

TECHNICAL SCIENCES

COMPARATIVE ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF ANAEROBIC FERMENTATION OF BIOMASS

Ismailov B.,

*Doctor of Technical Sciences
M. Auezov South Kazakhstan University
Shymkent, Tauke Khan-5*

Ismailov K.

*Candidate of Technical Sciences
M. Auezov South Kazakhstan University
Shymkent, Tauke Khan-5*

DOI: 10.24412/2701-8377-2021-4-1-60-62

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АНАЭРОБНОГО БРОЖЕНИЯ БИОМАССЫ

Исмаилов Б.,

*доктор технических наук
Южно-Казахстанский университет
им. М.Ауезова
г.Шымкент, Тауке хана-5*

Исмаилов Х.

*кандидат технических наук
Южно-Казахстанский университет
им. М.Ауезова
г.Шымкент, Тауке хана-5*

Abstract

The analysis of existing models of anaerobic fermentation of biomass is carried out. The possibilities of choosing the optimal process parameters for different types of biomass are considered. A systematic numerical experiment with the Kobozev model was carried out. The optimal values for the studied types of biomass were found for the main physicochemical and input parameters. At present, a great deal of experience has been accumulated on the production and use of biogas.

Аннотация

Проведен анализ существующих моделей анаэробного брожения биомассы. Рассмотрены возможности выбора оптимальных параметров процесса для разных видов биомассы. Проведен систематический численный эксперимент с моделью Кобозева. Найдены оптимальные для исследуемых видов биомасс значения основных физико-химических и входных параметров.

Keywords: biogas, model, anaerobic, Kobozev, parameters, numerical, experiment, fermentation, biomass, analysis

Ключевые слова: биогаз, модель, анаэроб, Кобозев, параметры, численное, эксперимент, брожение, биомасса, анализ.

После опубликования известной книги В. Баадера и др. опубликовано большое количество работ, давших импульс развитию науки о биотопливе. На наш взгляд, широкому распространению малых и средних по мощности биогазовых установок препятствуют следующие обстоятельства: 1. Сырье (биомасса), используемое для получения биогаза имеет множество физико-химических параметров, разные для данной местности и времени года. Поэтому, даже серийные промышленные установки не могут дать ожидаемого выхода газа. 2. Сам процесс брожения довольно медленный, для выхода на оптимизационный режим потребуются в среднем, несколько десятков дней. Это не дает возможности достаточно быстро реагировать на изменения вход-

ных параметров и выйти на оптимальный, по крайней мере, на рациональный режим. 3. Полученный на первых порах биогаз имеет высокую по сравнению, например со стоимостью твердотопливных и жидкотопливных энергоустановок. 4. Малочисленность сопоставимых теоретико-расчетных и экспериментальных данных по влиянию гидродинамических (к примеру, влияния скорости перемешивания) и тепло- массообменных характеристик на выход газа. Эффективным способом преодоления этих недостатков является математическое моделирование. При этом появляется возможность многократно ускорить решение задачи выбора оптимальных значений вышеназванных параметров, причем с меньшими материальными и временными затра-

тами. Результатом такого подхода должны быть модели, алгоритмы, программы и на их основе инженерные методики расчета полного цикла процесса, с возможностью выбора оптимальных параметров процесса для широкого набора видов обрабатываемой биомассы. Поэтому, задача создания эффективных математических моделей, достаточно точно описывающих процессы анаэробного брожения биомассы является актуальной.

В настоящее время, рассматривая брожение биомассы (например, при анаэробном режиме) как химико-био-технологический процесс, получено большое количество математических моделей. В достаточно простой постановке они приведены, к примеру, в работах [1-3]. Однако в такой постановке потребуется большое количество физико-химико-биологических параметров, численные значения которых зачастую различаются на порядок, даже для биомасс, относящихся одному и тому же типу. Естественно, что при такой постановке моделирования результаты имеют, скорее качественный характер, нежели количественный. Тем не менее, как показали численные эксперименты, они достаточно точно описывают основные закономерности процесса анаэробного брожения для самых распространенных видов биомассы-отходы животноводства (ОЖ), растительного происхождения (РП), раз-

жиженные бытовые отходы (РБО) [1-4]. Дифференциальные уравнения для выхода газа по Кобозева имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = bLX - pX \\ \frac{dL}{dt} = p(L_0 - L) - \alpha bLX, \\ \frac{dV}{dt} = \gamma bLX. \end{cases} \quad (1)$$

Начальные условия:

$$X(0) = X_0, L(0) = L_0, V(0) = V_0 = 0. \quad (2)$$

В задаче Коши (1)-(2) использованы следующие обозначения: X – концентрация бактерий, кг/м³; L – концентрация питательного вещества, усвояемого бактериями, кг/м³; V – выход биогаза, м³; p – скорость прибавки питательных веществ в биореактор, сут⁻¹; b – коэффициент скорости роста бактерий, м³/(кг · сут); α – безразмерный коэффициент освоения бактериями питательного вещества; γ – коэффициент превращения питательного вещества в биогаз, м⁶/кг. Для того чтобы, сравнить результаты моделирования по Кобозеву и двухпараметрической модели, используем найденные в работе [1] оптимальные (скорее всего, рациональные) значения основных параметров, приведенные в следующей таблице (ОЖ-отходы животноводства, РП-биомасса растительного происхождения, РБО-разжиженные бытовые отходы).

Таблица

Оптимальные значения физико-химических параметров процесса

Параметр	Виды биомассы		
	РП	ОЖ	РБО
b	0.006	0.008	0.010
α	1.885	1.390	1.085
γ	1.519	1.314	0.8806
K	0.042	0.068	0.085

Результаты численного решения задачи (1)-(2) методом Рунге-Кутты 4-порядка точности приведены на рис.1-2.

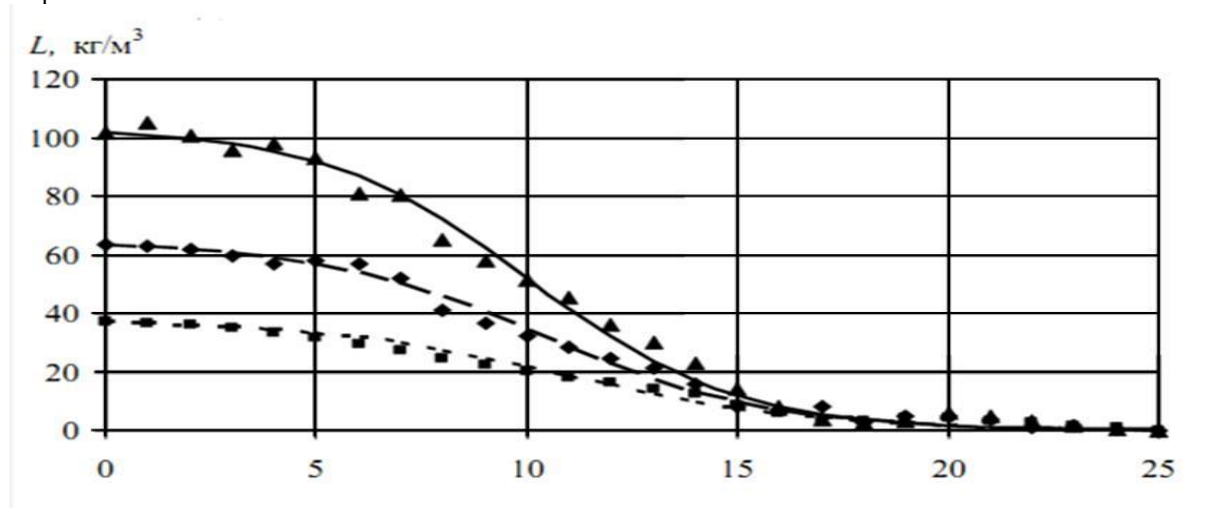


Рис.1. Динамика концентрации питательных веществ в периодическом режиме для трех видов биомассы: 1-ОЖ, 2- РП, 3-РБО; точки-данные опытов [1-3], кривые-результаты расчета.

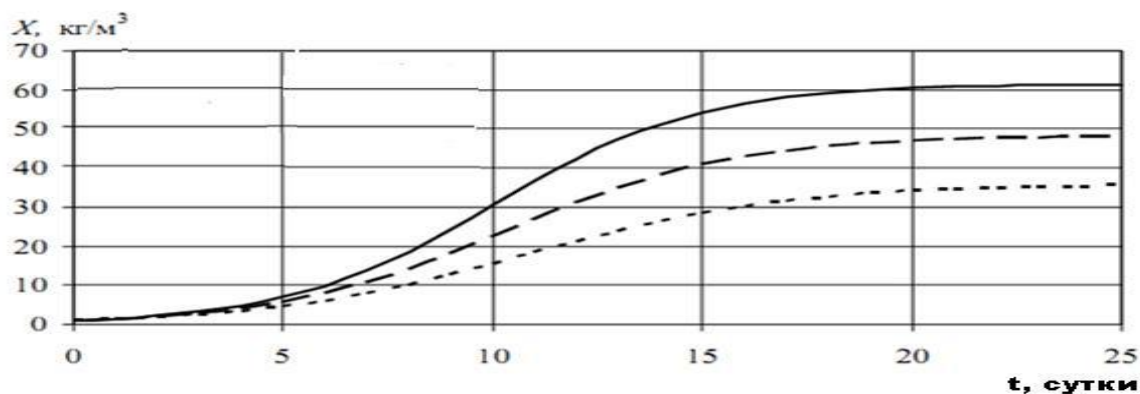


Рис. 2. Результаты расчета динамики концентрации бактерий в периодическом режиме для трех видов биомассы: 1-ОЖ, 2- РП, 3-РБО

Как видно из рисунков 1,2 концентрация питательного вещества, усвояемого бактериями, сильно снижается к 14-15 суткам. За это время концентрация бактерий увеличивается до 55%.

Список литературы

1. R.G. Vasilov. Fundamental and applied aspects of modern biotechnology. / Interregional Forum "Russian High Technologies". Cheboksary, 2017.-187 p. [Published in Russian]
2. Dvoretzky D. S., Dvoretzky S. I., Muratova E. I., Ermakov A. A. Computer modeling of biotechnological processes and systems. –Publishing of the Tambov State Technical University, 2005. - 80 p. [Published in Russian]
3. Kalyuzhnyi S. V. Batch anaerobic digestion of glucose and its mathematical modeling. I. Kinetic investigations // Biores. Technol. – 1997. Vol. 59, Issue 1. Pp. 73–80.
4. Ismailov B.R., Ismailov Kh.B. Optimization of Parameters of Anaerobic Fermentation of Biomass on The Mathematical Model of Kobozev //Technical Science and Innovation. -2020. Vol.1, Pp.70-76.