

УДК 658.52.011.56:628.33:63.12

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В ДРОЖЖЕВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Канд. техн. наук Н.К. Калинин

Исследована система автоматического регулирования очистки сточных вод дрожжевого производства с целью определения показателей качества регулирования и выбора регулятора для обеспечения оптимального илового режима комплекса «аэротенк-отстойник».

Источником загрязнения стоков в дрожжевом производстве является бражка. Биологический окислительный коэффициент БПК₅ дрожжевой бражки варьирует в зависимости от режима выращивания дрожжей от 4000 до 17000 м² Q₂/дм³.

Биологическая очистка стоков дрожжевого производства предусматривает использование аэротенков, очистка в них производится с помощью биологически активного ила с аэрацией воздухом иловой смеси. В системе автоматического регулирования илового режима комплекса «аэротенк-отстойник» необходимо, чтобы расход возвратного ила был равен расходу иловой смеси, поступающей в отстойник. В отстойнике устанавливается стабильный уровень ила, а его вынос с водой минимален. Излишек ила, образовавшийся за счет его прироста, удаляется из отстойника. Разработанная система регулирования обеспечивает заданный уровень ила в отстойнике путем регулирования выгружаемого ила.

Структурная схема системы автоматического регулирования процесса аэробно-биологической очистки стоков в дрожжевом производстве представлена на рис.1. Структурная схема состоит из трех контуров регулирования:

- контур регулирования по расходу окисленного стока;
- контур регулирования по уровню стока в аэротенке;
- контур регулирования по расходу возвратного ила.

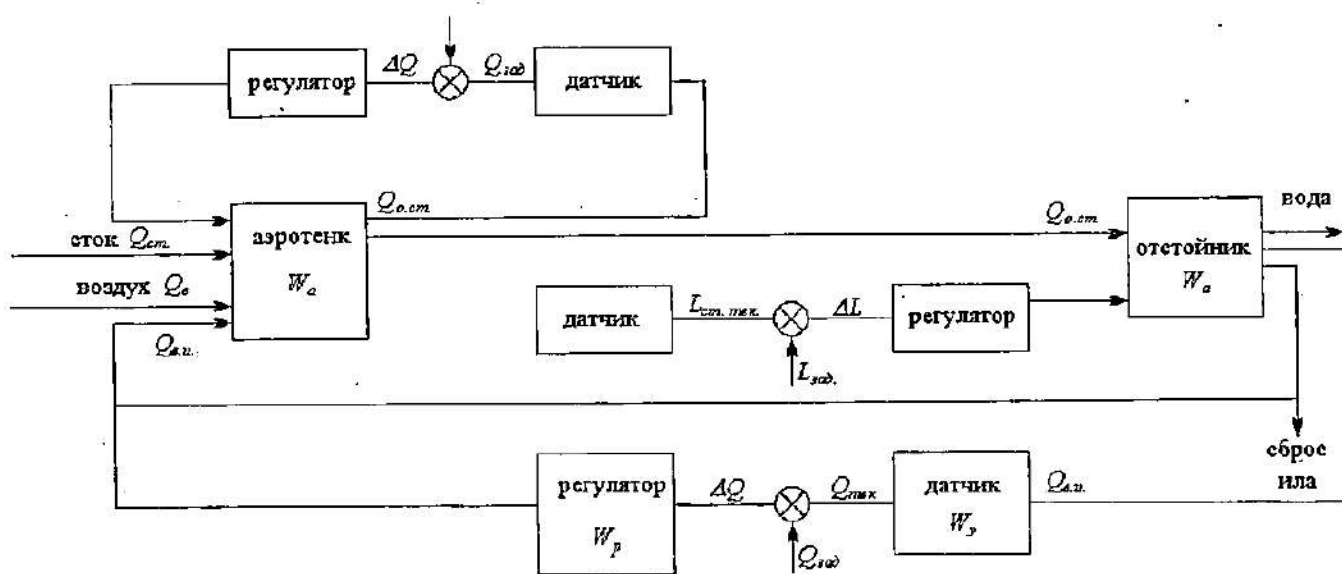


Рис.1 Структурная схема системы автоматического регулирования процесса очистки сточных вод в дрожжевом производстве

В аэротенк поступают сточные воды, через аэратор подается воздух, необходимый для аэробного окисления стока. Продолжительность окисления стоков 24 ч, удельный расход воздуха на аэрацию 40 м^3 на один м^3 сточных вод. Из аэротенка окисленная жидкость поступает в отстойник. Сигнал от датчика, контролирующего уровень наполнения аэротенка возвратным илом $L_{ст.}$ поступает на регулятор, где происходит сравнение заданного $L_{зад.}$ и текущего $L_{тек.}$ значений уровня. Регулятор воздействует на регулирующий орган, который изменяет расход возвратного ила $Q_{в.и.}$, поступающего в аэротенк.

Сигнал от датчика, фиксирующего уровень активного ила в отстойнике, поступает на регулятор и, воздействуя на регулирующий орган, изменяет расход возвратного ила $Q_{в.и.}$

Расход окисленного стока $Q_{о.ст.}$ контролируется датчиком, регулятор воздействуя на регулирующий орган, управляет расходом окисленного стока.

Исследование системы автоматического регулирования процесса очистки сточных вод проведем по контуру «аэротенк-отстойник-датчик-регулятор».

Аэротенк. Составим дифференциальное уравнение объекта-аэротенка. Рассмотрим идеализированный процесс (Рис.2). В аэротенк поступает возвратный ил в количестве $Q_{в.и.}$ и выходит окисленная жидкость в количестве $Q_{о.ст.}$ ($\text{см}^3/\text{с}$).

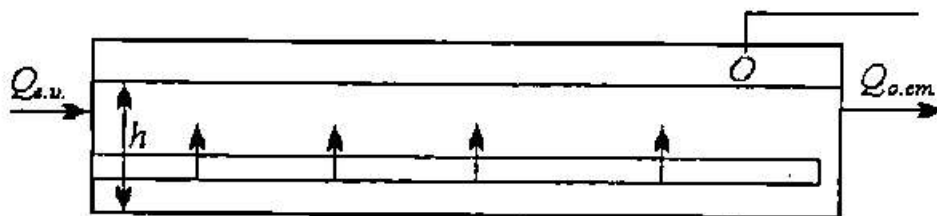


Рис.2 Идеализированный процесс очистки сточных вод

Введем обозначения:

Δh - отклонение уровня от заданного значения; F - площадь поперечного сечения аэротенка, см^2 .

Равновесие объекта характеризуется равенством притока возвратного ила и расходом окисленной жидкости:

$$Q_{в.и.} - Q_{о.ст.} = 0.$$

При изменении количества поступающего или расходуемого вещества уровень в аэротенке будет изменяться.

Если принять, что:

$$Q_1 = Q_{вх} + \Delta Q_1;$$

$$Q_2 = Q_{сст} + \Delta Q_2,$$

то получим:

$$Q_1 - Q_2 = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 = F \frac{d(\Delta h)}{dt}. \quad (1)$$

Вывод окисленной жидкости из азротенка зависит от высоты уровня вещества:

$$Q_2 = f(h)$$

Если Δh мало, то можно считать:

$$Q_2 = a\Delta h,$$

отсюда:

$$a = \Delta Q_2 / \Delta h,$$

где a – постоянный коэффициент.

Учитывая это, уравнение (1) можно записать:

$$\Delta Q_1 = F \frac{d(\Delta h)}{dt} + \Delta Q_2;$$

$$\Delta Q_1 = F \frac{d(\Delta h)}{dt} + a\Delta h$$

или

$$\frac{1}{2} \Delta Q_1 = \frac{F}{a} \frac{d(\Delta h)}{dt} + \Delta h. \quad (2)$$

Уравнение (2) является дифференциальным уравнением, связывающим входную величину объекта Δh во времени, т.е. уравнением динамики.

Запишем уравнение (2) в приращениях от состояния равновесия:

$$\Delta Q_1 = Q_0 X_{вх}, \quad \Delta h = h_0 X_{вых},$$

тогда

$$\frac{1}{a} Q_0 X_{вх} = \frac{F}{a} \frac{h_0 d(X_{вых})}{dt} + h_0 X_{вых}.$$

Разделим обе части уравнения на h_0 , получим:

$$\frac{Q_0}{a \cdot h_0} X_{вх} = \frac{F}{a} \frac{d(X_{вых})}{dt} + X_{вых}. \quad (3)$$

Обозначим $Q_0 / (a \cdot h_0) = K$ - коэффициент усиления, $F / a = T$ - постоянная времени азротенка, с получим:

$$KX_{\text{вх}} = TX'_{\text{вых}} + X_{\text{вых}}. \quad (4)$$

Запишем уравнение (4) в операторной форме:

$$TpX_{\text{вых}}(p) + X_{\text{вых}}(p) = KX_{\text{вх}}(p);$$

$$X_{\text{вх}}(p)(Tp + 1) = KX_{\text{вх}}(p),$$

передаточная функция аэротенка имеет вид:

$$W(p) = K / (Tp + 1).$$

Определим коэффициент усиления K_a и постоянную времени T_a аэротенка.

Для биологической очистки сточных вод применяются установки заводского изготовления типа КУ.

Техническая характеристика установки типа КУ-200 приведена ниже:

Производительность	200 м ³ /сут
Максимальный расход сточных вод	20 м ³ /ч
Высота	3 м
Объем	100 м ³
Масса	22 т
Мощность электрооборудования	26 кВт

Определяем:

$$K_a = Q_0 / (a \cdot h_0),$$

где: Q_0 – расход вещества ($Q_0 = 20$ м³/ч); h_0 – постоянно поддерживаемый уровень в аэротенке ($h_0 = 2,5$ м).

$$a = \frac{\Delta Q_2}{\Delta h} = \frac{2,5 \text{ м}^3 / \text{ч}}{0,25} = 10 \text{ м}^2 / \text{ч},$$

$$K_a = \frac{20}{10 \cdot 2,5} = 4.$$

Определяем:

$$T_a = F_a / a,$$

где: F_a – площадь поперечного сечения аэротенка, м².

$$F_a = \frac{V}{H} = \frac{100 \text{ м}^3}{3 \text{ м}} = 33,3 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$T_a = \frac{33,3}{10} = 3,3 \text{ (с)}.$$

Следовательно, передаточная функция аэротенка имеет вид:

$$W_a(p) = \frac{K_a}{T_a p + 1} = \frac{4}{3,3p + 1}$$

Отстойник. Передаточная функция отстойника имеет вид (расчет по аналогии с азротенком):

$$W_o(p) = \frac{K_o}{T_o p + 1}$$

Техническая характеристика отстойника в комплекте установки КУ-200:

Максимальный расход	20 м ³ /ч
Высота	3 м
Объем	30 м ³

Определим:

$$K_o = Q_o / (a \cdot h_o),$$

где h_o – высота отстойной зоны отстойника ($h_o=1,5$ м).

$$K_o = \frac{20}{10 \cdot 1,5} = 6,6 \approx 7.$$

Определяем:

$$T_o = F_o / a;$$

$$F_o = V / H = 30 / 3 = 10 \text{ (м}^3\text{)},$$

$$T_o = 10 / 10 = 1 \text{ (с)}.$$

Передаточная функция отстойника примет вид:

$$W_o(p) = \frac{K_o}{T_o p + 1} = \frac{7}{p + 1}$$

Датчик уровня может быть описан передаточной функцией:

$$W_y(p) = K_y,$$

где K_y – коэффициент усиления;

$$K_y = \Delta X_{\text{вых}} / X_{\text{вх}};$$

выходная величина – напряжение на датчике, $U_o = 24$ В; входная величина – уровень вещества в отстойнике, $h_o = 1,5$ м.

Для определения коэффициента усиления перейдем к безразмерным относительным параметрам:

$$X_{\text{вых}} = \Delta V_o / V_o = 5 / 24 = 0,208;$$

$$X_{\text{вх}} = \Delta h / h_o = 0,25 / 1,5 = 0,166;$$

передаточная функция датчика уровня
 $W_y(p) = 1,25$.

Тогда $K_y = 0,208 / 0,166 = 1,25$.

Регулятор прямого действия (П-регулятор) имеет передаточную функцию:

$$W_p(p) = K_p;$$

$$K_p = X_{\text{вых}} / X_{\text{вх}} = Q / h.$$

Относительные безразмерные выражения:

$$X_{\text{вых}} = \Delta Q_0 / Q_0 = 2,5 / 2,0 = 0,125;$$

$$X_{\text{вх}} = \Delta h / h_0 = 0,25 / 1,5 = 0,166;$$

$$K_p = 0,125 / 0,166 = 0,75.$$

Тогда передаточная функция примет вид:

$$W_p(p) = 0,75.$$

Следовательно система автоматического регулирования илового режима при очистке сточных вод дрожжевого производства по контуру «азротенк-отстойник-датчик-регулятор» состоит из последовательного включенных звеньев с передаточными функциями:

для азротенка $W_a(p) = \frac{K_a}{T_a p + 1} = \frac{4}{3,3p + 1};$

для отстойника $W_o(p) = \frac{K_o}{T_o p + 1} = \frac{7}{p + 1};$

для датчика уровня $W_y(p) = K_y = 1,25;$

для регулятора $W_p(p) = K_p = 0,75;$

Передаточная функция разомкнутой системы будет иметь вид:

$$\begin{aligned} W(p) &= W_a(p) \cdot W_o(p) \cdot W_y(p) \cdot W_p(p) = \\ &= \frac{K_a}{T_a p + 1} \cdot \frac{K_o}{T_o p + 1} \cdot K_y \cdot K_p = \frac{K}{(T_a p + 1)(T_o p + 1)} = \\ &= \frac{26,25}{(3,3p + 1)(p + 1)}. \end{aligned}$$

Передаточная функция системы с учетом запаздывания:

$$W(p) = \frac{26,25}{(3,3p + 1)(p + 1)} e^{-\tau p} = \frac{26,25}{(3,3p + 1)(p + 1)} e^{-0,7p},$$

где: τ - время запаздывания.

Для определения τ построим кривую разгона азротенка.

Запишем передаточную функцию азротенка:

$$W_a(p) = \frac{K_a}{T_a p + 1} = \frac{4}{3,3p + 1}.$$

Характеристическое уравнение $3,3p + 1 = 0$, имеет один корень

$$p = -1/3,3 = -0,3.$$

Свободная составляющая:

$$y(t)_{св} = Ae^{-0,3t}.$$

Вынужденная составляющая определяется правой частью дифференциального уравнения и выражается в виде постоянной величины:

$$y(t)_{вын} = K_a \cdot X(t) = 4 \cdot X(t),$$

общее решение дифференциального уравнения (4) является суммой свободной и вынужденной составляющих:

$$y(t) = y(t)_{св} + y(t)_{вын} = Ae^{-0,3t} + 4X(t).$$

Определим постоянную интегрирования A при $t = 0$ и $X(0) = 0$:

$$A = -4X(t).$$

В результате получим выражение:

$$y(t) = -4X(t)e^{-0,3t} + 4X(t) = 4X(t)(1 - e^{-0,3t}). \quad (5)$$

Уравнение (5) является аналитическим выражением для получения кривой разгона азротенка:

$$X(t) = Q(t) = 20 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0055 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$y(t) = 0,022(1 - e^{-0,3t}).$$

Задаваясь конкретными значениями времени $t = 0 \dots \infty$, с получены значения $y(t)$, по которым построена кривая разгона (рис.3).

По кривой разгона определены динамические параметры объекта:

Запаздывание	$\tau = 0,7 \text{ с}$
Постоянная времени	$T = 3,3 \text{ с}$
Коэффициент передачи	$R_{об} = 0,023 \text{ м}$
Время регулирования	$t_p = 12 \text{ с}$

По динамическим параметрам объекта производится выбор регулятора. Показатели качества регулирования характеризуются отношением запаздывания к постоянной времени:

$$\tau / T = 0,7 / 3,3 = 0,21.$$

Выбираем регулятор непрерывного действия.

К необходимым показателям качества регулирования относятся:

- максимальное динамическое отклонение X_1 : $X_1 = 0,008 \text{ м}^3/\text{с}$;
- допустимое остаточное отклонение δ , которое можно определить по отношению τ/T [2]: $\delta = \delta' \cdot R_{об} \cdot Y_n = 0,4 \cdot 0,022 \cdot 0,7 = 0,006 \text{ м}^3/\text{с}$,
где: $\delta' = 0,4$ для $\tau/T = 0,21$; Y_n - максимально возможное возмущение нагрузки (70%).

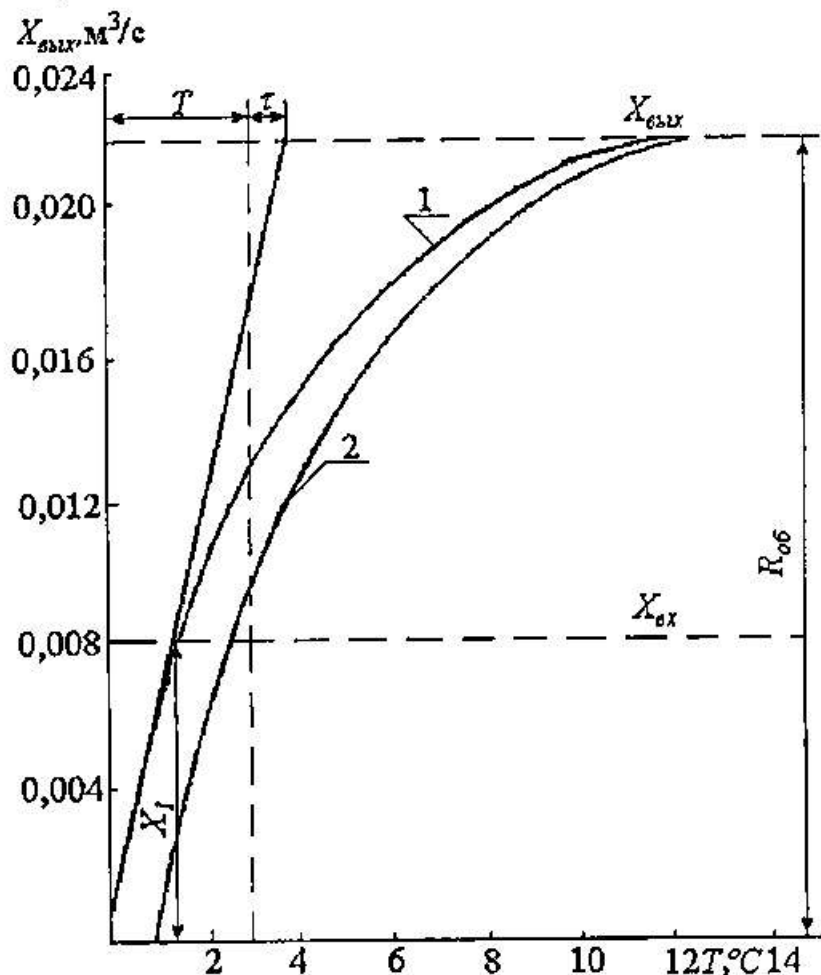


Рис. 3. Кривая разгона аэратора. 1 - без учета запаздывания; 2 - с учетом запаздывания

Таким образом, полученная величина остаточного отклонения меньше заданной ($0,008 \text{ м}^3/\text{с}$) и, следовательно, выбранный П-регулятор удовлетворяет всем показателям, определяющим заданное качество регулирования. Значение настроечного параметра регулятора $K_p = 0,05$, постоянная времени объекта $4,3 \text{ с}$.

Использование П-регулятора с расчетными настроечными параметрами в системе автоматического регулирования процесса очистки сточных вод при производстве дрожжей обеспечит поддержание оптимального илового режима в комплексе «аэротенк-отстойник».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генкин Л.С. Основы автоматического регулирования технологических процессов пищевых производств. – М., 1967.
2. Ронканен В.В. Проектирование автоматизации обогатительных фабрик. – М., 1966.

Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати

АШЫТҚЫ ӨНДІРІСІНДЕГІ АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗАРТУ ПРОЦЕСІН АВТОМАТТЫ РЕТТЕУ ЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ

Техн.ғылымдарының канд. Н.К. Калинин

Реттеу сапасының көрсеткіштерін анықтау және «аэротенк-тұндырғы» кешенінің оңтайлы тұнба режимін қамтамасыз ету үшін реттеушіні таңдау мақсатында ашытқы өндірісіндегі ағынды суларды тазарту процесін автоматты реттеу жүйесі зерттелген.