



ВОДОРОДНАЯ ЭКОНОМИКА
HYDROGEN ECONOMY

НОВЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

NOVEL HYDROGEN PRODUCTION METHODS

Статья поступила в редакцию 06.07.20. Ред. Рег. №11-05

The article has entered in publishing office 06.07.20 Ed. Reg. No. 11-05

УДК 631.1.004.18:636.22/28

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ДВУХСТАДИЙНОЙ
АНАЭРОБНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ
ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ВОДОРОД- И
МЕТАНСОДЕРЖАЩИХ БИОГАЗОВ**

А.А. Ковалев

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5
тел. +7(926)347-79-55, e-mail: kovalev_ana@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2020.09.009

Заключение совета рецензентов: 23.08.20

Заключение совета экспертов: 23.08.20

Принято к публикации: 29.08.20

В последние годы внимание общества всё более привлекается к решению двух неразрывно связанных проблем – предотвращению истощения природных ресурсов и охране окружающей среды от антропогенного загрязнения. Годовое потребление отходов животноводства для производства составляет около 240 тыс. м³ в год, что составляет 0,17% от общего объема навоза, производимого на российских сельскохозяйственных предприятиях. В настоящее время фактическое использование органических отходов, потенциально пригодных для производства биогаза, на 2-3 порядка ниже, чем имеющийся потенциал для органических отходов. В настоящее время водородная энергетика приобретает огромную популярность в мире в связи с проблемой истощения невозобновляемых источников энергии – углеводородов, и экологического загрязнения, вызванного их растущим потреблением. Особую перспективу представляет темновой процесс получения водородсодержащего биогаза при переработке органических отходов в анаэробных условиях, который позволяет использовать преимущества, как производства энергии, так и решения проблемы утилизации органических отходов. В работе проведен энергетический анализ системы двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород - и метансодержащих биогазов на основе экспериментальных данных, полученных на лабораторной установке с реакторами с повышенным объемом. Энергетическая эффективность системы находится в пределах 1,91-2,74. Максимальная энергоэффективность наблюдалась при гидравлическом времени удержания в реакторе темновой ферментации 2,5 суток. Затраты электроэнергии на производство 1 м³ водорода составили 1,093 кВт*ч при гидравлическом времени удержания в реакторе темновой ферментации 2,5 суток. При гидравлическом времени удержания в реакторе темновой ферментации 1 сутки, удельные (отнесенные к скорости обработки органических отходов) затраты электроэнергии производство 1 м³ водорода были минимальными в рассматриваемом диапазоне h_{гт}, и составили 26 (Вт/м³ водорода)/(м³ отходов/сут). Таким образом, система двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метансодержащих биогазов является энергетически эффективным способом как получения водорода, так и переработки органических отходов.

Ключевые слова: двухстадийный анаэробный процесс, темновое брожение, биоводород, энергетический анализ, органические отходы, биогаз, метаногенез



ENERGY ANALYSIS OF THE SYSTEM OF TWO-STAGE ANAEROBIC PROCESSING OF LIQUID ORGANIC WASTE WITH PRODUCTION OF HYDROGEN- AND METHANE-CONTAINING BIOGASES

A.A. Kovalev

Federal Government Budgetary Institution of Science "Federal scientific agroengineering centre VIM"
109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy proezd, building 5
tel. +7 (926) 347-79-55, e-mail: kovalev_ana@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2020.09.009

Referred: 23.08.20

Received in revised form: 23.08.20

Accepted: 29.08.20

In recent years, public attention has been increasingly attracted to solving two inextricably linked problems - preventing the depletion of natural resources and protecting the environment from anthropogenic pollution. The annual consumption of livestock waste for production is about 240 thousand m³ per year, which is 0.17% of the total manure produced at Russian agricultural enterprises. At present, the actual use of organic waste potentially suitable for biogas production is 2-3 orders of magnitude lower than the existing potential for organic waste. Currently, hydrogen energy is gaining immense popularity in the world due to the problem of depletion of non-renewable energy sources - hydrocarbons, and environmental pollution caused by their increasing consumption. Of particular interest is the dark process of producing hydrogen-containing biogas in the processing of organic waste under anaerobic conditions, which allows you to take advantage of both energy production and solving the problem of organic waste disposal. An energy analysis of a two-stage anaerobic liquid organic waste processing system with the production of hydrogen- and methane-containing biogas based on experimental data obtained in a laboratory facility with increased volume reactors was performed. The energy efficiency of the system is in the range of 1.91-2.74. Maximum energy efficiency was observed with a hydraulic retention time of 2.5 days in a dark fermentation reactor. The cost of electricity to produce 1 m³ of hydrogen was 1.093 kW·h with a hydraulic retention time of 2.5 days in the dark fermentation reactor. When the hydraulic retention time in the dark fermentation reactor was 1 day, the specific (related to the processing rate of organic waste) energy costs to produce of 1 m³ of hydrogen were minimal in the considered hrt range, and amounted to 26 (W/m³ of hydrogen)/(m³ of waste/day). Thus, the system of two-stage anaerobic processing of liquid organic waste to produce hydrogen and methane-containing biogas is an energy-efficient way to both produce hydrogen and process organic waste.

Keywords: two-stage anaerobic process, dark fermentation, biohydrogen, energy analysis, organic waste, biogas, methanogenesis



*Ковалев Андрей Александрович
Andrey A. Kovalev*

Сведения об авторе: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, старший научный сотрудник лаборатории биоэнергетических и сверхкритических технологий, кандидат технических наук.

Образование Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ) 2009г., инженер

Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, анаэробная переработка отходов животноводства, производство биогаза из биомассы, теплоэнергетические установки, теплообмен.

Публикации: 54

Индекс Хирша: РИНЦ - 5;

Scopus - 2; **WoS** – 1

SPIN: 4267-3026

Researcher ID: F-7045-2017

ORCID iD: 0000-0002-1983-3454

Scopus Author ID: 57205285134

Information about the author: : Federal Scientific Agroengineering Center VIM, senior researcher of the laboratory of bioenergy and supercritical technologies, candidate of technical sciences.

Education: Moscow state University of railway engineering (МИИТ) 2009, engineer.

Research area: renewable energy, anaerobic digestion of animal waste, biogas production from biomass heat and power plants, heat and mass transfer.

Publications: 54.

Введение

Отрицательное воздействие человеческой деятельности на окружающую среду связано не только с возрастающим потреблением природных ресурсов, но и, в большей степени, с образованием жидких и твердых отходов предприятий сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности [1, 2]. В последние годы внимание общества всё более привлекается к решению двух неразрывно связанных проблем – предотвращению истощения природных ресурсов и охране окружающей среды от антропогенного загрязнения. Быстрое расходование запасов природного топлива, ограничение строительства гидро- и атомных электростанций вызвали интерес к применению возобновляемых источников энергии, в том числе огромных масс органических отходов, образующихся в сельском хозяйстве, промышленности, городском коммунальном хозяйстве. В связи с этим использование методов биологической конверсии органических отходов с получением биогаза и высококачественных органических удобрений при одновременном решении ряда вопросов охраны окружающей среды от загрязнения является весьма перспективным. [3, 4]

Возникновение и обострение экологических проблем, связанных с утилизацией навоза на животноводческих фермах, рост цен на отдельные энергоресурсы обусловили значительный интерес к использованию технологии анаэробного сбраживания навоза, при которой обеспечивается его обезвреживание, сохранение удобрительных свойств и получение энергии в виде биогаза. [5] Отходы животноводства могут быть анаэробно переработаны с получением биогаза [6].

Годовое потребление отходов животноводства для производства составляет около 240 тыс. м³ в год, что составляет 0,17% от общего объема навоза, производимого на российских сельскохозяйственных предприятиях. Такой незначительный объем утилизации отходов животноводства представляет серьезную проблему для сельского хозяйства и экологии.

Низкая вместимость хранилищ навоза, а также отсутствие сельскохозяйственных угодий в ряде хозяйств приводит к тому, что во многих хозяйствах объем навоза превышает объем хранилищ навоза в 1,5-2 и более раз. В результате фермы вынуждены размещать навоз на неподготовленных участках, где он загрязняет водоемы и земли вокруг хранилищ навоза, а также приводит к конфликтам с местным населением и контролирующими организациями. В будущем поголовье скота в сельскохозяйственных организациях будет постоянно увеличиваться и, следовательно, количество получаемого навоза будет увеличиваться [7].

Таким образом, в настоящее время фактическое использование органических отходов, потенциально пригодных для производства биогаза, на 2-3 порядка ниже, чем имеющийся потенциал для органических отходов.[7]

В настоящее время водородная энергетика приобретает огромную популярность в мире в связи с проблемой истощения невозобновляемых источников энергии – углеводородов, и экологического загрязнения, вызванного их растущим потреблением [8, 9].

Имея практически нулевые или нулевые конечные выбросы и постоянно пополняемые ресурсы, водород может быть идеальным устойчивым энергоносителем [10-12]. Особую перспективу представляет темновой процесс получения водородсодержащего биогаза при переработке органических отходов в анаэробных условиях, который позволяет использовать преимущества, как производства энергии, так и решения проблемы утилизации органических отходов. При сравнимой скорости генерации и стоимости биоводорода, темновой процесс, в отличие от светозависимого, не столь требователен к составу, и главное к микробиологической чистоте используемого субстрата, что очень важно при переработке комплексных и далеко не стерильных органических отходов, например таких, как стоки различных производств, осадки сточных вод (ОСВ) и др. [13-16].



Таблица обозначений	
Буквы латинского алфавита	
<i>A</i>	Зольность
<i>c</i>	Теплоемкость
<i>d</i>	суточная доза загрузки реактора
<i>E</i>	удельные затраты электрической энергии на собственные нужды
<i>F</i>	площадь ограждающих поверхностей реактора
<i>G</i>	удельная объемная (на 1 м ³ реактора) подача/расход
<i>hrt</i>	гидравлическое время удержания
<i>k</i>	коэффициент теплопередачи ограждающих поверхностей реактора
<i>LHV</i>	низшая теплотворная

	способность
<i>m</i>	массовый расход произведенного водорода
<i>Q</i>	удельный расход тепловой энергии
<i>RH</i>	реактор темновой ферментации
<i>RM</i>	реактор метаногенной стадии
<i>t</i>	Температура
<i>V</i>	объем реактора
<i>VS</i>	содержание органических веществ
<i>W</i>	Влажность
Буквы греческого алфавита	
<i>η</i>	энергетическая эффективность
<i>ρ</i>	Плотность
<i>φ</i>	степень разложения
Верхние индексы	
<i>H</i>	темновой ферментации
<i>M</i>	метаногенной стадии

Нижние индексы	
bg	Биогаз
C	компенсация теплотерьер от ограждающих конструкций и трубопроводов реактора
d	суточная доза загрузки реактора

eff	Эффлюент
H_2	Водород
in	затраченная на процесс
is	исходный субстрат
O	наружного воздуха
ON	собственные нужды

1. Цель работы

Заключается в разработке энергетического баланса системы двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метансодержащих биогазов и проведении на его основе энергетического анализа системы.

2. Материальный и энергетический баланс системы двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метансодержащих биогазов

Для проведения экспериментальных исследований по получению водород- и метансодержащих биогазов из жидких органических отходов в лаборатории биоэнергетических и сверхкритических установок ФГБНУ ФНАЦ ВИМ была разработана лабораторная установка с увеличенным объемом реакторов, работающих в непрерывном режиме. [17, 18]



a



b

Рис. 1. Общий вид лабораторной установки для получения водород- и метансодержащих биогазов из жидких органических отходов

a - реактор темновой ферментации RH; b - реакторы метаногенной стадии RM

Fig. 1. General view of the laboratory plant for producing hydrogen- and methane-containing biogas from liquid organic waste

a - dark fermentation reactor RH; b - methanogenic stage reactors RM

3. Материальный баланс

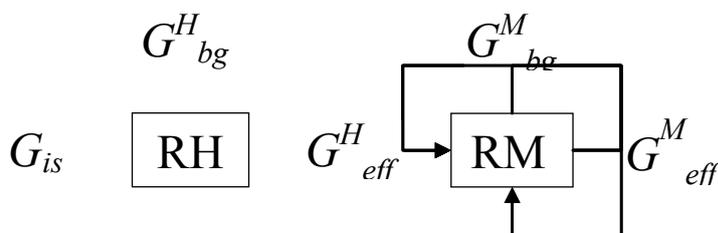


Рис. 2. Блок-схема материального баланса системы двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метансодержащих биогазов

Fig. 2. The block diagram of the material balance of the system of two-stage anaerobic processing of liquid organic waste to produce hydrogen and methane-containing biogas



Общий вид материального баланса системы двух-стадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метансодержащих биогазов выглядит следующим образом:

$$G_{is} = G_{eff}^M + G_{bg}^H + G_{bg}^M ; \quad (1)$$

где G_{is} – удельная объемная (на 1 м³ реактора) подача исходного субстрата в реактор темнового брожения для получения биогаза (RH), м³/(м³·сут);

G_{eff}^M – удельный объемный выход анаэробно обработанного субстрата (эффлюента) из реактора метаногенной стадии, м³/(м³·сут);

G_{bg}^H – удельный объемный выход водородсодержащего биогаза, м³/(м³·сут)

G_{bg}^M – удельный объемный выход метансодержащего биогаза, м³/(м³·сут)

При этом удельная объемная подача исходного субстрата в реактор RH составляет

$$G_{is} = \frac{d}{V^H} \cdot \frac{(W_{is} + A_{is} + VS_{is})}{100} = \frac{1}{hrt^H} ; \quad (2)$$

где d – суточная доза загрузки реактора, м³/сут [3, 19];

V^H – объем реактора RH, м³;

W_{is} – влажность исходного субстрата, %;

A_{is} – зольность исходного субстрата, %;

4. Энергетический баланс

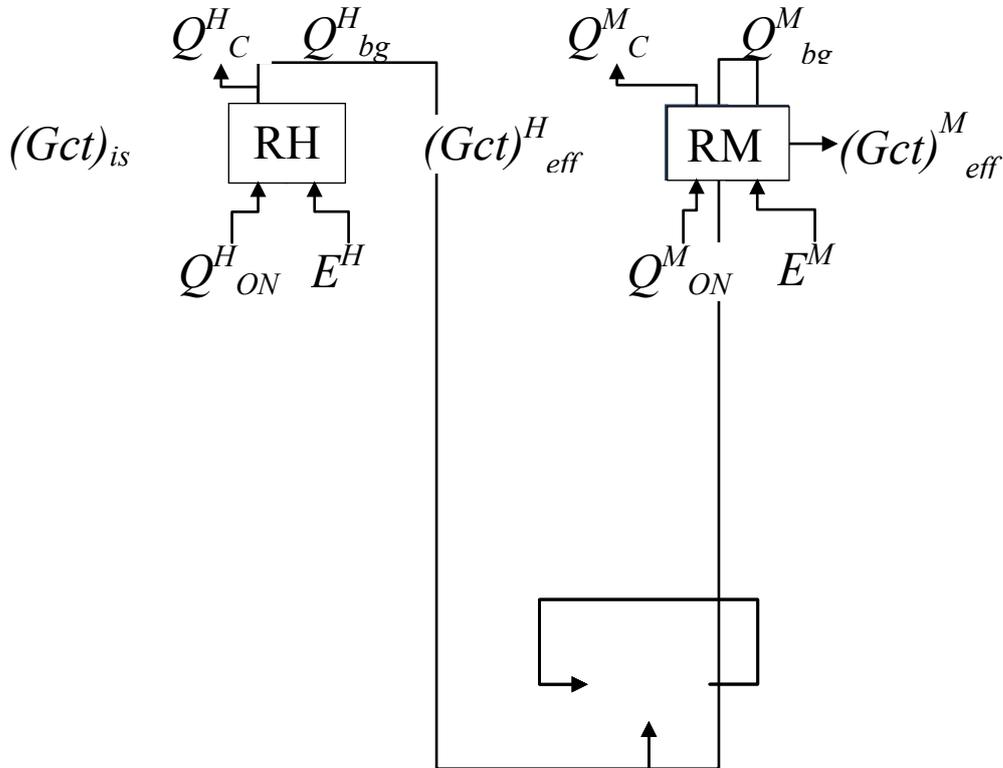


Рис. 3. Блок-схема энергетического баланса системы двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метансодержащих биогазов

Fig. 3. The block diagram of the energy balance of the system of two-stage anaerobic processing of liquid organic waste with the production of hydrogen and methane-containing biogas

VS_{is} – содержание органического вещества в исходном субстрате, %;

hrt^H – гидравлическое время удержания в реакторе RH, сут.

Гидравлическое время удержания (hydraulic retention time, hrt) - средняя продолжительность времени, при котором жидкости и растворимые соединения остаются в реакторе. Увеличение hrt способствует более длительному контакту микроорганизмов и субстрата, но требует более медленной подачи сырья (загрузки реактора) и/или большего объема реактора. [20]

Удельный объемный выход водородсодержащего биогаза равен:

$$G_{bg}^H = \frac{1}{hrt^H} \cdot \frac{VS_{is}}{100} \cdot \varphi^H ; \quad (3)$$

где φ^H – степень разложения органического вещества в реакторе RH.

Удельный объемный выход метансодержащего биогаза равен:

$$G_{bg}^M = \frac{d}{V^H} \cdot \frac{VS_{is}}{100} \cdot (1 - \varphi^H) \cdot \varphi^M ; \quad (4)$$

где φ^M – степень разложения органического вещества в реакторе RM.



Общий вид энергетического баланса системы двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метаносодержащих биогазов выглядит следующим образом:

$$(Gct)_{is} + Q_{ON}^H + Q_{ON}^M + E^H + E^M = Q_C^H + Q_C^M + (Gct)_{eff}^M + Q_{bg}^H + Q_{bg}^M \quad (5)$$

где $(Gct)_{is}$ – удельное количество тепловой энергии, вносимой в реактор RH с исходным субстратом, кВт·ч/(м³·сут);

$Q_{ON}^{H(M)}$ – удельные затраты тепловой энергии на собственные нужды реактора RH (RM), кВт·ч/(м³·сут);

$E^{H(M)}$ – удельные затраты электрической энергии на собственные нужды реактора RH (RM), кВт·ч/(м³·сут);

$Q_C^{H(M)}$ – удельный расход тепловой энергии на компенсацию теплопотерь от ограждающих конструкций и трубопроводов реактора RH (RM), кВт·ч/(м³·сут);

$Q_{bg}^{H(M)}$ – удельное количество тепловой энергии, теряемой с выработанным в реакторе RH (RM) биогазом, кВт·ч/(м³·сут);

$(Gct)_{eff}^M$ – удельное количество тепловой энергии, удаляемой из реактора RM с выгружаемым обработанным субстратом, кВт·ч/(м³·сут) кВт·ч/(м³·сут).

Для функционирования реактора RH (RM) необходимо затратить тепловую энергию в количестве, равной:

$$Q_{ON}^{H(M)} = Q_d^{H(M)} + Q_C^{H(M)} + Q_{bg}^{H(M)}; \quad (6)$$

где $Q_d^{H(M)}$ – удельный расход тепловой энергии на нагрев суточной дозы субстрата до температуры анаэробной обработки в реакторе RH (RM), кВт·ч/(м³·сут).

Удельный расход теплоты на нагрев исходного субстрата определяется как

$$Q_d^H = \frac{c_{is} \rho_{is} (t^H - t_{is})}{3600} \cdot \frac{1}{hrt^H}; \quad (7)$$

где c_{is} – теплоемкость исходного субстрата, кДж/(кг·°C);

ρ_{is} – плотность исходного субстрата, кг/м³;

t^H – конечная температура нагрева исходного субстрата, °C;

t_{is} – температура исходного субстрата, °C.

Поскольку в системе двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метаносодержащих биогазов реакторы RH и RM расположены последовательно по потоку субстрата и в них поддерживается термофильный температурный режим ($t^H \geq t^M$), то расход

энергии на нагрев суточной дозы субстрата до температуры анаэробной обработки в реакторе RM будет равен 0.

Удельный расход теплоты, необходимый для компенсации теплопотерь через ограждающие поверхности реактора RH (RM) при среднегодовой температуре наружного воздуха

$$Q_C^{H(M)} = \frac{k^{H(M)} \cdot F^{H(M)} \cdot (t^{H(M)} - t_o) \cdot 24}{1000 \cdot V^{H(M)}}; \quad (8)$$

где $k^{H(M)}$ – коэффициент теплопередачи ограждающих поверхностей реактора RH (RM), Вт/(м²·°C);

$F^{H(M)}$ – площадь ограждающих поверхностей реактора RH (RM), м²;

$t^{H(M)}$ – температура субстрата в реакторе RH (RM), °C;

t_o – температура наружного воздуха, °C;

Площадь ограждающих поверхностей гидролизера зависит от его геометрических параметров.

Удельное количество тепловой энергии, теряемой с выработанным в реакторе RH (RM) биогазом [кВт·ч/(м³·сут)] определяется как

$$Q_{bg}^{H(M)} = \frac{c_{bg}^{H(M)} \cdot C_{bg}^{H(M)} \cdot (t^{H(M)} - t_o)}{3600}; \quad (9)$$

где $C_{bg}^{H(M)}$ – теплоемкость биогаза, выработанного в реакторе RH (RM), кДж/(м³·°C).

Удельные затраты электрической энергии на собственные нужды реакторов необходимы для функционирования электрооборудования (перемешивающие устройства) реакторов.

5. Энергетический анализ системы двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метаносодержащих биогазов

В результате проведенных экспериментальных исследований на лабораторной установке с реакторами повышенного объема, работающими в непрерывном режиме, были получены следующие данные:

- оптимальные значения гидравлического времени удержания в реакторе темного брожения для получения биоводорода (hrt^H);
- значения гидравлического времени удержания в реакторе метаногенной стадии (hrt^M) при оптимальных значениях hrt^H ;
- значения удельного объемного выхода биоводорода
- значения удельного объемного выхода биогаза из реактора метаногенной стадии.

Экспериментальные данные приведены в таблице 1.



Параметр	Значение			
Гидравлическое время удержания в реакторе темного брожения для получения биоводорода (hrt^H), сут	3	2,5	2	1
Гидравлическое время удержания в реакторе метаногенной стадии (hrt^M), сут	8			
Удельный объемный выход водородсодержащего биогаза (G_{bg}^H), $m^3/(m^3 \cdot сут)$	1,44	2,346	2,08	2,98
Удельный объемный выход биоводорода (G_g^H), $m^3/(m^3 \cdot сут)$	0,69	1,22	1,06	1,55
Удельный объемный выход метансодержащего биогаза (G_{bg}^M), $m^3/(m^3 \cdot сут)$	1,383	1,383	1,383	1,438
Удельный объемный выход биометана (G_g^M), $m^3/(m^3 \cdot сут)$	0,803	0,802	0,803	0,805

В качестве примера была выбрана система двух-стадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метансодержащих биогазов с реакторами блочно-модульной конструкции. Объем одного реактора составляет 60 м³. При выбранных гидравлических временах удержания в реакторах на один реактор RH объемом 60 м³ потребуется от трех до восьми реакторов RM общим объемом 180 - 480 м³. [21]

Эффективность определяется как полезный результат, отнесенный к затраченной энергии. Энергоэффективность способа получения водорода может быть рассчитана как [10]:

$$\eta = \frac{m \cdot LHV_{H_2}}{E_{in}}, \quad (10)$$

где m – массовый расход произведенного водорода;

LHV_{H_2} – низшая теплотворная способность водорода;

E_{in} – затраты энергии на процесс. [10]

Результаты энергетического анализа, проведенного расчетным методом, на основе формул, приведенных в разделе 3 данной работы, а также экспериментальных данных, полученных на лабораторной установке с реакторами с повышенным объемом, показаны в таблице 2 и на рисунках 4, 5.

Таблица 2

Результаты энергетического анализа системы с объемом реакторов 60 м³

Table 2

Results of energy analysis of a system with a reactor volume of 60 m³

Параметр	Значение			
Гидравлическое время удержания в реакторе темного брожения для получения биоводорода (hrt^H), сут	3	2,5	2	1
Суточный выход водородсодержащего биогаза, м ³ /сут	86,4	140,76	124,8	178,8
Суточный выход биоводорода, м ³ /сут	41,4	73,2	63,6	93
Суточный выход метансодержащего биогаза, м ³ /сут	248,94	331,92	331,92	690,24
Суточный выход биометана, м ³ /сут	144,54	192,48	192,72	386,4
Затраты тепловой энергии на собственные нужды реактора RH, кВт*ч/сут:	1012,4	1211,24	1507,49	2991,48
- расход теплоты на нагрев исходного субстрата, кВт*ч/сут	988,6	1186,32	1482,9	2965,79
- расход теплоты, необходимый для компенсации теплопотерь через ограждающие поверхности реактора, кВт*ч/сут	22,04	22,04	22,04	22,04
- количество тепловой энергии, теряемой с выработанным в реакторе биогазом, кВт*ч/сут	1,76	2,88	2,55	3,65
Затраты тепловой энергии на собственные нужды реакторов RM, кВт*ч/сут:	69,18	92,24	92,24	185,13

Параметр	Значение			
- расход теплоты, необходимый для компенсации теплопотерь через ограждающие поверхности реакторов, кВт*ч/сут	63,16	84,21	84,21	168,42
- количество тепловой энергии, теряемой с выработанным в реакторах биогазом, кВт*ч/сут	6,02	8,03	8,03	16,71
Затраты электрической энергии на собственные нужды реактора РН, кВт*ч/сут	20	20	20	25
Затраты электрической энергии на собственные нужды реакторов РМ, кВт*ч/сут	45	60	60	120
Затраты электрической энергии на производство водородсодержащего биогаза, кВт*ч/м ³	0,752	0,568	0,641	0,811
Затраты электрической энергии на производство водорода, кВт*ч/м ³	1,57	1,093	1,258	1,559
Удельные затраты электрической энергии на производство биоводорода, (Вт*ч/м ³)/(м ³ /сут)	37,6	23,7	21,4	13,5
Удельные затраты электрической энергии на производство водорода, (Вт*ч/м ³)/(м ³ /сут)	78,5	45,5	41,9	26
Энергетическая эффективность η	1,91	2,74	2,38	1,92

Таким образом, применение системы двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метансодержащих биогазов с гидравлическим временем удержания в реакторе темновой ферментации 2,5 суток позволяет получать 140,7 м³/сут водородсодержащего биогаза с содержанием водорода не менее 52% при условии использования всего выработанного метансодержащего биогаза в котельной для компенсации затрат тепловой энергии на собственные нужды реакторов. При этом необходимо затратить 0,568 кВт*ч электроэнергии на 1 м³ водородсодержащего биогаза.

В работе [22] показано, что производство водорода в процессе двухстадийной ферментации происходило с выделением большего количества энергии, чем в процессе одностадийной ферментации. При этом извлечение энергии в процессе двухстадийной ферментации выше, чем в процессе одностадийной ферментации на 18%.

В работе [23] при паровой конверсии метана затрачивалось 1,628 кВт*ч электроэнергии и 0,33 м³ метана на 1 м³ водорода.

Известно, что для получения водорода прямым электролизом необходимо затратить 4 кВт*ч электроэнергии на 1 м³ водорода, в то время как для получения водорода в процессе двухстадийной ферментации необходимо затратить 1,56-1,1 кВт*ч электроэнергии на 1 м³ водорода в зависимости от гидравлического времени удержания в анаэробном био-реакторе темновой ферментации (таблица 2, рисунок 4).

В работе [24] проведено сравнение энергетической эффективности различных способов получения водорода. Согласно формуле, приведенной в [10], энергетическая эффективность предлагаемой системы составляет 2,74, что выше, чем у ряда известных методов [24-32].

На рисунке 4 представлена зависимость затрат электроэнергии на 1 м³ водородсодержащего биогаза и водорода, а также энергетическая эффективность от гидравлического времени удержания в реакторе темновой ферментации.

Однако, следует отметить, что применение системы двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метансодержащих биогазов направлено не только на производство водорода, но и на переработку отходов. Таким образом для оценки энергетической эффективности системы необходимо учитывать не только прямые затраты энергии на 1 м³ произведенного водорода, но и затраты электроэнергии, учитывающие скорость переработки отходов.

На рисунке 5 показана зависимость затрат электроэнергии на 1 м³ водородсодержащего биогаза, отнесенных к скорости анаэробной переработки жидких органических отходов, а также энергетическая эффективность от гидравлического времени удержания в реакторе темновой ферментации.

Как видно из рисунка 5 удельные затраты электроэнергии минимальны при hgt^H 1 сутки в рассматриваемом диапазоне гидравлических времен удержания.



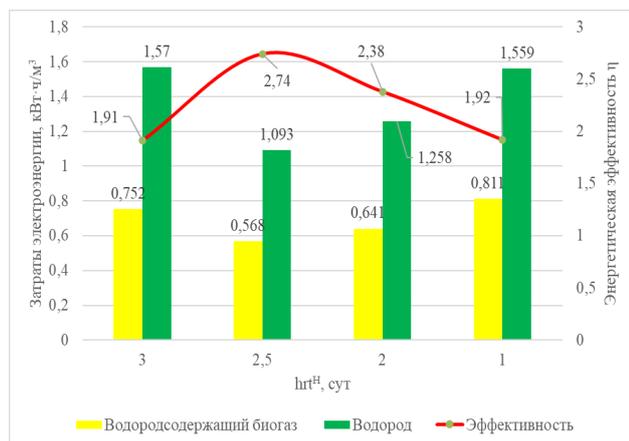


Рис. 4. Зависимость затрат электроэнергии от гидравлического времени удержания в реакторе темновой ферментации

Fig. 4. The dependence of energy costs on the hydraulic retention time in the dark fermentation reactor

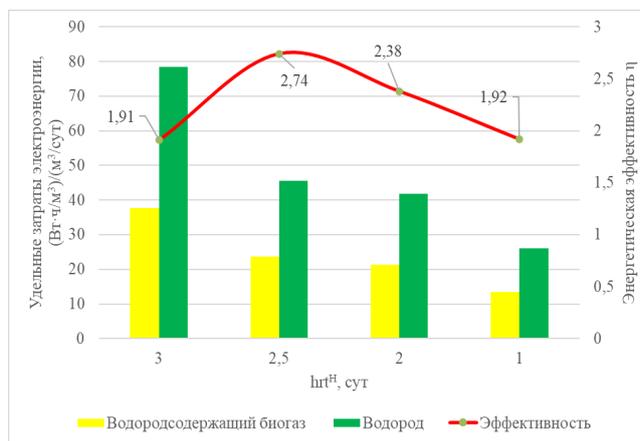


Рис.5. Зависимость удельных затрат электроэнергии (на скорость обработки отходов) от гидравлического времени удержания в реакторе темновой ферментации

Fig. 5. The dependence of the specific cost of electricity from the hydraulic retention time in the dark fermentation reactor

Заключение

В работе проведен энергетический анализ системы двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метансодержащих биогазов на основе экспериментальных данных, полученных на лабораторной установке с реакторами с повышенным объемом. Энергетическая эффективность системы находится в пределах 1,91-2,74. При этом максимальная энергоэффективность наблюдалась при гидравлическом времени удержания в реакторе темновой ферментации 2,5 суток.

Анализируя эффективность способов получения водорода, можно сказать, что система двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метансодержащих биогазов более эффективна с энергетической точки зрения, чем ряд известных методов.

Затраты электроэнергии на производство 1 м³ водорода составили 1,093 кВт*ч при гидравлическом времени удержания в реакторе темновой ферментации 2,5 суток.

Рассматривая систему с точки зрения скорости переработки жидких органических отходов, можно сказать, что наиболее эффективным является время гидравлического удержания в реакторе темновой ферментации 1 сутки, поскольку удельные затраты электроэнергии на производство 1 м³ водорода были минимальными в рассматриваемом диапазоне hrt, и составили 26 (Вт/м³ водорода)/(м³ отходов/сут).

Таким образом, система двухстадийной анаэробной переработки жидких органических отходов с получением водород- и метансодержащих биогазов является энергетически эффективным способом как получения водорода, так и переработки органических отходов.

Благодарности:

Исследование выполнено при финансовой поддержке ФГБУ «Российский фонд фундаментальных исследований» в рамках научного проекта № 18-29-25042.

Список литературы

- Izmaylov A. Yu., Lobachevskiy Ya. P., Fedotov, A. V., Grigoryev V. S., Tsench Yu. S. Adsorption-oxidation Technology of Wastewater Recycling in Agroindustrial Complex Enterprises. Vestnik mordovskogo universiteta = Mordovia University Bulletin. 2018;28(2):207–221. <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201802.207-221>
- Artamonov, A.V. & Izmailov, A.Yu & Kozhevnikov, Yu.A. & Kostyakova, Yu.Yu & Lobachevsky, Ya.P. & Pashkin, S.V. & Marchenko, O.S. Effective purification of concentrated organic wastewater from agro-industrial enterprises, problems and methods of solution. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 2018;49:49-53.
- Гюнтер, Л.И. Метантенки / Л.И. Гюнтер, Л.Л. Гольдфарб. – М.: Стройиздат, 1991. – 128 с.
- Ковалев А.А. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок. Дис. ... канд. техн. наук. М., 2014.
- Ковалев А.А. Технологии и технико-энергетическое обоснование производства биогаза в системах утилизации навоза животноводческих ферм. Дис. док. техн. наук. М., 1998
- ГОСТ Р 53765-2009. Сырье для производства органических удобрений. Технические условия. – Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартинформ, 2010.– 11 с.
- Namsaraev, Z. Analysis of the resource potential of biogas production in the Russian Federation / Z. Namsaraev, Yu. Litti, A. Nozhevnikova // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. - № 1111. – С. 1–5. doi:10.1088/1742-6596/1111/1/012012

8. Дли, М.И. ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ / М.И. Дли, А.А. Балябина, Н.В. Дроздова // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2015. – №22. – С. 37–41.

<https://doi.org/10.15518/isjaee.2015.22.004>

9. Раменский, А.Ю. ВОДОРОД В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА: ПРЕДМЕТ И ЦЕЛИ СТАНДАРТИЗАЦИИ / А.Ю. Раменский // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2015. – №1. – С. 33–44.

<https://doi.org/10.15518/isjaee.2015.01.03>

10. Динсер, И., Акар К. ОБЗОР И ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ДЛЯ БОЛЕЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ / И. Динсер, К. Акар // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2016. – №(11-12). – С. 14-36.

<https://doi.org/10.15518/isjaee.2016.11-12.014-036>

11. Кудрявцев П.Г., Фиговский О.Л. СИСТЕМА ХРАНЕНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДА ДЛЯ СИЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК И АВТОМОБИЛЕЙ. Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2016. – №13-14. С. 46-55.

<https://doi.org/10.15518/isjaee.2016.13-14.046-055>

12. Алмогрэн С., Везироглу Т.Н. СОЛНЕЧНО-ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ САУДОВСКОЙ АРАВИИ. Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2018. – №7-9. – С. 30-42. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2018.07-09.030-042>

13. Синха П., Гаурав К., Рой Ш., Балахандар Г., Дас Д. Повышение выработки биоводорода с помощью новой стратегии аугментации с использованием различных органических остатков. Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2019. – №(34-36). – С.26-40. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2019.34-36.026-040>

14. Голуб, Н.Б. ПОВЫШЕНИЕ ВЫХОДА ВОДОРОДА ПРИ СОВМЕСТНОЙ КОНВЕРСИИ СЫРЬЯ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ / Н.Б. Голуб // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2014. – №19. – С. 53–57.

15. Голуб, Н.Б. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СУБСТРАТА НА ОБРАЗОВАНИЕ ВОДОРОДА В ПРОЦЕССЕ ФЕРМЕНТАЦИИ / Н.Б. Голуб // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2014. – №15. – С. 107–112.

16. Marone, A. Coupling dark fermentation and microbial electrolysis to enhance bio-hydrogen production from agro-industrial wastewaters and by-products in a bio-refinery framework / A. Marone [et al.]. // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – №42 (3). – Pp. 1609–1621.

17. A.A. Kovalev et al. Biohydrogen production in the two-stage process of anaerobic bioconversion of organic matter of liquid organic waste with recirculation of digester effluent, International Journal of Hydrogen Energy. – 2020. – №45(51). – Pp.26831-26839. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.124>.

18. Ковалев А.А., Ковалев Д.А., Литти Ю.В., Катраева И.В. Производство биоводорода в двухстадийном процессе анаэробной биоконверсии органического вещества жидких органических отходов с рециркуляцией эффлюента метантенка. Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2020. – №(7-18). – С.87-100.

<https://doi.org/10.15518/isjaee.2020.07-18.87-100>

19. Ножевникова, А.Н. Биотехнология и микробиология анаэробной переработки органических коммунальных отходов / А.Н.Ножевникова [и др.]. – М.: Университетская книга, 2016. – 320 с.

20. Кевбрина М.В., Николаев Ю.А., Дорофеев А.Г., Ванюшина А.Я., Агарёв А.М. Высокоэффективная технология метанового сбраживания осадка сточных вод с рециклом биомассы. Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – №10. – С. 61.

21. Ковалев, Д.А. Концепция блочно-модульного построения биогазовых установок / Д.А. Ковалев, А.А. Ковалев // Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – 2008. – Т. 4. – С. 461-466.

22. Nathao, C. Production of hydrogen and methane by one and two stage fermentation of food waste / C. Nathao, U. Sirisukpoka, N. Pisutpaisal // International Journal of Hydrogen Energy. – 2013. – №38. – Pp. 15764–15769.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.05.047>

23. Хорасанов, Г.Л. ВОЗМОЖНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА НА БАЗЕ ЭНЕРГОБЛОКА ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ГРАФИКЕ НАГРУЗОК В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ / Г.Л. Хорасанов, В.В. Колесов, В.В. Коробейников // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2016. – №(5-6). – С. 54-58.

<https://doi.org/10.15518/isjaee.2016.05-06.005>

24. Rand, D. A. J. Fuels – Hydrogen Production: Coal Gasification / D. A. J. Rand, R. M. Dell// Encyclopedia of Electrochemical Power Sources. – 2009. – С.276–292.

25. Acar, C. A Review on Selected Heterogeneous Photocatalysts for Hydrogen Production / C. Acar, I. Dincer, C. Zamfirescu // International Journal of Energy Research. – 2014. – №38(15). – С. 1903–1920.

<http://dx.doi.org/10.1002/er.3211>

26. Rabbani, M., Efficiency Assessment of a Photoelectrochemical Chloralkali Process for Hydrogen and Sodium Hydroxide Production / M. Rabbani, I. Dincer, G. F. Naterer // International Journal of Hydrogen Energy. – 2014. – №39. – С. 1941–1956.

27. Acar, C. Analysis and Assessment of a Continuous-Type Hybrid Photoelectrochemical System for Hydrogen Production / C. Acar, I. Dincer // International Journal of Hydrogen Energy. – 2014. – №39. – С. 15362–15372. doi :10.1016/j.ijhydene.2014.07.146.

28. Koutrouli, E. K. Hydrogen and Methane Production through Two-stage Mesophilic Anaerobic Digestion of Olive Pulp / E. K. Koutrouli, [et al.]. // Bioresource Technology. – 2009. – №100. – С. 3718–3723.

29. Das, D. Advances in Biological Hydrogen Production Processes / D. Das, T. N. Veziroglu

//International Journal of Hydrogen Energy. – 2008. – №33. – С. 6046–6057.

30. Hallenbeck, P. C. Strategies for Improving Biological Hydrogen Production / P. C. Hallenbeck, M. Abo-Hashesh, D. Ghosh // *Bioresource Technology*. – 2012. – №110. – С. 1–9.

31. Holladay, J. D. An Overview of Hydrogen Production Technologies / J. D. Holladay [et al.] // *Catalysis Today*. – 2009. – №139. – С. 244–260.

32. Kotay, S. M. Biohydrogen as a Renewable Energy Resource - Prospects and Potentials / S. M. Kotay, D. Das // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2008. – №33. – С. 258–263.

References

1. Izmaylov A. Yu., Lobachevskiy Ya. P., Fedotov, A. V., Grigoryev V. S., Tsench Yu. S. Adsorption-Oxidation Technology of Wastewater Recycling in Agroindustrial Complex Enterprises. *Vestnik mordovskogo universiteta = Mordovia University Bulletin*. 2018;28(2):207–221. <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201802.207-221>

2. Artamonov, A.V. & Izmailov, A.Yu & Kozhevnikov, Yu.A. & Kostyakova, Yu.Yu & Lobachevsky, Ya.P. & Pashkin, S.V. & Marchenko, O.S. Effective purification of concentrated organic wastewater from agro-industrial enterprises, problems and methods of solution. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2018;49:49-53.

3. Gyunter, L.I. Metantengi / L.I. Gyunter, L.L. Gol'dfarb. – M.: Stroizdat, 1991. – 128 s.

4. Kovalev A.A. Povyshenie ehnergeticheskoi ehfektivnosti biogazovykh ustanovok. Dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2014.

5. Kovalev A.A. Tekhnologii i tekhniko-ehnergeticheskoe obosnovanie proizvodstva biogaza v sistemakh utilizatsii navoza zhivotnovodcheskikh ferm. Dis. dok. tekhn. nauk. M., 1998

6. GOST R 53765-2009. Syr'e dlya proizvodstva organicheskikh udobrenii. Tekhnicheskie usloviya. – Vved. 2011-01-01. – M.: Standartinform, 2010. – 11 s.

7. Namsaraev, Z. Analysis of the resource potential of biogas production in the Russian Federation / Z. Namsaraev, Yu. Litt, A. Nozhevnikova // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2018. – № 1111. – S. 1–5. doi:10.1088/1742-6596/1111/1/012012

8. Dli, M.I. VODORODNAYA EHNERGETIKA I PERSPEKTIVY EE RAZVITIYA / M.I. Dli, A.A. Balyabina, N.V. Drozdova // *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal «Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya» (ISJAE)*. – 2015. – №22. – S. 37–41. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2015.22.004>

9. Ramenskii, A.YU. VODOROD V KACHESTVE TOPLIVA: PREDMET I TSELI STANDARTIZATSII / A.YU. Ramenskii// *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal «Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya» (ISJAE)*. – 2015. – №1. – S. 33–44. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2015.01.03>

10. Dinsler, I., Akar K. OBZOR I OTSENKA METODOV PROIZVODSTVA VODORODA DLYA

BOLEE USTOICHIVOGO RAZVITIYA / I. Dinsler, K. Akar // *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal «Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya» (ISJAE)*. – 2016. – №(11-12). – S. 14-36.

<https://doi.org/10.15518/isjaee.2016.11-12.014-036>

11. Kudryavtsev P.G., Figovskii O.L. SISTEMA KHRANENIYA I GENERATSII VODORODA DLYA SI-LOVYKH DVIGATEL'NYKH USTANOVOK I AVTOMOBILEI. *Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya (ISJAE)*. – 2016. – №13-14. S. 46-55.

<https://doi.org/10.15518/isjaee.2016.13-14.046-055>

12. Almogren S., Veziroglu T.N. SOLNECHNO-VODORODNAYA EHNERGETICHESKAYA SISTEMA DLYA SAUDOVSKOI ARAVII. *Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya (ISJAE)*. – 2018. – №7-9. –S. 30-42.

<https://doi.org/10.15518/isjaee.2018.07-09.030-042>

13. Sinkha P., Gaurav K., Roi SH., Balakhandar G., Das D. Povyshenie vyrabotki biovodoroda s pomoshch'yu novoi strategii augmentatsii s ispol'zovaniem razlichnykh organicheskikh ostatkov. *Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya (ISJAE)*. – 2019. – №(34-36). – S.26-40. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2019.34-36.026-040>

14. Golub, N.B. POVYSHENIE VYKHODA VODORODA PRI SOVMESTNOI KONVERSII SYR'YA RAZNOGO PROISKHOZHDENIYA / N.B. Golub // *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal «Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya» (ISJAE)*. – 2014. – №19. – S. 53–57.

15. Golub, N.B. VLIYANIE KONTSENTRATSII SUBSTRATA NA OBRAZOVANIE VODORODA V PROTSESSE FERMENTATSII / N.B. Golub // *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal «Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya» (ISJAE)*. – 2014. – №15. – S. 107–112.

16. Marone, A. Coupling dark fermentation and microbial electrolysis to enhance bio-hydrogen production from agro-industrial wastewaters and by-products in a bio-refinery framework / A. Marone [et al.]. // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2017. – №42 (3). – Rr. 1609–1621.

17. A.A. Kovalev et al. Biohydrogen production in the two-stage process of anaerobic bioconversion of organic matter of liquid organic waste with recirculation of digester effluent, *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2020. – №45(51). – Rr.26831-26839.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.124>

18. Kovalev A.A., Kovalev D.A., Litt YU.V., Katarava I.V. Proizvodstvo biovodoroda v dvukhsta-dinom protsesse anaerobnoi biokonversii organicheskogo veshchestva zhidkikh organicheskikh otkhodov s retsirkulyatsiei ehfflyuenta metantenka. *Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya (ISJAE)*. – 2020. – №(7-18). – S.87-100. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2020.07-18.87-100>

19. Nozhevnikova, A.N. Biotekhnologiya i mikrobiologiya anaerobnoi pererabotki organicheskikh-kommunal'nykh otkhodov / A.N.Nozevnikova [i dr.]. – M.: Universitetskaya kniga, 2016. – 320 s.



20. Kevbrina M.V., Nikolaev YU.A., Dorofeev A.G., Vanyushina A.YA., Agarev A.M. Vysokoeffek-tivnaya tekhnologiya metanovogo sbrachivaniya osadka stochnykh vod s retsiklom biomassy. Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – 2012. – №10. – S. 61.
21. Kovalev, D.A. Kontsepsiya blochno-modul'nogo postoroeniya biogazovykh ustanovok / D.A. Kovalev, A.A. Kovalev // Trudy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii Ehnergoobespechenie i ehnergobezhazhenie v sel'skom khozyaistve. – 2008. – T. 4. – S. 461-466.
22. Nathao, C. Production of hydrogen and methane by one and two stage fermentation of food waste / S. Nathao, U. Sirisukpoka, N. Pisutpaisal // International Journal of Hydrogen Energy. – 2013. – №38. – Rr. 15764–15769.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.05.047>
23. Khorasanov, G.L. VOZMOZHNOST' PROIZVODSTVA VODORODA NA BAZE EHNERGOBLOKA PRI PEREMENNOM GRAFIKE NAGRUZOK V EHNERGOSISTEME / G.L. Khorasanov, V.V. Kolesov, V.V. Korobeinikov // Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal «Alternativnaya ehnergetika i ehkologiya» (ISJAE). – 2016. – №(5-6). – S. 54-58.
<https://doi.org/10.15518/isjaee.2016.05-06.005>
24. Rand, D. A. J. Fuels – Hydrogen Production: Coal Gasification / D. A. J. Rand, R. M. Dell // Encyclopedia of Electrochemical Power Sources. – 2009. – S.276–292.
25. Acar, C. A Review on Selected Heterogeneous Photocatalysts for Hydrogen Production / C. Acar, I. Dincer, C. Zamfirescu // International Journal of Energy Research. – 2014. – №38(15). – S. 1903–1920.
<http://dx.doi.org/10.1002/er.3211>
26. Rabbani, M., Efficiency Assessment of a Photoelectrochemical Chloralkali Process for Hydrogen and Sodium Hydroxide Production / M. Rabbani, I. Dincer, G. F. Naterer // International Journal of Hydrogen Energy. – 2014. – №39. – S. 1941–1956.
27. Acar, C. Analysis and Assessment of a Continuous-Type Hybrid Photoelectrochemical System for Hydrogen Production / C. Acar, I. Dincer // International Journal of Hydrogen Energy. – 2014. – №39. – S. 15362–15372. doi :10.1016/j.ijhydene.2014.07.146.
28. Koutrouli, E. K. Hydrogen and Methane Production through Two-stage Mesophilic Anaerobic Digestion of Olive Pulp / E. K. Koutrouli, [et al.] // Bioresource Technology. – 2009. – №100. – S. 3718–3723.
29. Das, D. Advances in Biological Hydrogen Production Processes / D. Das, T. N. Veziroglu // International Journal of Hydrogen Energy. – 2008. – №33. – S. 6046–6057.
30. Hallenbeck, P. C. Strategies for Improving Biological Hydrogen Production / P. C. Hallenbeck, M. Abo-Hashesh, D. Ghosh // Bioresource Technology. – 2012. – №110. – S. 1–9.
31. Holladay, J. D. An Overview of Hydrogen Production Technologies / J. D. Holladay [et al.] // Catalysis Today. – 2009. – №139. – S. 244–260.
32. Kotay, S. M. Biohydrogen as a Renewable Energy Resource - Prospects and Potentials / S. M. Kotay, D. Das // International Journal of Hydrogen Energy. – 2008. – №33. – S. 258–263.

Транслитерация по BSI



Китай ждет пика спроса на нефтепродукты в 2025 году

Крупнейшая нефтеперерабатывающая компания Китая Sinopec ожидает, что пик спроса на нефтепродукты в стране придется на 2025 год на фоне последствий пандемии коронавируса и роста числа электромашин.

Соответствующий прогноз опубликован в годовом отчете корпорации, сообщает Argus.

«Нефтепродукты Китая войдут в заключительную фазу роста, прежде чем достигнут пика в следующие пять лет», — заявил институт исследований экономики и развития (EDRI) Sinopec. При этом если пик спроса на бензин прогнозируется на 2025 год, то на дизельное топливо — уже на 2021 год. Как прогнозирует институт, в 2020 году потребление нефтепродуктов в Китае снизится на 7%.

Вместе с тем, китайские НПЗ в этом году сохранят объемы переработки нефти — 13,4 млн баррелей в сутки.

А к 2025 году Китай должен нарастить мощности НПЗ до почти 20 млн баррелей в сутки с 18 млн баррелей, рассчитывает компания. Пандемия не должна помешать этим планам.

globalenergyprize.org

