

- Технологии органических и неорганических веществ
- Технологии и оборудование пищевых производств
- Экология

## 1/6 (55) 2012

# Содержание

### ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

- 4 Математическое описание изменения удельной скорости биологического окисления метана  
**В.А. Юрченко, А.Ю. Бахарева**
- 7 The research of structural and mechanical properties of emulsion on the basis of sunflower seed kernel  
**P.V. Gurskiy, D.O. Biduk, F.V. Pertsevov, A.A. Kolesnyk**
- 11 Інваріантний вид кривої течії ПЕВГ відносно гідравлічного радіусу каналу  
**В.І. Сівецький, Д.Д. Рябінін, О.Л. Сокольський, В.М. Волинець**
- 14 Технологія отримання поліізобутенсукциніміду  
**Е.В. Кисельова-Логінова, Е.В. Попов, Р.П. Савяк**
- 17 Зведення до інваріантного виду кривих течії ПЕНГ відносно каналу 4×32мм  
**В.І. Сівецький, Д.Д. Рябінін, О.Л. Сокольський, С.О. Корольов**
- 20 Реология суспензий на основе карбоната кальция  
**Р.В. Мілоцький, О.В. Миронюк, І.В. Земляной, Т.А. Караваев, В.А. Свідерський**
- 24 Очищення "хвостових" газів виробництва нітратної кислоти  
**С.О. Примиська, Ю.О. Безносик**
- 27 Вплив умов зберігання на процеси релаксації у електрохімічно активованій воді  
**І.М. Бордун, В.В. Пташник**

- 31 Відстоювання скопу з використанням флокулянтів різного типу  
**М.Д. Гомеля, Я.В. Радовенчик, В.В. Тимошенко, О.С. Коваль**
- 35 Очистка сточных вод производства ионообменных смол от диметиламина, триметиламина и пиридина  
**Е.А. Храброва, Ю.А. Омельчук, Н.Д. Гомеля**
- 40 Видалення та розділення хлоридів і сульфатів при іонообмінному знесоленні води  
**О.В. Голвяницька, Т.О. Шаблій, М.Д. Гомеля, С.С. Ставська**

## ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

- 45 Технологія заморожених м'ясних напівфабрикатів на основі яловичого фаршу, ферментованого колагеназою  
**М.О. Янчеваб, С.М. Коваленко**
- 49 Харчова та біологічна цінність білкової добавки на основі рибної колагеномісткої сировини  
**В.О. Коваленко, Б.О. Панікарова**

## ЭКОЛОГИЯ

- 52 Зниження рівня шуму відцентрових вентиляторів  
**В.С. Поліщук, О.О. Котенко**
- 55 Оценка влияния электроразрядной обработки на изменение свойств и структуры воды  
**Е.Г. Кузнецова, Ю.Г. Сарбекова**
- 59 Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні  
**В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко**

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### **А. Б. Бойник**

Доктор технических наук, профессор.  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

### **Т. В. Бутько**

Доктор технических наук, профессор.  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

### **А. В. Гламаздин**

Кандидат физико-математических наук  
ННЦ Харьковский Физико-Технический институт, УКРАИНА

### **М. Д. Годлевский**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

### **В. Г. Данько**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

### **Д. А. Демин**

Кандидат технических наук, доцент.  
Технологический Центр. УКРАИНА

### **А. А. Дудников**

Кандидат технических наук, профессор.  
Полтавская государственная аграрная академия. УКРАИНА

### **Дж. Кардосо**

Professor in Faculty of Science and Technology  
of the University of Coimbra. PORTUGAL

### **М. Д. Кац**

Доктор технических наук, профессор.  
Восточноевропейский национальный университет им. В. И. Даля. УКРАИНА

### **Б. В. Клименко**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

### **Г. И. Львов**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

### **П. Г. Перерва**

Доктор экономических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

### **А. А. Пермяков**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

### **М. А. Подригало**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный автодорожный технический университет. УКРАИНА

### **Л. А. Рыбак**

Доктор технических наук, профессор.  
Старооскольский технологический институт. РОССИЯ

### **В. Б. Самородов**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

### **В. Н. Самсонкин**

Доктор технических наук, профессор.  
Государственный научно-исследовательский центр  
железнодорожного транспорта Украины. УКРАИНА

### **Ю. В. Соболев**

Доктор технических наук, профессор.  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

### **В. В. Стариков**

Кандидат физико-математических наук, доцент.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

### **Р. Д. Сытник**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт». УКРАИНА

### **А. Д. Тевяшев**

Доктор технических наук, профессор.  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники. УКРАИНА

### **Т. А. Терещенко**

Доктор технических наук, профессор.  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт». УКРАИНА

### **В. Я. Терзиян**

Доктор технических наук, профессор.  
Университет Ювяскюля. ФИНЛЯНДИЯ.  
Харьковский Национальный университет радиоэлектроники. УКРАИНА

### **И. А. Фурман**

Доктор технических наук, профессор.  
Харьковский государственный технический университет  
сельского хозяйства. УКРАИНА

## Главный редактор

И. Г. Филиппенко

Доктор технических наук, профессор.  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта. УКРАИНА

## Учредители

ЧП «Технологический Центр»  
Украинская Государственная Академия  
железнодорожного транспорта

## Аттестовано

Высшей Аттестационной Комиссией Украины  
Перечень № 12 постановления Президиума ВАК № 1-05.36  
от 11.06.03

## Аттестовано

Постановлением Президиума ВАК Украины  
№ 1-05/2 от 27.05.2009, № 1-05/3 от 08.07.2009.  
Бюллетень ВАК Украины № 8, 2009

## Рекомендовано

Ученым Советом  
протокол № 12 от 27.12.2011

**Свидетельство о государственной регистрации журнала**  
КВ № 17140-5910 ПР от 17.09.2010

## Адрес редакции и издательства:

Украина, 61145, г. Харьков, ул. Новгородская, 3-а,  
Технологический Центр  
**Тел.:** +38 (057) 750-89-90

**E-mail:** nauka@jet.com.ua

**Сайт:** <http://www.jet.com.ua>

Подписано в печать 05.01.2012 г. Формат 60 × 84 1/8.

Цена договорная.

Тираж 1000 экз.

Частичное или полное тиражирование любым способом  
материалов, опубликованных в этом издании, разрешается  
только с письменного согласия редакции

## Подписка:

оформляется через подписные агентства  
«Идея», «Периодика»  
«Саммит», «Меркурий»  
или через редакцию

*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  $\rho_M$  - удельная скорость окисления метана, мг/гхч;

$\rho_{maxM}$  - максимальная удельная скорость окисления метана, мг/гхч;

$S_M(t)$  - концентрация метана, г/дм<sup>3</sup>;

$X_M(t)$  - концентрация биомассы, г/дм<sup>3</sup>;

$b$  - коэффициент пропорциональности, const, дм<sup>3</sup>/г;

$K_{SM}$  - константа Михаэлиса, г/дм<sup>3</sup> для метанооксилюющего 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/дм<sup>3</sup>);

$K_{O_2M}$  - константа ингибирования окисления метана кислородом, 23%, (г/дм<sup>3</sup>);

$O_{2M}$  - концентрация  $O_2$  в газовой среде, (г/дм<sup>3</sup>);

$k_3$  - 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/м<sup>3</sup>;

$M$  – устанавливаемый массообмен, мг/м<sup>3</sup>;

$M_i$  – массообмен, при котором накопление биомассы подавлено в 2 раза, 990 мг/м<sup>3</sup>.

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 <sup>3</sup>	Концентрация продукта, г/дм <sup>3</sup>
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/дм<sup>3</sup>×ч). Отрезок, отсекаемый построенной прямой на оси ординат,  $K_{SM}/V_{\max M} = 0,11$ ; отсюда  $K_{SM} = 111 \times 0,11 = 12$  (мг/дм<sup>3</sup>).

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

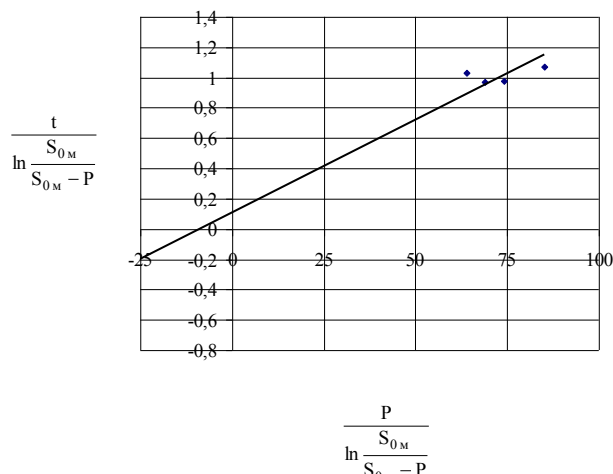


Рис. 1. Построение прямой в вспомогательных координатах для определения  $V_{\max M}$  и  $K_{SM}$  окисления метана

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<sup>-1</sup>) (3,1 сут<sup>-1</sup>).

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 <sup>3</sup>	
	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<sub>п</sub>, 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).

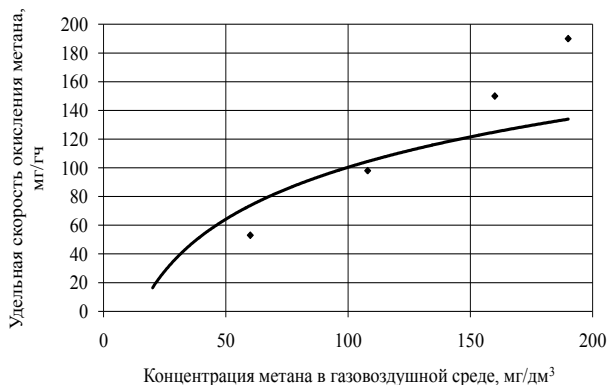


Рис. 2. Зависимость удельной скорости окисления метана от концентрации метана в газовой среде (точки – экспериментальные значения, кривая – модель уравнения 4)

Кинетические константы и коэффициенты биологического окисления CH<sub>4</sub>, 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 <sub>м</sub>	г/г	0,76
K <sub>с м</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	12, экспериментальные данные
μ <sub>тах м</sub>	сут <sup>-1</sup>	3,1, экспериментальные данные
ρ <sub>тах м</sub>	мг/г×ч	192, экспериментальные данные
k <sub>T</sub>		0,03
k <sub>3</sub>		1
k <sub>2</sub>		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., Калужный 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.