

*Секция «Биотехнология в защите окружающей среды»,
научный руководитель – Джамалова Г.А., канд. с/х наук, доцент*

УДК 579.63

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ИНТЕНСИФИКАЦИИ АНАЭРОБНОГО БИОРАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ С ПРОИЗВОДСТВОМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ

¹Абдисаламова А.А., ^{1,2}Джамалова Г.А., ²Мусина У.Ш.

¹Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы,
e-mail: malinik7@mail.ru;

²ТОО «НДЦ AEG», Алматы

Изучены процессы интенсификации биоразложения органических отходов в установках с производством возобновляемой энергии. Показано, что протокол биоразложения органических отходов занял 43 дня, температурный режим находился в интервале от 24 до 38 оС, в процессе переработки было утилизировано 67,1 % субстрата, который из светло-коричневого стал темно-коричневым в конце эксперимента. На количество вырабатываемого в процессе интенсивного анаэробного биоразложения органических коммунальных пищевых отходов 44 % общего разнообразия по выходу биогаза достоверно обусловлено температурным режимом биореактора, тогда как 56 % обуславливается не учтенными в опыте факторами. При завершении эксперимента по интенсивному биоразложению органических коммунальных пищевых отходов произведено 25,05 л биогаза. При этом количество дигестата, которое может быть использовано для производства нетрадиционного органического удобрения составило 1,4 кг.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, метаногенез, биогаз

STUDYING THE PROCESS OF INTENSIFICATION OF ANAEROBIC BIODIVERSITY OF ORGANIC WASTES WITH THE PRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY

¹Abdissalamova A.A., ^{1,2}Jamalova G.A., ²Mussina U.S.

¹Kazakh National Technical University named after K.I. Satpaev, Almaty, e-mail: malinik7@mail.ru;

²LLP «SDC AEG», Almaty

The processes of intensification of biodegradation of organic waste in plants with the production of renewable energy have been studied. It was shown that the protocol of biodegradation of organic waste took 43 days, the temperature regime was in the range from 24 to 38 oC, 67,1 % of the substrate was recycled during processing, which became from light brown to dark brown at the end of the experiment. On the amount of organic communal food waste generated during intensive anaerobic biodegradation, 44 % of the total biogas yield is reliably due to the temperature regime of the bioreactor, while 56 % is due to factors not included in the experiment. At the end of the experiment on intensive biodegradation of organic communal food waste, 25.05 liters of biogas was produced. At the same time, the amount of digestate that can be used for the production of non-traditional organic fertilizer was 1.4 kg.

Keywords: solid municipal waste, methanogenesis, biogas

Антропогенное развитие твердых бытовых отходов сопровождается, с одной стороны, неуклонным количественным увеличением отходов на душу населения, с другой – обогащением отходов различными ксенобиотиками как «старого», так и «нового» состава. Поэтому нахождение путей утилизации отходов с применением биотехнологии на сегодня актуально.

Цель. Изучение процессов интенсификации биоразложения органических отходов в установках с производством возобновляемой энергии.

Объект исследования. Органическая фракция твердых бытовых отходов.

Методика исследования основывалась на проведении экспериментальных и физико-химических работ.

Метаногенез в упрощенном варианте (рис. 1) осуществляется двумя группами бактерий: первые превращают ацетат в метан и диоксид углерода, вторые для образования CH_4 осуществляют окислительно-восстановительные процессы, используя водород в качестве донора электронов, диоксид углерода в качестве акцептора (эти реакции протекают одновременно) [1].

Процесс метаногенеза может осуществляться в мезофильных (Methanomicrobiales, Methanobacteriales, Methanosarcinales

и Methanococcales) и термофильных (Methanobacterium thermoautotrophicum, Methanothermus fervidus) условиях [1].

В результате анаэробного биоразложения органического вещества [2] происходит образование биогаза (возобновляемый источник энергии) и дигестата (нетрадиционное органическое удобрение):

1. В кислой стадии биоразложение происходит в три периода [3]: 1) сложные полимерные молекулы разлагаются (биогидролиз) на простые растворимые соединения с участием облигатных анаэробов: полимеры → простые олигомеры, мономеры: протеины в аминокислоты, углеводы в сахара, липиды – в жирные кислоты; 2) мономеры ферментативно (ацидогенез) разлагаются до органических кислот, спиртов, альдегидов; 3) окисление продуктов ацидогенеза в CH_3COOH с образованием водорода.

2. В щелочной стадии, метаногенезе, CH_4 образуется из уксусной кислоты и водорода (CO_2 – это побочный продукт).

В дополнение вышеизложенному следует отметить, что: 1) гидролиз – это лимитирующий этап анаэробной биотрансформации органического вещества [4], осуществляется гидролитическими фер-

ментами микроорганизмов, протекает с участием как строгих (Bacterioides, Clostridia и Bifidobacteria), так и факультативных (Streptococci и Enterobacteriaceae) анаэробов [5], и тесно связан с фазой брожения (кислотогенез): 1) на гидролитической фазе органические вещества превращаются на 76% в высшие жирные кислоты, 20% – в ацетат и 4% – в водород [6, 7]; 2) ацидогенез, протекающий с участием кислотообразующих бактерий (Bacteroides succinogenes, Butyrivibrio fibrisolvens, Clostridium cellobioporus, Clostridium lochhadii, Clostridium stercorarium, Clostridium thermocellum, Micromonospora bisporea, Ruminococcus flavefaciens, Ruminococcus albus), приводит к тому, что мономеры превращаются в летучие жирные кислоты [6, 7]; 3) ацетогенез – процесс производства ацетогенами (Acetobacterium woodii и Clostridium aceticum) ацетата из водорода и углерода [8, 9]; 4) метаногенез, как завершающий этап процесса распада органических веществ, осуществляется представителями домена Archaea (филум Euryarchaeota) и допускает три основных пути: водородный (гидрогенотрофный), ацетокластический, метилотрофный.

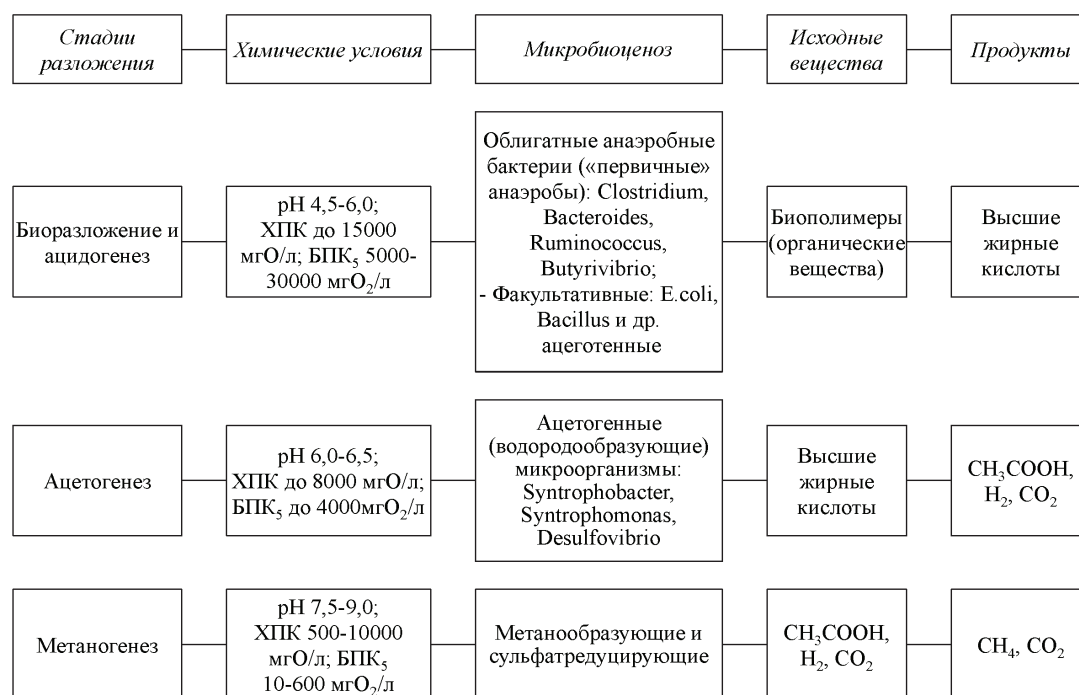


Рис. 1. Упрощенная схема анаэробного разложения органических отходов

Результаты и обсуждение. Органические отходы, использованные для производства биогаза методом интенсифицированного биоразложения в установках, имели коммунальное (пищевые: остатки животноводческой и растениеводческой продукции) и сельскохозяйственное растениеводческое (жмых, силос) происхождение.

В работе [10], выполненное ранее, предлагается включать в состав разлагаемого субстрата из ТБО 30% компоста. Поэтому протокол загрузки биореактора органическими коммунальными пищевыми и сельскохозяйственными отходами (100%) включал: 70% коммунальные пищевые (остатки: мучных – 17%, овощей – 15%, фруктов – 10%, мясных – 17% и других продуктов – 11%) и 30% сельскохозяйственные растительные (жмых сафлоровый – 10%, жмых пшеничный – 10%) отходы и силос кукурузный (10%).

Т.к. процесс интенсификации возможен при измельчении и дроблении отходов, поэтому размер фракций органических отходов в опыте не превышал 50 мм.

Подготовленные по компонентному и фракционному составу органические отходы были загружены в реактор в количестве 4,25 кг.

В целях интенсификации биоразложения органических отходов и производства обогащенного метаном биогаза были приняты как конструктивно-технологические, так и микробиологические решения:

1) ко-ферментационный подход в биоразложении отходов органической природы: совместное биоразложение отходов растительного и животного происхождения;

2) в качестве добавок были использованы остатки растительного происхождения, т.к. жмых сафлоры, жмых пшеницы и силос кукурузы, во-первых, имеют органическое происхождение и благодаря своей питательности являются хорошей подпиткой для микроорганизмов, участвующих в метановом брожении и, во-вторых, обеспечивают высокий выход биогаза;

3) использованные добавки обеспечивали поддержание оптимального соотношения углерода и азота ($C/N=20/1-30/1$) в перерабатываемом субстрате;

4) высокая степень измельчения и гомогенизации сырья в целях стабилизации биологических процессов переработки органических отходов;

5) поддержание оптимального мезофильного для биоразложения органических отходов диапазона температуры (в зависимости от стадии разложения: 24–38°C);

6) обеспечение предотвращения формирования корки и осадка, пустот и скоплений, участков разной температуры внутри реактора основывалось на использовании механического медленного и пассивного типа перемешивания субстрата, что происходило естественно в процессе переработки за счет наличия в реакторе дополнительных конструктивных решений.

Протокол биоразложения органических отходов выглядел следующим образом: 1) процесс биоразложения занял 43 дня, 2) температурный режим в процессе всего исследуемого периода находился в интервале от 24 до 38°C (первые 15 дней от 24 до 29°C, последующие с 16 по 29 сутки – 37–38°C и, в конце с 30 по 43 день – 30°C), 4) в процессе переработки было утилизировано 2,85 кг из 4,25 кг, т.е. 67,1%, при этом утилизируемый субстрат из светло-коричневого вначале перешел в темно-коричневый в конце опыта (цвет утилизируемого субстрата начал переходить в темный цвет с 16 дня переработки), по структуре – из плотной на начальном этапе переработки трансформировался в рыхлый (структура субстрата начала меняться с 26 дня переработки).

Производство, при анаэробном методе переработки органических коммунальных пищевых отходов, возобновляемой энергии – биогаза показано на рис. 2.

Как видно из рис. 2, общее количество произведенного за весь период научного эксперимента биогаза составило 25,05 л (0,0251 м³).

При учете температурного режима реактора производство биогаза по периодам составило: 7,02 л с 1-го по 15-й день эксперимента (при температуре в интервале 24–29°C), 14,28 л с 16-го по 29-й день эксперимента (температурный режим в интервале 37–38°C), 3,75 л с 30-го по 43-й день эксперимента (температурный режим на уровне 30°C). Среднесуточный выход возобновляемой энергии при интенсивном разложении органических коммунальных пищевых отходов в зависимости от температурного режима биореактора составило: в первые пятнадцать дней опыта 0,47 л в сутки (24–29°C), с 16 по 29 день эксперимента 1,02 л в сутки (37–38°C), с 30 по 44 день эксперимента 0,25 л в сутки (30°C).

Таким образом можно заключить, что при анаэробном методе переработки органических коммунальных пищевых отходов совместно с такими добавками, как жмых (20%) и силос (10%) можно из 1 кг субстрата (при температуре, в среднем, 27°C; давление 750,06 мм рт. ст.) произвести биогаза 5,01 л (0,005 м³, 0,0033 кг).

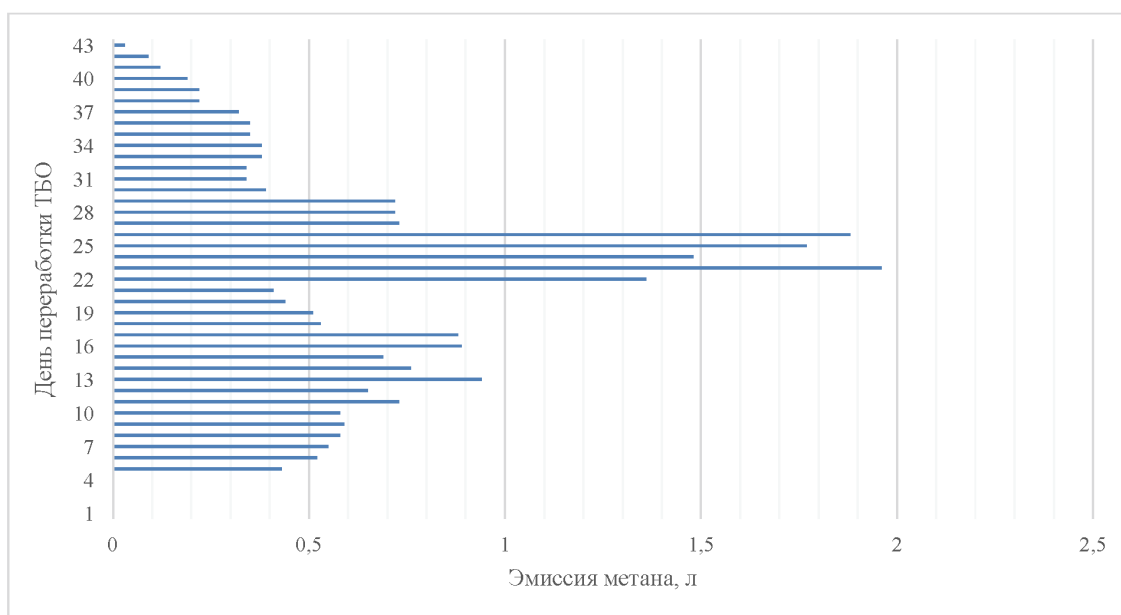


Рис. 2. Протокол производства возобновляемой энергии

В работе по интенсификации переработки ТБО в установках [11, 12], отмечено, что при соблюдении оптимальных условий переработки, можно не только ускорить процесс анаэробного биоразложения органических отходов, но и дополнительно увеличить содержание метана в биогазе.

Для определения доли влияния температурного режима реактора на производство возобновляемой энергии при интенсивном анаэробном разложении органических коммунальных пищевых отходов был составлен дисперсионный однофакторный комплекс. Доля изменчивости, обусловленная влиянием фактора η^2 . Доля общего разнообразия признака, обусловленная изучаемым фактором (температурный режим биореактора), составило $\eta_x^2 = 0,44$. Следовательно, 44% общего разнообразия по выходу биогаза достоверно обусловлено температурным режимом биореактора, тогда как 56% обуславливается не учтенными в опыте факторами.

Закключение. Из 4,25 кг субстрата утилизировано 67,1%, т.е. 2,85 кг (в процессе утилизации субстрат из светло-коричневого трансформируется в темно-коричневый с 16-го дня, из плотного в рыхлую с 26-го дня переработки) и 32,9%, т.е. 1,4 кг оста-

ся как дигестат, которое может быть использовано для производства нетрадиционного органического удобрения. В процессе анаэробного интенсифицированного биоразложения органических коммунальных пищевых отходов произведено 25,05 л биогаза. 44% общего разнообразия по выходу биогаза достоверно обусловлено температурным режимом биореактора

Список литературы

1. Alkanok G. Determination of biogas generation potential as a renewable energy source from supermarket wastes / G. Alkanok, B. Demirel, T.T. Onay // Waste Management. – 2014. – Vol. 34. № 1. – P. 134–140.
2. Баадер В. Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
3. Биоэнергетика: мировой опыт и прогнозы развития / Л.С. Орлик, Н.Т. Сорокин, В.Ф. Федоренко, Д.С. Буклагин, Н.П. Мишуров, В.С. Тихонравов; Минсельхоз России. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 404с.
4. Калюжный С.В., Данилович Д.А., Ножевникова А.Н. Анаэробная биологическая очистка сточных вод. Итоги науки и техники. – М.: ВИНТИ, 1991. (Биотехнология). – С 9–22.
5. Wang K. Transformation of dissolved organic matters in swine, cow and chicken manures during composting / K. Wang, X. Li, C. He, C.-L. Chen, J. Bai, N. Ren, J.-Y. Wang // Bioresource Technology. – 2014. – 168. – P. 222–228.
6. Weiland, P. Biogas production: current state and perspectives / P. Weiland // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2010. – № 85(4). – P. 849–860.

7. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. – М.: Наука, 2003. – С 15.
8. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology /mL.R. Lynd, P.J. Weimer, W.H. Zyl van [et al.] // Microbiol. Mol. Biol. Rev.2002. V. 66.
9. Competition between homoacetogenic bacteria and methanogenic archaea for hydrogen at low temperature / O.R. Kotsyurbenko, M.V. Glagolev, A.N. Nozhevnikova [et al.] // FEMS Microbiol. Ecol. 2001. V. 38. P.
10. Temperature characteristics of methanogenic archaea and acetogenic bacteria isolated from cold environments / A.N. Nozhevnikova, M.V. Simankova, S.N. Parshina [et al.] // Water. Sci. Technol. 2001.
11. Джамалова Г.А. Анализ изменчивости качественного состава биогаза, производимого биореактором при интенсификации анаэробного разложения твердых бытовых отходов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21119> (дата обращения: 23.02.2018).
12. Джамалова Г.А. Интенсификация анаэробного разложения модельных образцов твердых бытовых отходов в биореакторах // Известия СПбГТИ(ТУ). – СПб., 2014. – № 23 (49). – С.84–86.
13. Джамалова Г.А. Математическое планирование выхода продуктов биоразложения твердых бытовых отходов в зависимости от протокола загрузки биореактора // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21293> (дата обращения: 23.02.2018).