
ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

46

4

1983

Оптимальное управление непрерывным главным брожением пива в цилиндро-конических аппаратах

Х. С. МАНЧЕВ, А. П. ЛАДАНЮК канд. техн. наук, В. А. ДОМАРЕЦКИЙ д-р техн. наук,
Киев. технол. ин-т пищ. пром-сти

В последние годы широкое распространение получил ускоренный способ производства пива в цилиндро-конических аппаратах (ЦКА), устанавливаемых вне производственного помещения. Периодический способ производства пива в ЦКА сокращает технологический цикл, улучшает условия труда, сокращает капитальные затраты, повышает производительность труда, характеризуется более эффективным использованием площадей предприятия.

Однако конструктивные возможности ЦКА используются не полностью. Авторами теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что применение непрерывного метода главного брожения пива в этих аппаратах дает возможность сократить цикл производства Жигулевского пива еще на 2—3 сут при постоянстве его качественных показателей. Для этого к дрожжам на стадии активного роста необходимо добавить пивное сусло в таком количестве, чтобы до конца главного брожения (до заполнения танка) поддерживалась оптимальная степень брожения.

Зависимость времени технологического цикла от поддерживаемой в период главного брожения разности между экстрактом сусла и видимым экстрактом пива, пропорциональной видимой степени брожения, показана на рис. 1. Эта зависимость получена экспериментально на лабораторной установке при соблюдении технологического режима (температура, давление, раса и норма введения дрожжей), характерного для работы ЦКА в промышленных условиях. Как видно из рис. 1, существует оптимальное значение $S_{\text{опт}} = 4,8\%$, при котором время технологического цикла ($t_{\text{ц}}$) минимально. Это дает возможность получить максимальную прибыль (Π), которая

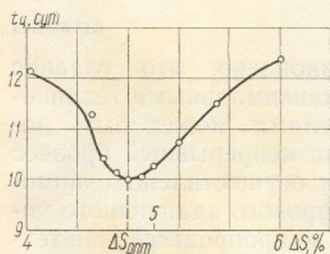


Рис. 1. Зависимость времени технологического цикла ($t_{\text{ц}}$) от разности между экстрактом сусла и видимым экстрактом пива (ΔS).

для бродильного отделения, состоящего из группы ЦКА, определяется по формуле

$$\Pi = \frac{C - S}{t_{\text{ц}}}, \quad (1)$$

где C — цена единицы объема пива, руб./дал; S — себестоимость единицы объема пива, руб./дал; $t_{\text{ц}}$ — время производства единицы объема пива, ч/дал.

Если в бродильном отделении работает n ЦКА и ни один из них не простаивает, тогда

$$t_{\text{п}} = \frac{t_{\text{ц}}}{nV_{\text{ц}}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{ц}}$ — объем одного ЦКА, дал; n — количество ЦКА.

Выражение (1) с учетом (2) приобретает вид

$$\Pi = \frac{(C - S)nV_{\text{ц}}}{t_{\text{ц}}}. \quad (3)$$

Таким образом, повышение эффективности работы бродильного отделения связано с необходимостью уменьшения времени технологического цикла. Это позволит увеличить производительность всего завода, так как бродильное отделение часто бывает «узким местом».

Выражение (3) дает возможность сформулировать технологические требования к системе автоматического управления, главное из которых сводится к необходимости поддержания с максимальной точностью разности $\Delta S_{\text{опт}}$. Тогда в качестве критерия оптимальности (J) можно принять минимум квадратичной интегральной ошибки

$$J = \int_0^{t_r} [\Delta S_{\text{опт}} - \Delta S(t)]^2 dt \rightarrow \min, \quad (4)$$

где t_r — время непрерывного главного брожения, ч.

При разработке системы автоматического управления в качестве управляющего воздействия можно использовать скорость притока сусла (F), а в качестве параметра, характеризующего состояние объекта, плотность бродящего пива (ρ). Основными возмущающими воздействиями процесса являются максимальная удельная скорость роста дрожжей (μ_{max}), зависящая от температуры и состава сусла, и его экстрактное содержание (S_c). Влияние первого возмущения может быть уменьшено или сведено к нулю в рамках обычной системы автоматического регулирования. Величина S_c является практически неконтролируемой, и ее изменение приводит к дрейфу характеристики (см. рис. 1). Поэтому требуемая

точность управления и минимизация критерия J могут быть обеспечены только адаптивной системой.

Характер изменения экстракта сусла (S_c) во времени известен и определяется периодичностью процесса варки сусла. Задача устройства адаптации заключается в вычислении текущего значения поддерживаемой плотности $\rho_{зад}(t)$, которая обеспечивает постоянство косвенно задаваемой системе регулирования степени брожения $\Delta S_{зад}(t) = \Delta S_{опт}$. При этом

$$\rho_{зад}(t) = \rho'' + \frac{V'}{V(t)} (\rho'' - \rho'); \quad \rho'' = \rho_c'' - \Delta \rho_{опт}, \quad (5)$$

где ρ_c'' — текущее значение плотности сусла; V' , ρ' — текущие значения объема и плотности пива; $\Delta \rho_{опт}$ — оптимальная плотность пива, связанная с оптимальной степенью брожения; ρ'' — оптимальная плотность «нового» пива, до которой должно сбродить сусло с плотностью ρ_c'' .

Установлено, что достижение требуемой точности обеспечивается при вычислении величины $\rho_{зад}(t)$ с дискретностью 20 мин. Система автоматического управления непрерывным процессом главного брожения может быть реализована в классе каскадных систем — с двумя регуляторами, один из которых вырабатывает задание $\rho_{зад}(t)$, а другой в соответствии с этим заданием непосредственно изменяет величину F . Однако большего внимания заслуживает система прямого цифрового адаптивного управления, реализованная на микропроцессорной технике. Структура такой системы приведена на рис. 2. Значения

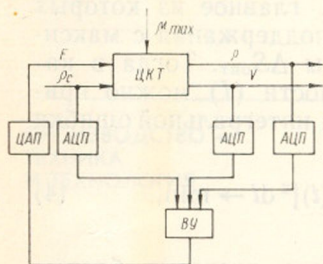


Рис. 2. Структура системы прямого цифрового управления.

величин ρ , V и ρ_c вводятся в вычислительное устройство (ВУ) через аналогово-цифровые преобразователи (АЦП). Вычислительное устройство, содержащее алгоритм адаптации, изменяет величину F , воздействуя на исполнительный механизм через цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Алгоритм оптимального цифрового управления непрерывным главным брожением пива в ЦКА приведен на рис. 3. Установлено, что для достижения необходимой точности регулирования

дискретность вычисления для подпрограмм составляет: «Плотность» — 2 мин, «Разбавление» — 10 с, «Адаптация» — 20 мин.

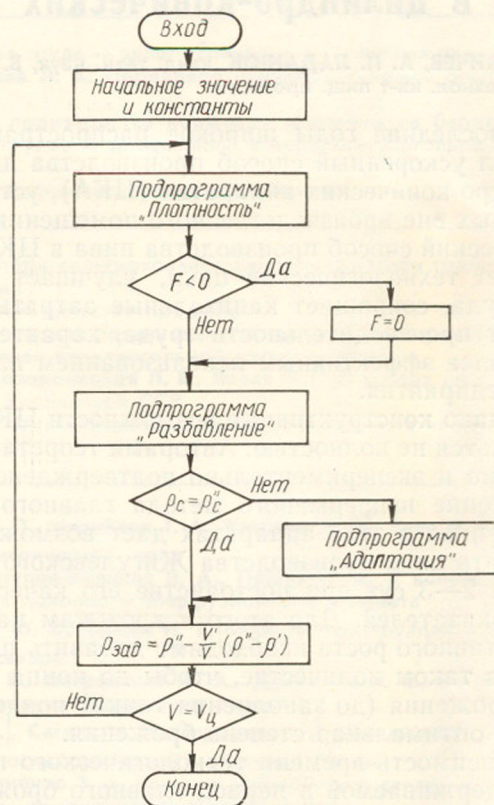


Рис. 3. Алгоритм оптимального цифрового управления непрерывным главным брожением пива в ЦКА.

Подпрограмма «Плотность» определяет требуемое значение $\rho_{зад}(t)$, подпрограмма «Разбавление» реализует требуемый закон изменения притока сусла F , выражающийся в экспоненциальном его изменении со степенью равной $D_{зад}$ (D — скорость разбавления). Подпрограмма «Адаптация» обеспечивает постоянство $\Delta S_{зад}(t) = \Delta S_{опт}$.

ВЫВОДЫ

Исследованиями установлено, что главное брожение пива в ЦКА с максимальными технико-экономическими показателями может быть достигнуто переводом его на непрерывный процесс в оптимальном режиме и осуществлено с помощью системы прямого цифрового адаптивного управления на базе средств микропроцессорной техники. Это позволяет сократить цикл производства Жигулевского пива на 2—3 сут.