

Наведено математичний опис зміни питомої швидкості біологічного окиснення метану газоподібних викидів з каналізаційних мереж в біореакторі з шаром, що омивається

Ключові слова: математичний опис, питома швидкість, каналізаційні мережі, біореактор, окиснення

Приведено математическое описание изменения удельной скорости биологического окисления метана газообразных выбросов из канализационных сетей в биореакторе с омываемым слоем

Ключевые слова: математическое описание, удельная скорость, канализационные сети, биореактор, окисление

A mathematical description of the change of the specific rate of biological oxidation of methane gaseous emissions from sewerage networks in the bioreactor with a layer of watered is shown

Keywords: mathematical description, specific rate, sewerage networks, bio-reactor, oxidation

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА

В. А. Юрченко

Доктор технических наук, профессор
Кафедра экологии

Харьковский национальный автомобильный университет
ул. Петровского, 25, г. Харьков, 61002

А. Ю. Бахарева

Кандидат технических наук, старший преподаватель
Кафедра охраны труда и окружающей среды

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002

Статья посвящена примеру применения математической модели (модели Байотрит) к описанию изменения удельной скорости биологического окисления метана иммобилизованным на лавсановых ершах метилотрофным микробиоценозом в биореакторе с омываемым слоем.

В основе математического описания лежат экспериментальные данные по биологическому окислению метана, а также данные математической модели, которая описывает изменение концентрации метана в процессе его биологического окисления в биореакторе с омываемым слоем [1].

В уравнение модели Байотрит, описывающее динамику удельной скорости биохимического превращения субстрата, ввели дополнительные мультипликативные коэффициенты, учитывающие влияние на кинетику окисления метана концентрации O_2 в газовой среде и массообмена кислорода. Значения соответствующих констант вычислили по экспериментальным данным, приведенным в [2]. Ингибирующее влияние перечисленных факторов на процесс представили в виде, рекомендуемом для описания действия ингибиторов на кинетику биохимических процессов, которое описывается колоколообразной зависимостью [3, 4].

$$\rho_M = \frac{\rho_{maxM} S_M(t) X_M(t) b}{S_M(t) + K_{SM}} k_2 k_3, \quad (1)$$

где ρ_M - удельная скорость окисления метана, мг/гхч;

ρ_{maxM} - максимальная удельная скорость окисления метана, мг/гхч;

$S_M(t)$ - концентрация метана, г/дм³;

$X_M(t)$ - концентрация биомассы, г/дм³;

b - коэффициент пропорциональности, const, дм³/г;

K_{SM} - константа Михаэлиса, г/дм³ для метанооксиляющего биоценоза;

k_2 - коэффициент ингибирования процесса концентрацией кислорода.

$$k_2 = \frac{1}{1 + \frac{K_{SO}}{O_2} + \frac{O_{2M}}{K_{O_2M}}}, \quad (2)$$

K_{SO} - константа полунасыщения O_2 газовой среды, 13% (г/дм³);

K_{O_2M} - константа ингибирования окисления метана кислородом, 23%, (г/дм³);

O_{2M} - концентрация O_2 в газовой среде, (г/дм³);

k_3 - коэффициент ингибирования процесса массообменом кислорода

$$k_3 = \frac{1}{1 + \frac{M_n}{M} + \frac{M}{M_i}}, \quad (3)$$

где M_n – значение массообмена, при котором накопление биомассы равно 1/2 оптимальной, 330 мг/м³;

M – устанавливаемый массообмен, мг/м³;

M_i – массообмен, при котором накопление биомассы подавлено в 2 раза, 990 мг/м³.

Определение константы Михаэлиса выполняли методом линеаризации Уокера-Шмидта [5].

Тангенс угла наклона прямой, построенной в координатах вспомогательных переменных

$$\frac{P}{\ln \frac{S_{0M}}{S_{0M} - P}} \quad (\text{ось абсцисс}) \quad \frac{t}{\ln \frac{S_{0M}}{S_{0M} - P}} \quad \text{и} \quad (\text{ось ординат}),$$

равен $\frac{1}{V_{\max M}}$. Отрезок, отсекаемый на оси ординат,

равен $\frac{K_{SM}}{V_{\max M}}$. P – продукт, который получается в результате окисления $CH_4 - CO_2 + H_2O$. Концентрация

продуктов окисления метана составляет около 70% от его потребления. 30% потребленного метана идет на биосинтетические процессы.

Рассчитываем концентрацию продукта на основании экспериментальных значений концентрации CH_4 в процессе обработки (табл. 1).

Таблица 1

Прогнозный расчет концентрации продукта метаболизма метана, при окислении иммобилизованным биоценозом

Потребленный метан, г/дм ³	Концентрация продукта, г/дм ³
0,066	0,046
0,09	0,063
0,101	0,071
0,11	0,077

Расчетные значения вспомогательных координат представлены в табл. 2, а прямая, построенная во вспомогательных координатах, на рис. 1.

Как видно из данных рис. 1, $\tan \alpha = \frac{1}{V_{\max M}} = \frac{0,11}{12} = 0,009$

Отсюда $V_{\max M} = 111$ (мг/дм³×ч). Отрезок, отсекаемый построенной прямой на оси ординат, $K_{SM}/V_{\max M} = 0,11$; отсюда $K_{SM} = 111 \times 0,11 = 12$ (мг/дм³).

Таблица 2

Вспомогательные координаты для определения $V_{\max M}$ и K_{SM}

$\frac{t}{\ln \frac{S_{0M}}{S_{0M} - P}}$ (Y)	$\frac{P}{\ln \frac{S_{0M}}{S_{0M} - P}}$ (X)
1,07	85
0,98	74
0,97	69
1,03	64

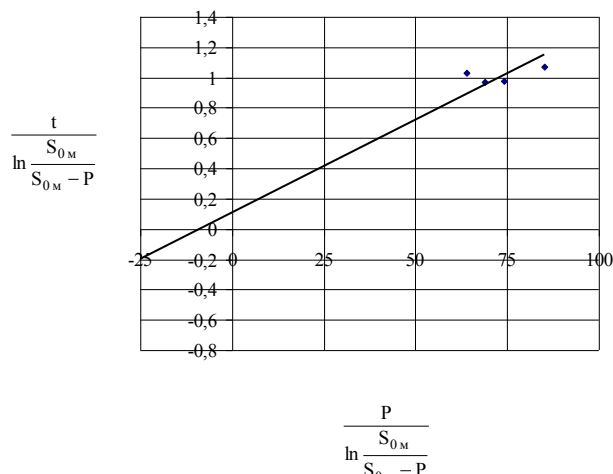


Рис. 1. Построение прямой в вспомогательных координатах для определения $V_{\max M}$ и K_{SM} окисления метана

Из экспериментальных данных

$$\rho_{\max M} = \frac{V_{\max M}}{X_{0M}} = \frac{116}{0,6} = 192 \quad (\text{мг/г} \times \text{ч}) \quad (0,19 \text{ г/г} \times \text{ч}).$$

$\mu_{\max M} = Y_{\max M} \times \rho_{\max M}$. Отсюда $\mu_{\max M} = 0,192 \times 0,7 = 0,13$ (ч⁻¹) (3,1 сут⁻¹).

Значение b , необходимое для произведения расчетов по формуле 1, вычисляли по экспериментальным данным:

$$b = \frac{\rho_M (S_M(t) + K_{SM})}{\rho_{\max M} S_M(t) + X_M(t)}$$

При $t_0 = 0$ $b = 1,82$; при $t_1 = 0,58$ ч $b = 1,55$; при $t_2 = 0,83$ ч $b = 1,36$; при $t_3 = 1,0$ ч $b = 0,73$; $\bar{b} = 1,37$.

Для расчета экспериментальных значений удельной скорости окисления метана необходимо установить концентрацию биомассы в динамике процесса. По уравнению (4), предлагаемому [2], концентрация метанооксиляющей биомассы в динамике процесса равна:

при $\mu_M = \text{const}$

$$X_M(t) = X_{0M} e^{\mu_M t} \quad (4)$$

при $\mu_M = a_3(t)$

$$X_M(t) = X_{0M} \left(S_{YM} - \frac{1}{Y_M} \right) e^{a_3 X_{0M} \left(S_{YM} + \frac{1}{Y_M} \right) t} \times \left[\frac{1}{Y_M} e^{a_3 X_{0M} \left(S_{YM} + \frac{1}{Y_M} \right) t} + S_{YM} \right]^{-1} \quad (5)$$

Расчетные значения концентрации метанооксиляющей биомассы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные значения концентрации биомассы в процессе окисления метана

Продолжительность обработки, ч	Концентрация биомассы, г/дм ³	
	по уравнению 4	по уравнению 5
0	0,6	0,60
0,58	0,64	0,630
0,83	0,65	0,634
1,0	0,67	0,647
1,25	0,69	0,650

В эксперименте концентрацию биомассы измеряли только в начале эксперимента и в конце эксперимента. Прирост не превысил 20 мг, т.е. находился в пределах ошибки измерений. Такой прирост ила согласуется с показателями, используемыми для расчета прироста активного ила в системах с иммобилизованной биомассой (биофильтрах) [6]: 0,4 г сухой биомассы/г БПК_п, при отсутствии взвешенных веществ.

Значения удельной скорости окисления метана метанотрофной биомассой рассчитанные по моделям уравнений 4 и 5, в сравнении с экспериментальными данными представлены на рис. 2 и 3.

Как видно, модель (1) адекватно описывает удельную скорость окисления метана в процессе его биологического окисления. Максимальное отклонение математической модели от экспериментальных данных составляет 29,6%, а среднее – 18% (рис. 2 с учетом использования формулы 4). Максимальное отклонение математической модели от экспериментальных данных в случае использования формулы 5 составляет 29%, а среднее – 16% (рис. 3).

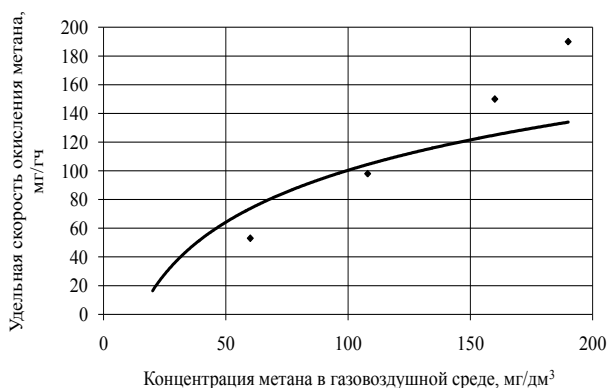


Рис. 2. Зависимость удельной скорости окисления метана от концентрации метана в газовой среде (точки – экспериментальные значения, кривая – модель уравнения 4)

Кинетические константы и коэффициенты биологического окисления CH₄, установленные экспериментально, рассчитанные по экспериментальным данным других авторов и приведенные в научно-технической литературе, представлены в табл. 4.



Рис. 3. Зависимость удельной скорости окисления метана от концентрации метана в газовой среде (модель уравнения 5)

Таблица 4

Стехиометрические, кинетические, физиологические константы и коэффициенты биологического окисления метана

Показатели	Размерность	Значение
Y _м	г/г	0,76
K _{с м}	мг/дм ³	12, экспериментальные данные
μ _{тах м}	сут ⁻¹	3,1, экспериментальные данные
ρ _{тах м}	мг/г×ч	192, экспериментальные данные
k _T		0,03
k ₃		1
k ₂		1

Литература

1. Бахарева А.Ю. Экологически безопасные методы очистки газообразных промышленных выбросов от формальдегида и метана: Дис... канд. техн. наук: 21.06.01 / Бахарева Анна Юрьевна. – Х., 2009. – 210 с.
2. Мякенький В.И. Микробиологическое окисление метана угольных шахт / Мякенький В.И., Курдиш И.К. – К: Наук. думка, 1991. – 148 с.
3. Вавилин В.А. Моделирование деструкции органического вещества сообществом микроорганизмов / Вавилин В.А., Васильев В.Б., Рытов С.В. – М.: Наука, 1993. – 202 с.
4. Варфоломеев С.Д. Биотехнология: кинетические основы микробиологических процессов / Варфоломеев С.Д., Каложный С.В. – Учебное пособие. – М.: Высш. школа, 1990. – 296 с.
5. Кузнецов С.И. Методы изучения водных микроорганизмов / Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. – М.: Наука, 1989. – 286 с.
6. Яковлев В.П. Биохимические процессы в очистке сточных вод / Яковлев В.П., Карюхина Т.А. – М.: СтроАйиздат, 1980. – 200 с.