

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
МНОГОКОРПУСНЫХ ВЫПАРНЫХ
УСТАНОВОК С РАЗВИТЫМ ПАРООТБОРОМ**

АВТОМАТИЗАЦИЯ многокорпусных выпарных установок (МВУ) с промежуточным отбором вторичных паров по-прежнему не теряет своей актуальности, несмотря на большое количество разработанных и опубликованных в отечественной и зарубежной литературе схем.

Затруднения, возникающие при построении систем автоматического регулирования (САР) МВУ, обусловлены тем, что выпарная установка наряду с технологической функцией по сгущению сока является источником пара для различных технологических объектов.

Таким образом, САР МВУ должна обеспечить не только получение заданной концентрации конечного продукта, но и стабилизацию параметров вторичных паров при минимально возможном расходе греющего пара.

Необходимым условием выполнения этих задач является равенство между фактически испаряемым количеством воды $W_{\text{факт}}$ и количеством воды, которое необходимо выпарить для получения заданной плотности сиропа $W_{\text{зад}}$, т. е.

$$S_0 \left(1 - \frac{b_0}{B}\right) = \sum_1^n iE_i, \quad (1)$$

где S_0 , b_0 — количество и концентрация сока, поступающего на выпарку;

B — концентрация сиропа на выходе установки;

E_i — паротбор в i -корпусе.

Баланс (1) в практических условиях нарушается за счет изменения сокового потока, колебания паротборов, изменения параметров греющего пара, а также коэффициента теплопередачи в

связи с накипеобразованием и колебанием уровня. Характер этих возмущений такой, что в производственных условиях выпарная установка постоянно работает в нестационарном режиме и поддерживать баланс (1) для нерегулируемой выпарной установки практически невозможно.

В большинстве опубликованных схем автоматизации [1, 2, 6, 7, 9] работой МВУ с промежуточным пароотбором управляют изменением суммарного температурного напора $\Sigma \Delta t$, регулируя потенциал греющего пара и абсолютное давление в надсоковом пространстве последнего корпуса.

Реализуемость таких схем автоматизации затруднена тем, что для достижения двух различных задач — получения заданной концентрации конечного продукта и стабилизации параметров вторичных паров используется только один канал регулирующего воздействия — изменение $\Sigma \Delta t$.

Известно, что суммарный температурный напор

$$\sum_1^n \Delta t = \frac{r \sum_1^n W_i}{\sum_1^n K_i F_i},$$

где r — теплота парообразования;

W_i — количество воды, испаряемой в i -корпусе;

K_i — коэффициент теплопередачи в i -корпусе;

F_i — поверхность теплообмена i -корпуса.

Однако количество выпаренной воды $\sum_1^n W_i$ должно быть таким, чтобы концентрация продукта на выходе установки была равна заданной, т. е.

$$\sum_1^n W_i = W_{\text{зад}} = S_0 \left(1 - \frac{b_0}{B}\right).$$

Таким образом,

$$\sum_1^n \Delta t = \frac{r S_0 \left(1 - \frac{b_0}{B}\right)}{\sum_1^n K_i F_i}. \quad (2)$$

Из соотношения (2) следует, что регулирующее воздействие изменением $\Sigma \Delta t$ может компенсировать только возмущения, связанные

ием коэффициента теплопередачи (например, в результате образования), величины и концентрации начального потока. Если равенство (1) нарушается за счет изменения Δt , т. е. потребность в соковых парах перестает соответствовать заданию выпарной установки по количеству выпариваемого пара, то для восстановления равенства (1) изменением $\Sigma \Delta t$ невозможно. В этом случае необходимо дополнительное регулирующее воздействие компенсации изменения давления соковых паров, произведенное за счет изменения паротборов. В качестве такого регулятора воздействия в ряде схем [3, 8] используется добавка пара в надсоковое пространство корпуса, в котором происходит процесс выпаривания пара. Добавка ретурного пара производится регулятором давления соответствующего корпуса.

Использование данного способа ограничено необходимостью поддержания «голодного» режима в отборе соковых паров, при котором потребность внешней тепловой аппаратуры в греющем паре не превышает количество образующихся вторичных паров в корпусах выпарки.

В «голодном» режиме фактически можно рассматривать процесс перевода потребителей соковых паров I и II корпусов ретурным паром. Для сохранения производительности по количеству выпариваемой воды и получения заданной концентрации сиропа необходимо одновременно увеличить количество вторичных паров с последующих корпусов (III, IV). Связанный с переводом ряда потребителей на обогрев соковыми парами процесс перевода ряда корпусов ограничен их низким потенциалом.

Использование термокомпрессора, работающего в постоянном режиме для создания «голодного» режима [3] в таких схемах автоматического управления нецелесообразно, так как одновременно с инжекцией соковых паров в тот же корпус будет добавляться пар.

Следует отметить, что регуляторы давления соковых паров даже при создании «голодного» режима работают с существенными потерями, связанными с накипеобразованием на поверхностях МВУ.

В стабилизированных параметрах соковых паров уменьшаются коэффициенты теплоотдачи в связи с накипеобразованием, что приводит к увеличению суммарного температурного напора $\Sigma \Delta t$. Происходит расширение температурных напоров по корпусам, которое компенсирует уменьшение коэффициента теплоотдачи, снижая производительности установки. Стабилизация

ления в условиях накипеобразования препятствует расширению температурных напоров по корпусам, что приводит к снижению производительности выпарной установки и концентрации сиропа на выходе, а также к увеличению расхода ретурного пара. Перенесение возмущений по накипеобразованию на I корпус [3] имеет ограниченные возможности, так как в этом случае необходимо увеличение поверхности нагрева I корпуса в 1,5—2 раза. При этом даже в случае увеличения поверхности нагрева I корпус длительное время будет работать не в оптимальном режиме, так как он должен располагать значительным резервом производительности для компенсации снижения испарения последующих корпусов.

Исходя из этих положений, в основу системы автоматического регулирования, разработанной научно-исследовательской лабораторией КТИПП [4], положен такой способ управления, при котором нарушение равенства (1) компенсируется либо добавкой ретурного пара, когда $W_{зад} < W_{факт}$, либо дополнительным паротбором на «независимый» потребитель, когда $W_{зад} > W_{факт}$. В качестве «независимого» потребителя сокового пара в условиях сахарного завода наиболее целесообразным является применение пароструйного компрессора, работающего при переменном режиме в расчетных пределах. При таком способе управления необходимость в создании «голодного» режима отпадает.

Для устранения недостатков, связанных с работой регулятора давления соковых паров в условиях накипеобразования, данная система содержит корректор накипеобразования, позволяющий непосредственно определять степень загорания корпусов выпарки и автоматически изменять задание регуляторам давления соковых паров.

Структурная схема данной системы для 4-корпусной выпарной установки с концентратом представлена на рисунке. Система включает в себя следующие узлы:

регулирования производительности установки и плотности сиропа на выходе (вычислительное устройство 1 и корректор плотности 9);

стабилизации давления соковых паров (регуляторы давления 2, 3, 5, 6, 7 и корректор накипеобразования 4);

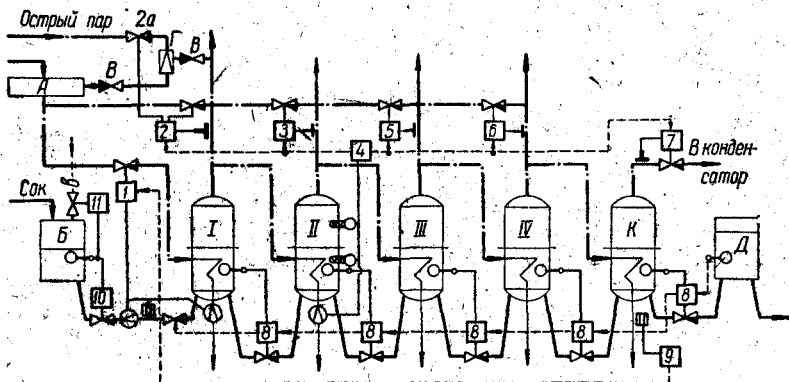
регулирования сокового потока (регуляторы уровня 8, регулятор подачи сока 10 и регулятор подачи воды 11).

Для поддержания баланса (1) и получения заданной концентрации на выходе производительность I корпуса меняется в зависимости от колебания количества и плотности начального сокового

Производительность I корпуса изменяет вычислительное устройство I и регулятор давления 2 соковых паров I корпуса.

Вычислительное устройство I определяет расход пара на выпарную установку из соотношения

$$D_I \approx W_I = W_{\text{зад}} - \sum_2^n W_i = S_0 \left(1 - \frac{b_0}{B} \right) - \sum_2^n W_i. \quad (3)$$



Структурная схема системы автоматического регулирования 4-корпусной выпарной установки с концентратом:

I, II, III, IV — корпуса выпарки; K — концентратор; A — коллектор греющего пара; B — сборник сока перед выпаркой; B — обратный клапан; Γ — термокомпрессор; D — сборник сиропа после выпарки.

С этой целью в устройство I помимо импульсов по количеству и концентрации начального сокового потока вводится импульс по количеству конденсата, образующегося в греющей камере I корпуса, для определения сравнением необходимого изменения в подаче пара на I корпус. Производительность I корпуса с некоторым приближением определяется по количеству образующегося конденсата.

Производительность I корпуса приводится в соответствие с расходом пара на этот корпус двухканальным регулятором 2 давлений соковых паров этого корпуса. В случае избытка соковых паров, когда $W_{\text{зад}} > W_{\text{факт}}$, регулятор 2 повышает производительность компрессора Γ , инжектирующего соковый пар в коллектор греющего пара A . Производительность компрессора повышается увеличением коэффициента инжекции за счет уменьшения дроссе-

лирования острого пара (клапан 2а). При нормальной работе, когда $W_{\text{зад}} = W_{\text{факт}}$, компрессор работает при минимальной расчетной производительности, способствуя созданию на I корпусе более развитого паротбора. Наибольшая экономичность пароструйного компрессора достигается при максимальном коэффициенте инжекции. Переменный режим работы компрессора (при переменном коэффициенте инжекции) не может снизить экономичности работы выпарной установки и тепловой схемы завода в целом, так как сжатый пар после компрессора направляется в коллектор греющего пара А, что сокращает количество редуцированного пара, поступающего для технологических целей от РОУ. В случае недостатка соковых паров, когда $W_{\text{зад}} < W_{\text{факт}}$, регулятор производит добавку ретурного пара в надсоковое пространство I корпуса.

Чтобы устранить некоторые отклонения в концентрации сиропа от задания в результате погрешности регулирующих приборов или принятых допущений при определении количества выпариваемой воды по количеству образующегося конденсата, в данной системе предусматривается введение в устройство I коррекции по плотности.

Стабилизация параметров соковых паров в заданных пределах осуществляется регуляторами давления 2, 3, 5, 6, 7. Регулирующее воздействие регуляторов 3, 5, 6 связано с добавкой ретурного пара по линии «каскадной» подпитки. Регулятор 7 стабилизирует разрежение в надсоковом пространстве концентратора, изменяя количество паров самоиспарения, отводящихся на конденсатор.

Корректор накипеобразования 4 [5] определяет приращение полезной разности температур Δt_n , необходимое для компенсации уменьшения коэффициента теплопередачи и поддержания заданной производительности корпусов установки. С этой целью в процессе накипеобразования корректор 4 изменяет задание регуляторам давления соковых паров, расширяя температурные напоры соответствующих корпусов.

В предлагаемой системе автоматического регулирования корректор накипеобразования измеряет Δt_n II корпуса, а затем умножением на постоянный коэффициент λ_d , зависящий от соотношения интенсивности испарения и плотности сока в данном корпусе и в корпусе, для которого измеряется Δt_n , определяет Δt_n для III, IV корпусов и концентратора. Осуществляемое с помощью корректора 4 распределение по корпусам установки суммарного температурного напора $\Sigma \Delta t$, расширяющегося за счет изменения давления пара, греющего I корпус, и разрежения

в концентраторе, производится с учетом того, что в процессе такого изменения температура в надсоковом пространстве одного из промежуточных корпусов, в данном случае второго, должна оставаться постоянной.

При этом с увеличением давления пара, греющего I корпус, компенсируется накипеобразование I и II корпусов, а с увеличением разрежения в концентраторе — накипеобразование III, IV корпусов и концентратора. Накипеобразование I корпуса компенсируется непосредственно регулирующим устройством 1, так как в последнее введен импульс по количеству конденсата образующегося в греющей камере I корпуса. Поэтому уменьшение производительности I корпуса в результате снижения коэффициента теплопередачи будет компенсироваться увеличением подачи пара на I корпус. Снижение коэффициента теплопередачи на II корпусе компенсируется корректором 4, увеличивающим задание регулятору 3 на величину Δt_n II корпуса $(\Delta t_n)_{II}$. Компенсация снижения коэффициентов накипеобразования на III, IV корпусах и концентраторе также производится корректором 4, уменьшающим задание регулятору 5 на величину $(\Delta t_n)_{III}$; регулятору 6 — на величину $(\Delta t_n)_{III} + (\Delta t_n)_{IV}$; регулятору 7 — на величину $(\Delta t_n)_{III} + (\Delta t_n)_{IV} + (\Delta t_n)_K$.

Действие корректора накипеобразования приводит к тому, что производительность II, III, IV корпусов и концентратора в процессе работы МВУ остается постоянной, так как уменьшение коэффициентов теплопередачи в корпусах по мере накипеобразования компенсируется соответствующим увеличением температурного напора в каждом корпусе. Это значительно упрощает аппаратурное решение схемы, так как в данном случае количество испаряемой воды в каждом корпусе не измеряется.

Соковый поток в пределах выпарной установки регулируется с помощью регулятора 8 и 10. Регулятор 10 изменяет количество поступающего на установку сока по уровню в сборнике Б. Регулирующий орган регулятора 10 настраивается таким образом, чтобы его минимальная пропускная способность соответствовала минимальной заданной производительности выпарной установки $(W_{зад})_{\min}$, а максимальная пропускная способность — максимальной заданной производительности $(W_{зад})_{\max}$. В этом случае при отклонении сокового потока в допустимых пределах уровень в сборнике Б будет постоянным. Регуляторы 8 стабилизируют уровни по корпусам, воздействуя на регулирующие органы, установленные на стводе сока из корпуса. При этом для предотвращения переполнения корпусов при уменьшении выхода сиропа предусмотре-

на блокировка, прекращающая подачу сока в данный корпус воздействием на клапан регулятора уровня предыдущего корпуса.

Предлагаемая система автоматического регулирования предусматривает аварийные блокировочные связи с предыдущими по технологическому потоку установками, срабатывающие при увеличении уровня в сборнике *Б* выше допустимых пределов. Сиропный вентиль на выходе выпарной установки блокируется с последующими по технологическому потоку емкостями, например сборником *Д*. При недостаточной подаче сока и снижении уровня в сборнике *Б* ниже допустимого предела предусмотрена подача воды в этот сборник регулятором *11*.

Выводы

1. Схема предусматривает автоматическое управление работой МВУ без создания в снабжении технологических потребителей «голодного» режима, имеющего ограниченные возможности.

2. Баланс между фактическим и заданным количеством выпариваемой воды поддерживается двухканальным регулятором давления, производящим добавку ретурного пара при $W_{\text{зад}} < W_{\text{факт}}$ и отбор соковых паров на пароструйный компрессор при $W_{\text{зад}} > W_{\text{факт}}$.

3. Срок устойчивой работы выпарной установки при стабилизации давления по корпусам увеличивается расширением температурного напора автоматическим введением коррекции на степень накипеобразования регуляторам давления.

4. Уровень сока регулируется на стоке из корпуса, что позволяет согласовать производительность выпарной установки с производительностью завода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амлинский Л. З. и др., Опыт автоматизации сахарных заводов Украины, ЦИНТИПищепром, 1961.

2. Еременко Б. А. и др., Автоматизация выпарной установки, «Сахарная промышленность», 1961, № 11, стр. 39.

3. Козак А. М., Автоматическое управление выпарными станциями Сб. ЦИНТИПищепром, «Пищевая промышленность (сахарная и крахмало-паточная)», 1963, № 4, стр. 5.

4. Попов В. Д., Трегуб В. Г., Уткина К. А., Система автоматического регулирования многокорпусных установок с развитым пароотбором, Авторское свидетельство № 174137, 1964.

5. Попов В. Д., Трегуб В. Г., Уткина К. А., Компенсация влияния накипеобразования при автоматизации многокорпусных выпарных установок, «Сахарная промышленность», 1965, № 10, стр. 40.