

*Наведено математичний опис зміни концентрації біологічного окиснення метану газоподібних викидів з каналізаційних мереж в біореакторі з шаром, що омивається.*

*Ключові слова:* окиснення, метан, газоподібні викиди, концентрація.

*Приведено математическое описание изменения концентрации биологического окисления метана газообразных выбросов из канализационных сетей в биореакторе с омываемым слоем.*

*Ключевые слова:* окисление, метан, газообразные выбросы, концентрация.

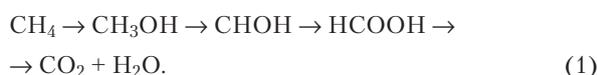
*Mathematical make an inventory of change biological oxidation concentration of gasiform throw outs methane from sewerage networks in bioreactor with washing layer has been studied.*

*Keywords:* oxidation, methane, gasiform throw outs, concentration.

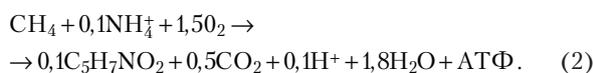
Статья посвящена примеру применения математической модели, разработанной и использованной для описания процессов, происходящих при микробиологическом окислении метана угольных шахт [1], к описанию изменения концентрации метана в процессе его окисления метилотрофным микробиоценозом, иммобилизованным на лавсановых ершах в биореакторе с омываемым слоем.

В основе математического описания лежат экспериментальные данные по биологическому окислению метана газообразных выбросов канализационных сетей в биореакторе с омываемым слоем [2].

Процесс окисления метана метилотрофными микроорганизмами можно представить в виде следующих стадий:



Результаты использования метана метилотрофными бактериями в конструктивном и энергетическом обмене для синтеза биомассы ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{NO}_2$ ) и извлечения энергии при полном окислении до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  можно описать с помощью следующего уравнения:



Для расчета концентрации метана в процессе микробиологического окисления (при  $\mu_m = \text{const}$ ) [1] предлагает следующую формулу:

$$S_m(t) = X_{0M} \left[ S_{yM} - \frac{1}{Y_M} (e^{\mu_m t} - 1) \right], \quad (3)$$

где  $S_m(t)$  — концентрация метана в определенный момент времени, г/дм<sup>3</sup>;  $X_{0M}$  — концентрация метанооксилюющей биомассы к началу рассматриваемого промежутка времени;  $X_{0M} = 0,6$  г/дм<sup>3</sup> (экспериментальные данные);  $\mu_m$  — удельная скорость роста метанооксилюющей биомассы, ч<sup>-1</sup>;

УДК 504.06+577.1

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА

А. Ю. Бахарева

Кандидат технических наук

Кафедра охраны труда и окружающей среды

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

$S_{yM}$  — удельная концентрация метана, оптимальная для роста микроорганизмов, определяется по формуле (4):

$$S_{yM} = \frac{S_{0M}(t)}{X_{0M}(t)}, \quad (4)$$

где  $S_{0M}(t)$  — концентрация метана в начальный момент времени, г/дм<sup>3</sup>;  $Y_M$  — экономический коэффициент потребления метана, const, мг/мг,  $Y_M = 0,63$  г беззольного вещества/г субстрата [1]. При зольности ила  $\approx 17\%$ ,  $Y_M = 0,76$  г сухого вещества ила/г  $\text{CH}_4$ .

$S_{yM}$  рассчитываем так как рекомендует [1]: по исходной (максимальной) концентрации метана  $S_{0M}$  в начале обработки и по соответствующей ей исходной концентрации биомассы  $X_0(t_1)$ :

$$S_{yM} = \frac{S_{0M}(t)}{X_{0M}(t)} = \frac{0,11}{0,6} = 0,183 \text{ (г/г)}.$$

В экспериментальных исследованиях концентрацию метана в газовой среде выражали в объемных процентах. Приведенные выше формулы оперируют концентрациями метана, выражаемыми в г/дм<sup>3</sup>. Для перевода объемных процентов использовали закон Авогадро, согласно которому масса 1 дм<sup>3</sup>  $m_{\text{CH}_4}$  равна:

$$m_{\text{CH}_4} = \frac{M_B \cdot V_{\text{CH}_4}}{22,4} \text{ (г)}, \quad (5)$$

где  $M_B$  — молекулярный вес  $\text{CH}_4$ , 16;  $V_{\text{CH}_4}$  — объем газа — 1 дм<sup>3</sup>; 22,4 — объем, занимаемый 1 г-молем  $\text{CH}_4$ , дм<sup>3</sup>.

Концентрация метана в газовой смеси (г/дм<sup>3</sup>) равна:

$$S_M = \frac{S_{M\%} \cdot m_{\text{CH}_4}}{100}, \quad (6)$$

где  $S_{M\%}$  — содержание  $\text{CH}_4$  в смеси, об. %.

Итоговая формула:

$$S_M = \frac{S_{M\%} \cdot M_B \cdot V}{100 \cdot 22,4} = \frac{S_{M\%} \cdot 0,714}{100} \text{ (г/дм}^3\text{)},$$

$$a S\% = \frac{S_M\% \cdot 100}{0,714} \quad (\text{об. } \%) \quad (7)$$

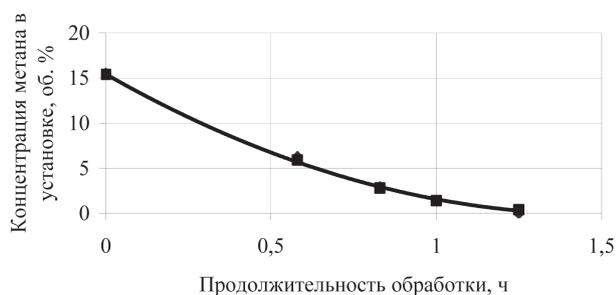
Концентрация метана, выраженная в г/дм<sup>3</sup> и об. %, в газовой смеси, которая подвергается биологической очистке, по данным экспериментальных исследований, представлена в табл. 1.

Таблица 1

Экспериментальные значения концентраций метана в газовой смеси, обрабатываемой биологическим методом

Концентрация метана в динамике обработки	Значения концентрации метана	
	об. %	г/дм <sup>3</sup>
S <sub>0</sub>	15,5	0,11
S <sub>1</sub>	6,25	0,044
S <sub>2</sub>	2,9	0,02
S <sub>3</sub>	1,4	0,009
S <sub>4</sub>	0	0

Динамика концентрации метана в процессе биотехнологической обработки, описываемая при помощи модели уравнения 3, представлена графически на рис. 1.



**Рис. 1.** Влияние продолжительности биологической обработки на концентрацию метана в газовой смеси (модель по уравнению 3): точки — экспериментальные значения, кривая — модель

Как видно, использованная модель достаточно адекватно описывает полученные экспериментальные данные: среднее отклонение математической модели от экспериментальных данных составляет 13 %.

Концентрацию метана можно также определить из уравнения [1] при  $\mu = a_3 S(t)$ :

$$S_M(t) = S_{0M} \left( S_{yM} - \frac{1}{Y_M} \right) \cdot \frac{1}{\left[ \frac{1}{Y_M} e^{a_3 X_0 \left( S_{yM} + \frac{1}{Y_M} \right) t} + S_{yM} \right]}, \quad (8)$$

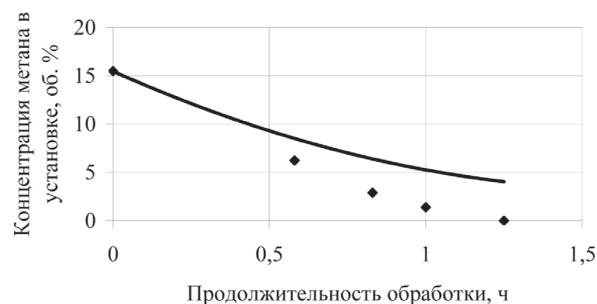
где  $S_{yM}$  — удельная концентрация метана, оптимальная для роста бактерий;  $a_3$  — коэффициент пропорциональности, const, дм<sup>3</sup>/г · ч;  $X_M(t)$  — концентрация биомассы в определенный момент времени, г/дм<sup>3</sup>.

Значение  $S_{yM}$  и  $a_3$  рассчитаны следующим образом:

$$S_{yM} = \frac{S_{0M}}{X_{0M}} = \frac{0,11}{0,6} = 0,18 \quad (\text{г/г});$$

$$a_3 = \frac{\mu_{\max M}}{S_{0M}} = \frac{0,12}{0,11} = 1,09 \quad (\text{дм}^3/\text{г} \cdot \text{ч}).$$

Динамика концентрации метана в газовой смеси при биотехнологической обработке, описываемая по модели уравнения 8, представлена графически на рис. 2.



**Рис. 2.** Влияние продолжительности биотехнологической обработки на концентрацию метана в газовой смеси (модель по уравнению 4.35) (точки — экспериментальные значения, кривая — модель)

Как видно, данная модель не адекватно описывает полученные экспериментальные данные по сравнению с моделью по уравнению 3: среднее отклонение математической модели от экспериментальных данных в этом случае составляет 52,4 %.

## Литература

1. Мякенький В. И. Микробиологическое окисление метана угольных шахт [Текст] / В. И. Мякенький, И. К. Курдиш. — К. : Наук. думка, 1991. — 148 с.
2. Бахарева А. Ю. Экологически безопасные методы очистки газообразных промышленных выбросов от формальдегида и метана [Текст] : дис... канд. техн. наук: 21.06.01 / Бахарева Анна Юрьевна. — Х., 2009. — 210 с.