 МДж/100 кг свеклы на первый корпус выпарной станции. Общий расход теплоты на сушку жома и первый корпус выпарной станции составит 123 МДж/100 кг свеклы или в денеж-

ном выражении 5,43 р./100 кг свеклы (себестоимость 1 Гкал пара 185 р.), что на 23,6 % меньше, чем при сушке в барабанных сушилках [1] (7,12 р./100 кг свеклы) и на 17,8 % больше, чем по схеме рис. 1 (4,47 р./100 кг свеклы). Но необходимо отметить, что при реализации на сахарном заводе комбинированного способа сушки свекловичного жома (рис. 2) будет дополнительно вырабатываться 682,8 кВт·ч электроэнергии на 100 кг свеклы, которая при себестоимости в 1,24 р. за 1 кВт·ч, позволит получить прибыль в 3,23 р./100 кг свеклы. Следовательно, при сушке жома комбинированным способом и реализации дополнительно выработанной электроэнергии потребителям затраты составят 2,2 р./100 кг свеклы, а при сушке жома под давлением и с учетом приобретения недовыработанной энергии со стороны затраты составят 5,3 р./100 кг свеклы.

Кроме того, схема по рис. 2 позволяет:

- организовать работу жомосушильной установки независимо от работы выпарной станции;
- включить сушку жома в тепловую схему завода без ее изменения;
- применять высокотемпературную сушилку более простой конструкции, так используется перегретый пар атмосферного давления;
- возвращать на питание парогенератора ТЭЦ конденсат ретурного пара (KT_{pn}) после пароперегревателя, который не загрязнен мелкой фракцией свекловичного жома, содержащейся в отработанном вторичном паре;
- использовать теплоту конденсатов сахарного завода для нагрева воздуха в калорифере, тем самым повысить содержание СВ в жоме на выходе из низкотемпературной сушилки, что уменьшит расход ретурного пара на высокотемпературную сушилку.

Дополнительные капитальные затраты комбинированного способа сушки на сооружение низкотемпературной сушилки могут компенсироваться использованием барабанных сушилок, имеющихся на сахарных заводах.

Таким образом, можно сделать вывод, что для отечественных сахарных заводов

наиболее приемлем комбинированный способ сушки свекловичного жома, позволяющий достичь минимальных экономических затрат, получить готовый продукт высокого качества, исключить изменения в тепловой схеме завода, а также отказаться от дорогостоящего импортного оборудования.

Данная работа была выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кретов, И. Т. Сравнительная оценка процесса сушки свекловичного жома топочными газами и перегретым паром [Текст] / И. Т. Кретов, В. М. Кравченко, А. В. Дранников // Изв. вузов. Сер. пищевая технология. – 2003. – № 1. – С. 44-46.
2. Andersson V. Beet pulp drying using pressurized superheated steam// Int. Sugar J. – 1999. – V. 101. – N. 1207. – P. 340 – 344.
3. Патент 2219449 РФ, F 26 B 21/04. Установка для сушки жома [Текст] / Кретов И.Т., Кравченко В.М., Шахов С.В., Дранников А.В. (Россия). – № 2002119911/06 (020738); заявлено 22.07.2002; опублик. 20.12.2003; Бюл. № 35.
4. Управление новой технологией сушки свекловичного жома [Текст] / И. Т. Кретов, А. А. Шевцов, В. М. Кравченко, А. В. Дранников // Автоматизация и современные технологии. – 2003. -№ 8. – С. 37 – 40.
5. Интенсификация процессов жомосушильного производства и перспективы его развития [Текст] / В. Д. Орлов, А. Ф. Заборсин, Л.Г. Иваницкая, А. С. Позняк, Т. В. Стародуб-М.: АгроНИИТЭИП, 1990. Вып. 11. – 24 с.
6. Schroeder D. Einige Gedanken zum Einsatz einer Niedertemperatur – Trocknung innerhalb der Schnitzeltrocknung// Zuckerindustrie. – 1983. – V. 108. – N. 2. – S. 126 – 135.
7. Valentin P. Erhöhte Abwärmenutzung der Zuckerfabrik in der Niedertemperaturtrocknung // Zuckerindustrie. – 1983. – V. 108. – N. 11. – S. 1025 – 1033.