

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

«Қ.Тұрысов атындағы геология және мұнай-газ ісі» институты

«Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасы

Зеинова Әдемі Ерғазықызы

«Органикалық қалдықтарды өңдеу және биогаз өндіру кезіндегі метаногенез процестерін математикалық жоспарлау және оңтайландыру»

**ДИПЛОМДЫҚ ЖОБА**

6B050101 – «Химиялық және биохимиялық инженерия» мамандығы

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

«Қ.Тұрысов атындағы геология және мұнай-газ ісі» институты

«Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

«ХжБИ» кафедрасы

PhD доктор

Амитова А.А

« 02 » 06 2023ж.

Дипломдық жобаға  
**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

Тақырыбы: «Органикалық қалдықтарды өңдеу және биогаз өндіру кезіндегі метаногенез процестерін математикалық жоспарлау және оңтайландыру»

6B050101 – «Химиялық және биохимиялық инженерия» мамандығы

Орындаған

Зеинова Ә.Е

т.ғ.д.,ҚазҰУ тұрақты даму  
бойынша ЮНЕСКО  
кафедрасының доцент м.а. Әл-  
Фараби Жуф Курбанова Л.С

« 02 » 06 2023ж.

а.ш.ғ.к доцент, ассоц Профессор

Жуф Джамалова Г.А

« 02 » 06 2023ж.

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

«Қ.Тұрысов атындағы геология және мұнай-газ ісі» институты

«Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасы

5В070100 – «Биотехнология»

**БЕКІТЕМІН**

Кафедра меңгерушісі

«ХжБИ» кафедрасы

PhD доктор

Амитова А.А

“02” 06 2022ж.

Дипломдық жоба орындауға  
ТАПСЫРМА

Білім алушы Зеинова Әдемі Ерғазықызы

Тақырыбы: “ Органикалық қалдықтарды өңдеу және биогаз өндіру кезіндегі метаногенез процестерін математикалық жоспарлау және оңтайландыру ”

Университет Ректорының 2022 жылғы № бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2023 жылғы “16” мамыр

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі

а) Кіріспе ғылыми әдебиеттерге шолуға негізделген.

б) Математикалық жоспарлау әдістерін қолдана отырып биореактордағы метогенезге әсер ететін факторларды есептеу және зерттеу.

в) Органикалық қалдықтарды өңдеудегі метаногенездің ерекшеліктерін зерттеуге арналған теориялық зерттеулер жүргізілді.

Жұмыста 8 слайд ұсынылды. 49 әдеби ғылыми дереккөздер зерттелді.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

**ОТЗЫВ**

**НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

**ЗЕИНОВА ӘДЕМІ ЕРҒАЗЫҚЫЗЫ**

**В05101 Химическая и биохимическая инженерия**


Тема: Математическое планирование и оптимизация метаногенеза при переработке органических отходов пищевой промышленности и производства биогаза

Дипломная работа Зеинова Ә.Е посвящена расчетным исследованиям по математическому планированию и оптимизации метаногенеза при переработке органических отходов пищевой промышленности и производстве биогаза.

В работе представлен общий обзор и в сравнительном аспекте предлагаются способы переработки органических отходов пищевой промышленности. Методом математического планирования и оптимизации процесса метаногенеза показано, что на производство биогаза, в частности, на метаногенез влияют такие факторы как температура; рН; скорость органической загрузки; летучие жирные кислоты; соотношение C/N, которые в комплексе при оптимальных условиях позволяют повысить выход метана в составе биогаза. Существенных замечаний и недостатков в работе нет.

Дипломная работа полностью отвечает требованиям, предъявляемым к выпускным работам образовательно-квалификационного уровня «бакалавр техники и технологий», по ОП «В05101 Химическая и биохимическая инженерия», к защите допускается, рекомендованная оценка «отлично» 93 %.

**Научный  
руководитель**  
Канд.с/х наук, Доцент,  
Ассоцированный  
Профессор



 Джамалова Г.А

«02» 06 . 2023г.

Дипломдық жобаны дайындау  
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе.Әдебиеттік шолу	06.02.2023	орындалды
Зерттеу материалдары мен әдістемесі	30.04.2023	орындалды
Зерттеу нәтижелері. Қорытынды және тұжырым	02.05.2023	орындалды

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен  
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған  
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Негізгі бөлім	Г.А.Джамалова а.ш.ғ.к доцент,ассоц профессор		02.05.23
Норма бақылау	Г.А.Джамалова а.ш.ғ.к доцент,ассоц профессор		02.06.23

Ғылыми жетекші

 Джамалова Г.А

Тапсырманы білім  
Алушы орындауға қабылдады

\_\_\_\_\_ Зеинова Ә.Е

Күні

" " \_\_\_\_\_ 2023 ж.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

**РЕЦЕНЗИЯ**

НА ДИПЛОМНУЮ РАБОТУ

ЗЕИНОВА ӘДЕМІ ЕРҒАЗЫҚЫЗЫ

В05101 Химическая и биохимическая инженерия

Тема: Математическое планирование и оптимизация метаногенеза при переработке органических отходов пищевой промышленности и производства биогаза

Выполнено:

- а) графическая часть оформлена на 6 листах.
- б) пояснительная записка оформлена на 27 страницах.

**Замечания к работе**

Дипломная работа выполнена на актуальную тему, проведены теоретические и расчетные исследования. Методом математического планирования найдены оптимальные решения по оптимизации процессов метаногенеза при переработке органических отходов пищевой промышленности.

Работа состоит из введения, основной части и списка использованной литературы. В работе методом математического моделирования были выполнены расчеты по изучению влияния на процесс метаногенез четырех рассматриваемых факторов. На основе этих факторов были предложены оптимальные решения для производства обогащенного метаном биогаза.

Замечаний к работе нет.

**Оценка работы**

Зеинова Әдемі достойна получить степень бакалавра техники и технологий по специальности В050101-«Химическая и биохимическая инженерия». Дипломная работа оценивается на «отлично».

**Рецензент**

к.т.н., и.о. доцента  
кафедры ЮНЕСКО по  
устойчивому развитию  
КазНУ им. Аль-Фараби



Курбанова Л.С

«02» 06 . 2023г.

## АНДАТПА

Максат. Органикалық қалдықтарды өңдеу және биогаз өндіру кезіндегі метаногенез процестерін математикалық жоспарлау және оңтайландыру.

Кілт сөздер: тамақ қалдықтары, микроорганизм, биогаз.

Зерттеу нысаны: органикалық қалдықтар.

Алынған нәтижелер:

1. Органикалық қалдықтарды өңдеу кезінде метаногенездің ерекшеліктерін зерттеу бойынша теориялық зерттеулер жүргізілді. 49 әдеби ғылыми дереккөз зерттелді.

2. Органикалық қалдықтарды өңдеу кезінде метаногенез процесіне және биогаз құрамындағы метан шығымдылығын арттыруға абиотикалық (ылғалдылық, температура, рН) және биотикалық (ЖМС) факторлар зерттелді.

3. Органикалық қалдықтарды өңдеу кезінде биогаз құрамындағы метанның шығымдылығын арттыруға қарастырылатын факторлардың оңтайлы мәндері айқындалды.

Дипломдық жұмыс компьютерлік мәтін беттерінде ресімделген, кіріспеден ( 5 бет), үш тараудан тұрады - әдебиеттерге шолу ( 6 бет), зерттеу материалдары мен әдістемесі ( 6 бет), зерттеу нәтижелері (18 бет) және қорытынды ( 18 бет), суреттерді, кестелерді қамтиды. Библиографияда ғылыми әдебиеттер көздеріне сілтемелер бар.

## АННОТАЦИЯ

Цель. Математическое планирование и оптимизация процессов метаногенеза при переработке органических отходов и производства биогаза.

Ключевые слова: пищевые отходы, микроорганизм, биогаз.

Объект исследования: органические отходы.

Полученные результаты:

1. Проведены теоретические исследования по изучению особенностей метаногенеза при переработке органических отходов. Изучено 49 литературных научных источников.

2. Изучены абиотические (влажность, температура, pH) и биотические (ОМЧ) факторы на процесс метаногенеза и увеличения выхода метана в составе биогаза при переработке органических отходов.

3. Определены оптимальные значения рассматриваемых факторов на увеличение выхода метана в составе биогаза при переработке органических отходов.

Дипломная работа оформлена на страницах компьютерного текста, состоит из введения ( 5.), трех глав - обзор литературы ( 6 стр.), материалы и методика исследования ( 6 стр.), результаты исследования (18 стр.) и заключения ( 18 стр.), включает рисунков, таблиц. Библиография содержит ссылки на источники научной литературы.



## ANNOTATION

Goal. Mathematical planning and optimization of methanogenesis processes in the processing of organic waste and biogas production.

Keywords: food waste, microorganism, biogas.

Object of research: organic waste.

The results obtained:

1 Theoretical studies have been conducted to study the features of methanogenesis in the processing of organic waste. 49 literary scientific sources have been studied.

2 Abiotic (humidity, temperature, pH) and biotic (OHM) factors on the process of methanogenesis and increasing the methane yield in biogas during the processing of organic waste have been studied.

3 The optimal values of the considered factors for increasing the methane yield in the composition of biogas during the processing of organic waste are determined.

The thesis is framed on the pages of a computer text, consists of an introduction (5 p.), three chapters - a literature review (6 p.), materials and methods of research (6 p.), research results (18 p.) and conclusions (18 p.), includes figures, tables. The bibliography contains references to sources of scientific literature.

## МАЗМҰНЫ

	КІРІСПЕ	5
1	Әдебиеттік шолу	6
1.1	Тамақ өнеркәсібінің органикалық қалдықтары	6
1.2	Органикалық қалдықтарды анаэробты өңдеу	7
1.3	Метаногендік микроорганизмдердің биологиясы	9
2	Зерттеу материалдары мен әдістемесі	11
3	Зерттеу нәтижелері	12
	ҚОРЫТЫНДЫ ЖӘНЕ ТҰЖЫРЫМ	18
	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	19

## КІРІСПЕ

Өзектілігі. Қазақстанда жаңартылатын энергияны дамыту өзекті, өйткені органикалық қалдықтарды кәдеге жарату мәселелерін шешу, біріншіден, қалдықтарды жинақтау процестерін, екіншіден, Қазақстанның әуе бассейніне метанның бақылаусыз шығуын және сол арқылы парниктік газдардың бөлуіне азайтуға ықпал етеді.

Мақсат. Органикалық қалдықтарды өңдеу және биогаз өндіру кезіндегі метаногенез процестерін математикалық жоспарлау және оңтайландыру.

Міндеттері :

1. Органикалық қалдықтарды өңдеу кезінде метаногенездің ерекшеліктерін зерттеу бойынша теориялық зерттеулер жүргізу.

2. Органикалық қалдықтарды өңдеу кезінде метаногенез процесіне және биогаз құрамындағы метан шығымдылығын арттыруға абиотикалық (ылғалдылық, температура, рН) және биотикалық факторларды (ЖМС) зерттеу.

3. Математикалық жоспарлау әдісімен органикалық қалдықтарды өңдеу кезінде биогаз құрамындағы метанның шығымдылығын арттыруға қарастырылатын факторлардың оңтайлы мәндерін айқындау.

Зерттеу нысаны: органикалық қалдықтар.

Зерттеу тақырыбы: органикалық қалдықтарды қайта өңдеудің анаэробты әдісі

Ғылыми жаңалық. Абиотикалық (ылғалдылық, температура, рН) және биотикалық факторларды (ЖМС) қарастырған кезде біз математикалық жоспарлау әдісімен метаногенез процесін және жергілікті берілген жағдай үшін биогазды метанмен байыту процесін зерттедік.

Практикалық маңыздылығы. Өндірістік жағдайда математикалық модельдеу әдістерін қолдану биогаздағы метанның мөлшерін арттыру мақсатында органикалық қалдықтардың анаэробты биологиялық ыдырау процесін жеңілдетуге және оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Құрылымы мен көлемі. Дипломдық жұмыс компьютерлік мәтін беттерінде ресімделген, кіріспеден ( 5 бет), үш тараудан тұрады - әдебиеттерге шолу ( 6 бет), зерттеу материалдары мен әдістемесі ( 6 бет), зерттеу нәтижелері (18 бет) және қорытынды ( 18 бет), суреттерді, кестелерді қамтиды. Библиографияда ғылыми әдебиеттер көздеріне сілтемелер бар.

## 1 Әдебиетке шолу

### 1.1 Тамақ өнеркәсібінің органикалық қалдықтары

Азық-түлік қалдықтарының жаһандық әлемдік өндірісі алдағы онжылдықта 33 % - ға артады деп күтілуде. Ағымдағы жылдық тамақ қалдықтары шамамен 1,6 миллиард тоннаны құрайды, бұл шамамен 1,2 триллион доллар шығынды қамтиды. Оның 50–60% - ы тұтынудан кейінгі қалдықтардан тұрады [1]. Жаһандық ауқымда азық-түлік өндірісі жердің 43 %, тұщы судың үштен екісін пайдаланады және парниктік газдар шығарындыларының 26 % өндіреді [2].

Өнеркәсіпте дамыған Азия ретінде белгіленген Жапония, Қытай және Корея республикасы жыл сайын 357 миллион тонна тамақ қалдықтарын шығарады. Одан кейін оңтүстік және Оңтүстік-Шығыс Азия (275 миллион тонна) және Еуропа (205 миллион тонна) келеді. Сахараның оңтүстігіндегі Африка, Латын Америкасы, Солтүстік Америка және Океания, Солтүстік Африка және батыс және Орталық Азия елдерінде жыл сайын сәйкесінше 100-ден 130 миллион тоннаға дейін азық-түлік шығарылады [3].

Азық-түлік және органикалық қалдықтардың азық-түлік өндірісі мен тұтыну жүйелерін жақсартуда құнды, бірақ үнемі назардан тыс қалған қолданылуы бар [4]. Тамақ қалдықтары негізінен органикалық қосылыстар мен минералды тұздардан тұрады, оның ішінде негізгі қоректік заттардың (негізінен фосфор, азот және калий) айтарлықтай концентрациясы бар [5]. Азық-түлік қалдықтарында әдетте лигноцеллюлоза және/немесе гемицеллюлоза қосылыстарын қоса алғанда, күрделі көмірсулардың айтарлықтай үлесі бар (жалпы қатты заттардың 25–30 %) [6,7].

Кең ауқымы дүкендердегі, мейрамханалардағы және дүкендердегі тамақ қалдықтарын реттеу механизмдері қалдықты барынша арттырады, демек, бөлшек сауда / тұтыну орындарындағы ағынды ағын-азық-түлік дүкендері; тым үлкен қаптапалар; дүкен жабылғанға дейін жаңа, дайын тағамның болуы; бүлінген тауарлар, ескірген жарнамалық тауарлар және танымал емес тауарлар; көтерме жеңілдіктер; импульсті сатып алуды ынталандыратын сауда және жаппай жарнамалық акциялар (біреуін сатып алыңыз, біреуін тегін алыңыз) тұтынушыларды тұтынуы екіталай өнімдерді сатып алуға сендіреді [8].

Азық-түлік қалдықтарын азайту біз жейтін өнімдерді өндіру үшін пайдаланатын ресурстарды қысқарту үшін үлкен әлеуетке ие және үш есе пайда әкеледі:

- а) ол азық-түлікті адам тұтынуы үшін сақтайды;
- б) фермерлерге, компанияларға және тұтынушыларға ақша үнемдеуге көмектеседі; және
- в) азық-түлік өндірісі мен тұтыну қоршаған ортаға әсерін азайтады [9].

Тамақ қалдықтары қалдықтардың түріне байланысты екі түрге бөлінеді:

1. Алдын алуға болмайтын тамақ қалдықтары: мерзімі өткен немесе бүлінген ингредиенттер, ет қалдықтары сияқты тамақ қалдықтары (мысалы,

кесілгеннен кейін пісірілген ветчинаның ұштары, кесілгеннен кейін ет кесектері) және көкөністерді кесу (мысалы, қызанақ ұштары, сыртқы салат жапырақтары, картоп қабығы, көкөніс сабақтары);

2. Алдын алуға болатын тамақ қалдықтары: азық-түлікті аз білікті өңдеуден туындайтын қабық немесе сынық қалдықтары сияқты тамақ қалдықтары; банкеттер, іс-шаралар және тамақтандыру үшін артық өндіріс; нашар тапсырыс беру процедуралары; өнімдердің бұзылуына әкелетін өнімдерді ауыстырудың дұрыс емес тәжірибесі; және тамақ қалдықтары мен азық-түлік қалдықтарына әкелетін нашар түгендеу жүйелері пайдаланылмаған макарон сияқты [10].

Азық-түлік қалдықтары нөлдік құнды материал болып саналатындықтан, тамақ қалдықтарынан алынған липидтер мен көмірсулар арқылы биоотын өндірудің үнемді коммерциялық әдістерін жасауға болады [11].

## **1.2 Органикалық қалдықтарды анаэробты өндеу**

Метаногенез ұзақ тізбекті органикалық молекулалардың кең ауқымын карапайым қосылыстарға айналдыратын микроорганизмдердің әртүрлі популяциясынан тұратын күрделі ыдырау процесі, нәтижесінде ыдырайтын көміртекті материалдың метан мен көмірқышқыл газына толық айналуына әкеледі [12].

Көбінесе төрт фазаға бөлінеді:

I Фаза, гидролиз, фильтраттағы органикалық заттардың жоғары концентрациясымен, полигонның аэробты жағдайымен және қалдықтардағы оңай биологиялық ыдырайтын органикалық материалдардың жоғары құрамымен сипатталады. Гидролиздің соңғы өнімдері-қышқыл фазасының субстраттары болып табылатын моносахаридтер, амин қышқылдары, ұзын тізбекті органикалық қышқылдар және глицерин;

II Фаза, қышқыл, сонымен қатар фильтраттағы Органикалық заттардың көп болуымен, қысқа тізбекті органикалық қышқылдардың қарқынды түзілуімен, рН төмендеуімен (5,5–6,5) және анықталмаған деңгейде метанның түзілуімен сипатталады;

III Фаза, рН жоғарылауымен, тотығу-тотықсыздану потенциалының теріс мәндерге дейін төмендеуімен, фильтраттағы ұшпа май қышқылдары мен органикалық заттардың концентрациясының төмендеуімен, сульфаттардың сульфиттерге дейін тотықсыздануымен, метанның қарқынды түзілуімен сипатталатын тұрақсыз метан болады;

IV Фаза метанға төзімді фильтраттағы органикалық заттардың салыстырмалы түрде тұрақты төмен концентрациясымен, тотығу-тотықсыздану потенциалының өсуімен, биогаз өндірісінің төмендеуімен және биогаздағы метан құрамымен салыстырмалы түрде тұрақты, жоғары деңгейде - шамамен 60-70 % сипатталады. Әрбір оқшауланған фазаның ұзақтығы гидролиз жылдамдығына, қышқыл және метан фазаларына байланысты, олар алдыңғы

фазалардағы субстрат өндірісінің жылдамдығына байланысты болып келеді [13]. Биогаз өндірісінің алғашқы үш кезеңін микроорганизмдердің кең ауқымы жүзеге асыра алады, бірақ соңғы кезең, метаногенез, процестің шектеуші кезеңі болып табылады, өйткені оны тек метаногендер деп аталатын архейлер тобы жүзеге асырады. Сонымен қатар, метаногенез үш негізгі жолмен жүруі мүмкін: (i) гидрогенотрофты (көмірқышқыл газы мен сутектен), (ii) ацетокластикалық (ацетаттан) және (iii) метилотрофты (метанол және метиламиндер сияқты метилденген қосылыстардан) [14].

Метаногенез процесі үшін әдетте екі негізгі температура режимі қолданылады мезофильді (37°C) және термофильді (55°C). Мезофильді бактериялар әлдеқайда төзімді және қоршаған орта параметрлерінің, соның ішінде температураның жоғары өзгеруіне шыдай алады. Мезофильді ашыту төмен температурада жүретіндіктен, бұл температуралық режимде ашыту ұзақ экспозицияны қажет етеді және аз биогаз береді; алайда, мезофильді плиталар тұрақтылығына және термофильді плиталармен салыстырғанда жылу энергиясының төмен шығындарына байланысты көп қолданыста болып қалады [15,16]. Анаэробты процесс-бұл оңтайлы жұмыс жағдайларының кез-келген ауытқуы процеске әсер етуі немесе тіпті оны тежеуі мүмкін сезімтал процесс. Осыған байланысты және тұрақты жағдайларды қамтамасыз ету үшін ацидогендік және метаногендік микроорганизмдер арасындағы тепе-теңдікке қол жеткізу немесе оны сақтау маңызды. Әдетте анаэробты процестің тежелуі метанның стационарлық шығу жылдамдығының төмендеуімен дәлелденеді [17].

Биогаз өндіру үшін барлық қолда бар қалдықтарды жинау және оларды анаэробты өңдеу парниктік газдар шығарындыларын 3,29–4,36 миллиард тонна көмірқышқыл газының баламасына азайтуы мүмкін, бұл жаңартылатын биоэнергия өндірісінен, дақылдарды жағудан, шығарындылардан жалтарудан жаһандық парниктік газдар шығарындыларының 10–13% сәйкес келеді басқару, полигон газы, ормандарды кесу және тыңайтқыштар шығарындыларына сәйкес келеді. Дүние жүзінде қазіргі уақытта қол жетімді және қалпына келтірілген шикізаттан энергия өндіру әлеуеті 10 100-ден 14 000 терра-ватт-сағатқа дейін ауытқиды [18]. Еуропа биогазды өндіру және пайдалану бойынша әлемдік көшбасшы болып табылады, 2018 жылы 17 783 зауыт жылына шамамен 30 миллиард текше метр (жаһандық көлемнің жартысынан көбі) және биогаздан алынған 63 504 гига-ватт-сағат электр энергиясын өндірді [19].

Тұрмыстық және басқа органикалық қалдықтардың анаэробты ашытуы-күрделі органикалық заттарды метан мен CO<sub>2</sub> қоспасынан тұратын биогазға (жаңартылатын энергия көзі) және органикалық тыңайтқыш ретінде пайдалануға болатын тұрақтандырылған қоспаға айналдырудың микробтық процесі. Метаногендік микробтар қауымдастығының әртүрлі топтары күрделі органикалық қосылыстарды сутегі, формиат, ацетат, қысқа тізбекті ұшпа май қышқылдары, этанол және т.б. сияқты қарапайым ашыту өнімдеріне дейін

ыдыратады. Синтрофиялық бактериялар мен метаногендік архейлер метаногенез сатысында, анаэробты процестің соңғы сатысы [20].

### 1.3 Метаногендік микроорганизмдердің биологиясы

Осы уақытқа дейін метаногенез процесіне жауапты көптеген микроорганизмдер анықталды және сипатталды. Метанның ең танымал биологиялық өндірушілері *Euryarchaeota* филумының ішінде ұсынылған:

- methanobacteriales;
- methanocellales;
- methanococcales;
- methanomicrobiales;
- methanopyrales;
- methanosarcinales;
- methanomassiliicoccales[21].

Метаногендік микробтық қауымдастықтардың күрделі құрамдағы органикалық ластанған ағынды сулардың, жартылай сұйық немесе қатты коммуналдық қалдықтардың анаэробты деградациясында метанның түзілуі микроорганизмдердің кемінде төрт тобы қатысатын көп сатылы процесс болып табылады. Бұл гидролитикалық бактериялар (полисахаролитикалық, протеолитикалық және липолитикалық), ферментативті бактериялар, ацетогендік бактериялар (синтрофты, Протонды төмендететін) және метаногендік архейлер; бұл топтар арасында күрделі трофикалық өзара әрекеттесулер бар [22].

Метаногендік архейлер жер бетінде кең таралған және негізгі көміртегі метаболиті ретінде көп мөлшерде метан ( $\text{CH}_4$ ) шығарады [23].

Анаэробты-бұл бірқатар биохимиялық процестерден тұратын және жүйелі түрде өзара байланысты микроорганизмдер, негізінен бактериялар мен архей домендері [24], сондай-ақ аз дәрежеде эукариоттар мен вирустардың өте аз пайызы арқылы жүретін күрделі процесс [25].

Метан, маңызды парниктік газ, көмірқышқыл газымен салыстырғанда 100 жыл ішінде жаһандық жылыну әлеуеті 34 есе жоғары [26].

Анаэробты микроорганизмдер жер бетіндегі барлық дерлік ортада кең таралған. Олар өзендердің, көлдердің және мұхиттардың су шөгінділері, топырақ шөгінділері, жануарлардың асқазан-ішек жолдары сияқты анаэробты экологиялық тауашалардың табиғи тұрғындары. Олардың энергетикалық метаболизмі молекулалық оттегі ( $\text{O}_2$ ) жоқ ортаға бейімделген. Мұндай ортада субстратты шектейтін жағдайлар жиі кездеседі [27].

Метаноген дақылдары  $4^\circ\text{C}$  температурада жақсы сақталады, бірақ  $-20^\circ\text{C}$  температурада мұздату нашарлайды [28]. Көптеген микроорганизмдер сияқты, метаногендер де кептіруге оңай төзеді, атмосферадан оқшаулауға болатын споралар түзеді [29].

Метаногендер алты санатқа бөлінеді:

- methanobacteriales;
- methanococcales;
- methanomicrobiales;
- methanosarcinales;
- methanocellales;
- methanopyrales [30].

Ондаған жылдар бойы белгілі метаногендік архейлер тек Euryarchaeota типіне жататын. Онда метаногендер алдымен бес бұйрыққа бөлінді, атап айтқанда Methanococcales, Methanobacteriales, Methanosarcinales, Methanomicrobiales және methanopyrales [31,32,33]. 2008–2012 жылдар аралығында Euryarchaeota типіне метаногендердің тағы екі отряды, атап айтқанда Methanocellales [34] және methanomassiliicoccales [35,36] қосылды. Метаногендерді полигондар, метантенктер немесе биогаз қондырғылары сияқты табиғи емес мекендеу орындарында да табуға болады. Онда микробтар қауымдастығы субстратқа байланысты өзгереді. Биогаз қондырғыларында күрделі полимерлердің кант пен аминқышқылдарына гидролизі, содан кейін ашыту және ацетогенез метаногенез үшін субстрат ретінде ацетат,  $H_2$  және  $CO_2$  түзіледі. Осылайша, мезофильді биогаз қондырғыларында гидрогенотрофты және ацетикластикалық метаногендер басым болады, оларда метаносаркина (ацетаттың төмен концентрациясындағы Метанотрикс) немесе Метанокуллеус түрлері жиі басым болады [37,38,39,40]

Метанотрофтар табиғи ортада метанның тотығуында маңызды рөл атқарады. Олар геотермиялық жолмен және метаногендік бактериялардың анаэробты метаболизмінен алынған метанды тотықтырады, осылайша полигондардан, сулы-батпақты жерлерден және күріш алқаптарынан атмосфераға метанның бөлінуін азайтады. Метанотрофтар сонымен қатар атмосферада болатын метанның өте төмен концентрациясын (көлемі бойынша он 2 миллион) тотықтыра алады. Сондықтан олар жаһандық метан циклінің негізгі көзі болып табылады [41]. Метан-климаттың өзгеруіне ықпал ететін парниктік газдардың бірі. Метан айналымына қатысатын мамандандырылған микробтар, метанотрофтар, ғаламдық көміртегі циклінің бөлігі ретінде метанның биогеохимиялық айналымына жауап береді. Осылайша, метанотрофтар атмосферада метанның одан да жоғары деңгейге жетуіне жол бермейтін табиғи сүзгі болып табылады Метан үш негізгі функционалды түрін тұтынады:

- 1) анаэробты метан тотықтырғыш архейлер;
- 2) анаэробты метан тотықтырғыш бактериялар;
- 3) аэробты метан тотықтырғыш бактериялар (Proteobacteria және Verrucomicrobia) [42].



## 2 Зерттеу материалдары мен әдістемесі

Зерттеу нысаны: органикалық қалдықтар.

Зерттеу пәні: тамақ өнеркәсібінің органикалық қалдықтарын өңдеу кезінде метанмен байытылған биогаз өндірудегі метаногенез процесі.

Зерттеу әдістері. Есептерді шешу зерттеудің теориялық және есептік әдістерін орындауға негізделген.

Зерттеу әдістемесі экспериментті математикалық жоспарлау әдісін қолдануға негізделген. Қойылған міндеттерді шешуде пайдаланылған формулалар мен теңдеулер төменде келтірілген:

Сызықтық емес бірнеше корреляция формуласы [48, 49]:

$$R = \sqrt{1 - \frac{(N-1) \times \sum (Y_s - Y_m)^2}{(N-K-1) \times \sum (Y_s - Y_{cp})^2}} \quad (1)$$

Белгілеулер:

$N$  – сипатталған нүктелер саны,

$K$  – жұмыс істеп тұрған факторлар саны,

$Y_s$  – тәжірбиелік нәтиже,

$Y_m$  – теориялық (есептік) нәтиже,

$Y_{cp}$  – орташа эксперименталды мән.

Егер шарт орындалса, нақтылық мына формуламен анықталады:

$$t_R = \frac{R \times \sqrt{N-K-1}}{1-R^2} > 2 \quad (2)$$

$N = 5, K = 1$ .

Жуықтау функциясын таңдау ең кіші квадраттар әдісін қолдануға негізделген.

Түзу сызық теңдеуі:

$$Y = a + b \times X. \quad (3)$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}, \quad a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n} \quad (4)$$

Жеке функциялардың маңыздылығын анықтағаннан кейін жалпыланған теңдеу алынады:  $Y_{об}$ :

$$Y_{об} = \frac{Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_n}{Y_{cp}^{n-1}} \quad (5)$$

Белгілеулер: ,

$Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$  – жеке функциялар,

$Y_{cp}$  – жалпыланған функцияның барлық есептелген мәндерінің жалпы орташа мәні.

### 3 Зерттеу нәтижелері

Анаэробты биореакторлардағы микроорганизмдердің құрамына көптеген факторлар әсер етеді. Бұл реактордың дизайны, температурасы, рН, С:N қатынасы, ағынды сулардың құрамы, органикалық заттардың жүктелу жылдамдығы, гидравликалық ұстау уақыты және араластыру [43].

Температура анаэробты ашытуда үлкен рөл атқарады, өйткені ол микробтық экожүйелерді құрайды, сондықтан анаэробты ашыту процесінің тұрақтылығын реттейді [44].

рН кез келген ерітіндідегі Н (сутегі) концентрациясын анықтайды. Көптеген микроорганизмдер бейтарап рН диапазонын жақсы көреді. Метаногендер рН-ға өте сезімтал және олардың максималды өнімділігі үшін шамамен жетеуін қалайды. Гидролитикалық және ацидогендік бактериялар рН 5,5-тен 6,5-ке дейін жақсы жұмыс істейді. Екінші жағынан, ацидогендік бактериялар рН-ның кең ауқымына төзімді [45].

#### 1 Кесте – Факторлық кеңістік аймағы (биореактор үшін)

Факторлар: мелассаға қосу	Факторлар деңгейі				
	1	2	3	4	5
X <sub>1</sub> – ч (КОЕ/г), асылдандыру деңгейі	4	5	6	7	8
X <sub>2</sub> – Ылғалдылық, %	40	50	60	70	80
X <sub>3</sub> – рН	7,5	7,8	8,2	8,5	8,8
X <sub>4</sub> – Температура, °С	55	57	59	61	63

Бағалау критерийі метан өндірісі болып табылады, оның құрамындағы биогаз эксперименттік мәліметтер массивінен анықталады (заттың өзгеру дәрежесі - Y, %).

#### 2 Кесте – Экспериментті жоспарлаудың төрт факторлы матрицасы

Тәжірибе №	Пятифакторная матрица планирования эксперимента								CH <sub>4</sub> , %
	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>		X <sub>4</sub>		
	Деңгейі	Мәні	Деңгейі	Мәні	Деңгейі	Мәні	Деңгейі	Мәні	
1	1	4	1	40	5	8,8	1	55	60
2	1	4	2	50	4	8,5	3	59	61
3	1	4	3	60	3	8,2	2	57	66
4	1	4	4	70	2	7,8	4	61	67
5	1	4	5	80	1	7,5	5	63	73
6	2	5	1	40	5	8,8	1	55	68
7	2	5	2	50	4	8,5	3	59	62

8	2	5	3	60	3	8,2	2	57	71
9	2	5	4	70	2	7,8	4	61	63
10	2	5	5	80	1	7,5	5	63	72
11	3	6	1	40	5	8,8	1	55	64
12	3	6	2	50	4	8,5	3	59	70
13	3	6	3	60	3	8,2	2	57	74
14	3	6	4	70	2	7,8	4	61	65
15	3	6	5	80	1	7,5	5	63	75
16	4	7	1	40	5	8,8	1	55	69
17	4	7	2	50	4	8,5	3	59	76
18	4	7	3	60	3	8,2	2	57	80
19	4	7	4	70	2	7,8	4	61	78
20	4	7	5	80	1	7,5	5	63	60
21	5	8	1	40	5	8,8	1	55	77
22	5	8	2	50	4	8,5	3	59	61
23	5	8	3	60	3	8,2	2	57	66
24	5	8	4	70	2	7,8	4	61	72
25	5	8	5	80	1	7,5	5	63	65

Біз нақты функциялардың эксперименттік мәндерін есептейміз (3-кесте).

### 3 Кесте – Жеке функциялардың эксперименттік мәндерін есептеу

Фактор №	Деңгейі					Орташа мәні
	1	2	3	4	5	
X <sub>1</sub>	65,4	67,2	69,6	72,6	68,2	68,6
X <sub>2</sub>	67,6	66	71,4	69	69	68,6
X <sub>3</sub>	69	69	71,4	66	67,6	68,6
X <sub>4</sub>	67,6	71,4	66	69	69	68,6

### 4 Кесте – Зерттелетін функциялардың есептік мәндері

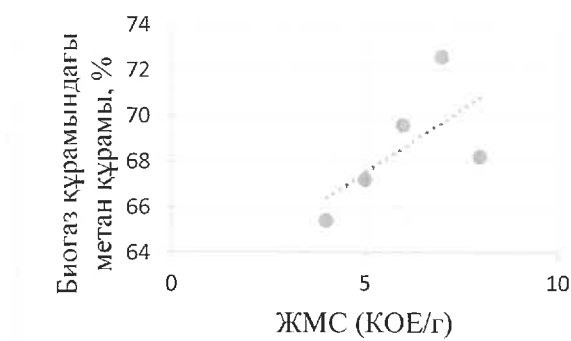
Тәжірибе №	X <sub>1</sub>				X <sub>2</sub>			
	X	Y	X <sup>2</sup>	XY	X	Y	X <sup>2</sup>	XY
	4	65,4	16	261,6	40	67,6	1600	2704
	5	67,2	25	336	50	66	2500	3300
	6	69,6	36	417,6	60	71,4	3600	4284
	7	72,6	49	508,6	70	69	4900	4830
	8	68,2	64	545,6	80	69	6400	5520
<b>Σ</b>	30	343	190	2069,4	300	343	19000	20638

Тәжірибе №	X <sub>3</sub>				X <sub>4</sub>			
	X	Y	X <sup>2</sup>	XY	X	Y	X <sup>2</sup>	XY
	7,5	69	56,25	517,5	55	67,6	3025	3718
	7,8	69	60,84	538,2	57	71,4	3249	4069,8
	8,2	71,4	67,24	585,48	59	66	3481	3894
	8,5	66	72,25	561	61	69	3721	4209
	8,8	67,6	77,44	594,88	63	69	3969	4347
<b>Σ</b>	40,8	343	334,02	2797,06	295	343	17445	20237,8

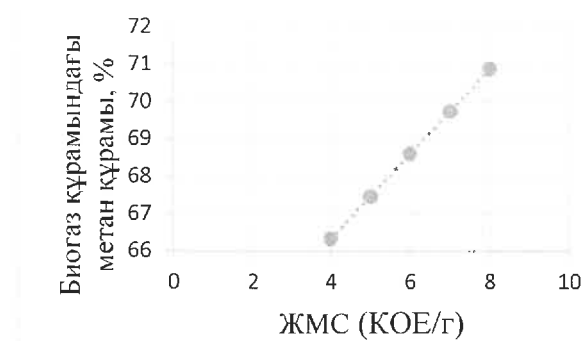
Кесте 4.1. Зерттелетін функцияларды жуықтау

Формулар	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
$b = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{n\sum X^2 - (\sum X)^2}$	1,14	0,058	-1,6	0,02
$a = \frac{\sum Y - b\sum X}{n}$	61,76	65,12	81,656	67,42
$Y = a + b \times X$	$Y_1 = 61,76 + 1,14 \cdot X_1$	$Y_2 = 65,12 + 0,058 \cdot X_2$	$Y_3 = 81,656 - 1,6 \cdot X_3$	$Y_4 = 67,42 + 0,02 \cdot X_4$
Жеке функциялардың теориялық мәндері:				
$Y_{n1} = a + b \cdot X_{n1}$	66,32	67,44	69,656	68,52
$Y_{n2} = a + b \cdot X_{n2}$	67,46	68,02	69,176	68,56
$Y_{n3} = a + b \cdot X_{n3}$	68,6	68,6	68,536	68,6
$Y_{n4} = a + b \cdot X_{n4}$	69,74	69,18	68,056	68,64
$Y_{n5} = a + b \cdot X_{n5}$	70,88	69,76	67,576	68,68

Біз үлгіні нүктелік графиктерге анықтаймыз. Экспериментте зерттелген X<sub>1</sub> – X<sub>4</sub> факторларының әсерін есептейміз



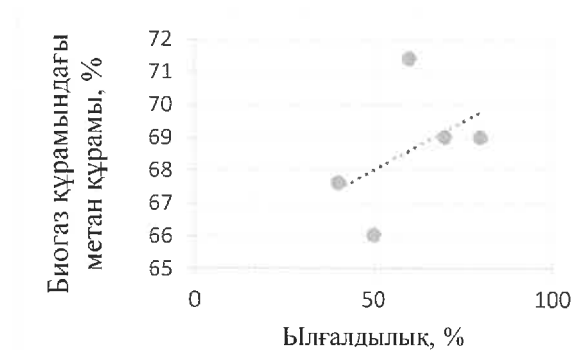
а) жеке функциялардың эксперименттік мәндері



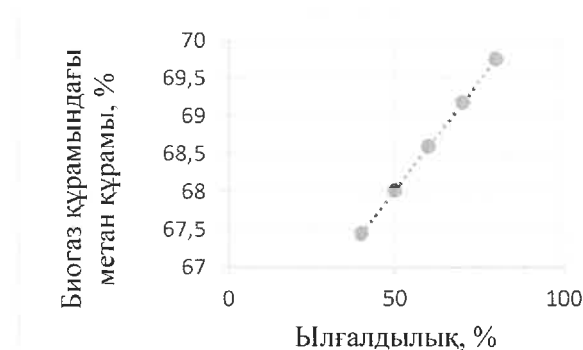
б) жеке функциялардың теориялық мәндері

Сурет 1– Биогаздағы метан құрамының ЖМС -ға тәуелділігі (КОЕ/ г)

Сурет 1 көріп отырғаныңыздай, биогаз құрамындағы метанның жоғары шығымдылығын қамтамасыз етудің оңтайлы шешімі ЖМС (КОЕ/ г) болып табылады. Бұл жағдайда биогаз құрамындағы метан мөлшері максималды болады (72.6 %).



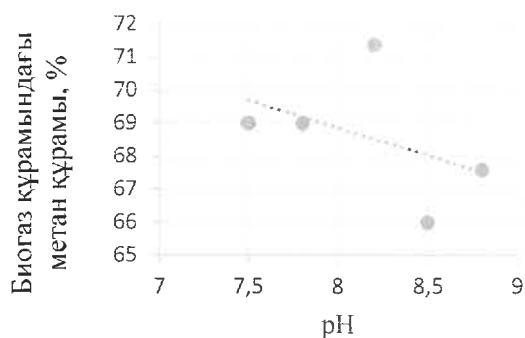
а) жеке функциялардың эксперименттік мәндері



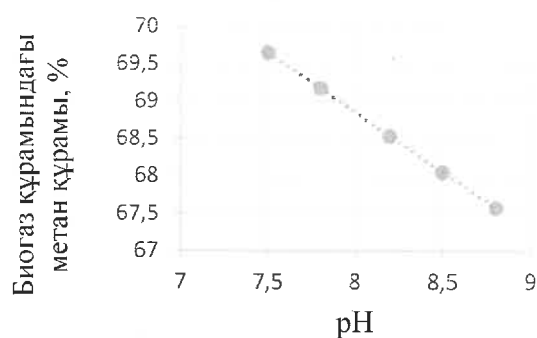
б) жеке функциялардың теориялық мәндері

Сурет 2 – Биогаздағы метанның ылғалдылыққа тәуелділігі

Сурет 2 (а) көріп отырғаныңыздай, ылғалдылықтың оңтайлы шешімі 60% деңгейіндегі көрсеткіш болып табылады. Бұл жағдайда биогаз құрамындағы метан мөлшері максималды болады (71.4 %).



а) жеке функциялардың эксперименттік мәндері

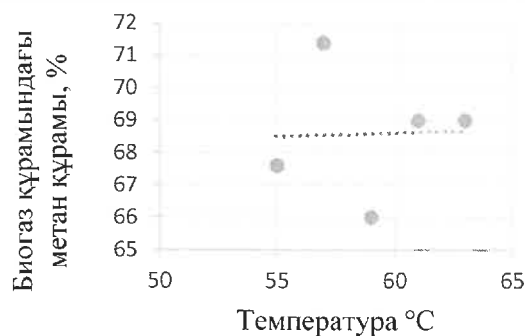


б) жеке функциялардың теориялық мәндері

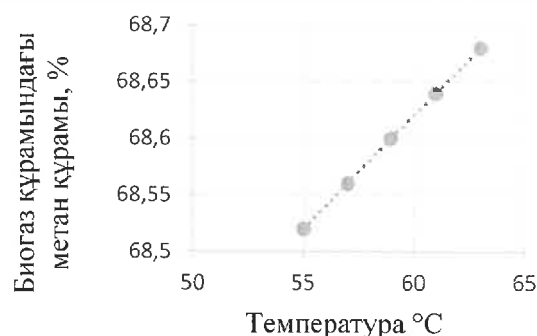
Сурет 3 – Биогаздағы метанның рН-ға тәуелділігі

Сурет 3 көріп отырғанымыздай, органикалық жүктеме жылдамдығының оңтайлы шешімі-рН 7,5, мұнда метан шығымы максимумға жетеді (69%).

Тамақ қалдықтарының анаэробты ашытуы рН бақылауында буфер ретінде әрекет ететін натрий бикарбонаты ( $\text{NaHCO}_3$ ) сияқты сілтілі агентті қосуды қажет етеді, бұл ұшпа май қышқылдарының жиналуын болдырмайды, метан түзілуін арттырады. Сілтілендіргіштің тиісті концентрациясы субстраттың метан түзу қабілетіне тікелей әсер етеді. [46]



а) жеке функциялардың эксперименттік мәндері



б) жеке функциялардың теориялық мәндері

Сурет 4 – Биогаздағы метанның температураға тәуелділігі

4-суреттен көріп отырғаныңыздай, биогаз құрамындағы метанның жоғары шығымдылығын қамтамасыз етудің оңтайлы шешімі  $57^\circ\text{C}$  температурада. бұл жағдайда биогаз құрамындағы метанның мөлшері максималды болады (71,4 %)

Температура метаногенездің тиімділігіне негізінен микробтық қауымдастықтың құрамын, белсенділігін және әртүрлілігін қалыптастыру, биохимиялық конверсия жолдарының өзгеруі және биохимиялық реакциялардың термодинамикалық қызғанышы арқылы әсер етеді. Ашыту процесі мезофильді ( $35\text{--}40^\circ\text{C}$ ) немесе термофильді ( $55\text{--}60^\circ\text{C}$ ) плиталарда жүзеге асырылуы мүмкін. Термофильді ашыту ыдырау жылдамдығын арттырады және қатты заттардың ыдырауына және метанның пайда болуына әкеледі [47].

Жалпыланған теңдеуді талдау көрсеткендей, тамақ өнеркәсібінің органикалық қалдықтарын өңдеу және берілген технологиялық параметрлерде биогаз өндіру кезінде ЖМС 4–8 (КОЕ/ г), ылғалдылық 40–80 %, рН 7,5–8,8, температура 55–63°C биогаз құрамындағы метанның максималды мөлшері келесі мәндер аралығында болады: 66,32–72,6 %.

## ҚОРЫТЫНДЫ ЖӘНЕ ТҰЖЫРЫМ

Метаногенез – бұл биологиялық ыдырайтын органикалық қалдықтар микробтардың әсерінен ауа болмаған кезде ыдырайтын процесс, содан кейін биогаз бен дигестаттар түзіледі, оларды сәйкесінше энергия мен топырақты ұрықтандыру үшін пайдалануға болады. Бұл биореакторларда болу уақыты шамамен 20–40 күн болатын баяу процесс [48].

Анаэробты ашыту процесі оттегі болмаған кезде Органикалық заттардың микробтық ыдырауы болып табылады, ол липидтер, ақуыздар және көмірсулар сияқты жоғары молекулалық субстраттардың глюкоза, амин қышқылдары және май қышқылдары сияқты еритін және кішірек молекулаларға гидролизінен басталады. Кейіннен ұсақ молекулалық және еритін органикалық заттар ұшпа май қышқылдарына (ҰМК) дейін ыдырайды және биогазды өндіру үшін одан әрі өңделеді [49].

Тұжырым:

1. Органикалық қалдықтарды өңдеу кезінде метаногенездің ерекшеліктерін зерттеу бойынша теориялық зерттеулер жүргізілді. 49 әдеби ғылыми дереккөз зерттелді.

2. Органикалық қалдықтарды өңдеу кезінде метаногенез процесіне және биогаз құрамындағы метан шығымдылығын арттыруға абиотикалық (ылғалдылық, температура, рН) және биотикалық (ЖМС) факторлар зерттелді.

3. Органикалық қалдықтарды өңдеу кезінде биогаз құрамындағы метанның шығымдылығын арттыруға қарастырылатын факторлардың оңтайлы мәндері айқындалды.

Қорытынды.

Осылайша, талдау көрсеткендей, тамақ өнеркәсібінің органикалық қалдықтарын өңдеу және биогаз өндірісі берілген технологиялық параметрлерде ЖМС 4–8 КОЕ/ г, ылғалдылық 40–80%, рН 7,5-8,8, температура 55–63°C биогаз құрамындағы метанның максималды мөлшері келесі мәндер аралығында болады: 66,32–72,6 %.



## Пайдаланган әдебиеттер тізімі

1 Fatemeh Hassan Pour, Yassir Taha Makkawi, A review of post-consumption food waste management and its potentials for biofuel production, *Energy Reports*, Volume 7, 2021, P.7759-7784, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.10.119>.

2 Poore, J, and T. Nemecek. 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360 (6392): 987–992.

3 Gustavsson J, Cederberg C, Sonesson U, Otterdijk RV, Meybeck A: Global food losses and food waste. Extent, causes and prevention. 2011, Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 38 Gustavsson J, Cederberg C, Sonesson U, Emanuelsson A: The methodology of the FOA study: global food losses and food waste-extent, causes and prevention. 2013, Gothenburg, Sweden: The Swedish Institute for Food and Biotechnology.

4 Grace O'Connor, Shifting the value of food and organic waste management in the food services sector in Brisbane, Australia, *Resources, Conservation & Recycling Advances*, Volume 12, 2021, 200052, ISSN 2667-3789, <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2021.200052>.

5 Sagarika Panigrahi, Brajesh K. Dubey, A critical review on operating parameters and strategies to improve the biogas yield from anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste, *Renewable Energy*, Volume 143, 2019, P.779-797, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.040>.

6 Nzeteu, C.O, Trego, A.C., Abram, F. et al. Reproducible, high-yielding, biological caproate production from food waste using a single-phase anaerobic reactor system. *Biotechnol Biofuels* 11, 108 2018 <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1101-4>.

7 H. Fisgativa, A. Tremier, P. Dabert Characterizing the variability of food waste quality: a need for efficient valorisation through anaerobic digestion *Waste Manag.*, 50 (2016), pp. 264-274.

8 Buzby, J, & Hyman, J. (2012). Total and per capita value of food loss in the United States. *Food Policy*, 37, 561–570.

9 Principato, L., Di Leo, A., Mattia, G. et al. The next step in sustainable dining: the restaurant food waste map for the management of food waste. *Ital. J. Mark.* 2021, 189–207 (2021). <https://doi.org/10.1007/s43039-021-00032-x>.

10 Derqui, B. and Fernandez, V. (2017), “The opportunity of tracking food waste in school canteens: Guidelines for self-assessment”, *Waste Management*, Vol. 69, pp. 431-444, doi: 10.1016/j.wasman.2017.07.030

11 Karmee, S.K., Lin, C.S.K. Valorisation of food waste to biofuel: current trends and technological challenges. *Sustain Chem Process* 2, 22 (2014). <https://doi.org/10.1186/s40508-014-0022-1>.

12 Owhondah, R.O., Walker, M., Ma, L. et al. Assessment and parameter identification of simplified models to describe the kinetics of semi-continuous biomethane production from anaerobic digestion of green and food waste. *Bioprocess Biosyst Eng* 39, 977–992 (2016) <https://doi.org/10.1007/s00449-016-1577-x>.

- 13 Suchowska-Kisielewicz, M., Jedrczak, A., Sadecka, Z. *et al.* Effect of aerobic pretreatment of waste on the rate of anaerobic treatment processes. *J Mater Cycles Waste Manag* 15, 138–145 (2013) <https://doi.org/10.1007/s10163-012-0100-y>.
- 14 Pyzik, A., Cieczkowska, M., Krawczyk, P.S. *et al.* Comparative analysis of deep sequenced methanogenic communities: identification of microorganisms responsible for methane production. *Microb Cell Fact* 17, 197 (2018). <https://doi.org/10.1186/s12934-018-1043-3>.
- 15 Yang, Liangcheng & Xu, Fuqing & Ge, Xumeng & Li, Yebo, 2015. "Challenges and strategies for solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, vol. 44(C), p.824-834.
- 16 Mata-Alvarez, J. *Fundamentals of the Anaerobic Digestion Process Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*; IWA Publishing Company: London, UK, 2002.
- 17 Sayara, T.; Sánchez, A. A Review on Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Wastes: Pretreatments and Operational Conditions. *Appl. Sci.* 2019, 9, 4655. <https://doi.org/10.3390/app9214655>.
- 18 Jain S, et al. (2019) Global potential of biogas. The World Biogas Association. [https://www.worldbiogasassociation.org/wpcontent/uploads/2019/09/WBA-globalreport-56ppa4\\_digital-Sept-2019.pdf](https://www.worldbiogasassociation.org/wpcontent/uploads/2019/09/WBA-globalreport-56ppa4_digital-Sept-2019.pdf), IEA (2018a) World Energy Outlook, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018a>.
- 19 Lai C-Y et al (2021) Hydrogen-driven microbial biogas upgrading: advances, challenges and solutions. *Water Res* 197:117120. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117120>.
- 20 Nozhevnikova, A.N., Russkova, Y.I., Litt, Y.V. *et al.* Syntrophy and Interspecies Electron Transfer in Methanogenic Microbial Communities. *Microbiology* 89, 129–147 (2020). <https://doi.org/10.1134/S0026261720020101>.
- 21 Borrel G, O'Toole PW, Harris HM, Peyret P, Brugere JF, Gribaldo S. Phylogenomic data support a seventh order of methylotrophic methanogens and provide insights into the evolution of methanogenesis. *Genome Biol Evol.* 2013;5:1769–80. Liu Y, Whitman WB. Metabolic, phylogenetic, and ecological diversity of the methanogenic archaea. *Ann N Y Acad Sci.* 2008;1125:171–89.
- 22 Kallistova, A.Y., Goel, G. & Nozhevnikova, A.N. Microbial diversity of methanogenic communities in the systems for anaerobic treatment of organic waste. *Microbiology* 83, 462–483 (2014). <https://doi.org/10.1134/S0026261714050142>
- 23 Dong, X., Chen, Z. Psychrotolerant methanogenic archaea: Diversity and cold adaptation mechanisms. *Sci. China Life Sci.* 55, 415–421 (2012). <https://doi.org/10.1007/s11427-012-4320-0>
- 24 Cabezas, A.; de Araujo, J.C.; Callejas, C.; Galès, A.; Hamelin, J.; Marone, A.; Sousa, D.Z.; Trabaly, E.; Etchebehere, C. How to use molecular biology tools for the study of the anaerobic digestion process? *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 2015, 14, 555–593

- 25 Batstone, D.J.; Viridis, B. The role of anaerobic digestion in the emerging energy economy. *Curr. Opin. Biotechnol.* 2014, 27, 142–149
- 26 Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F. M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., et al. (2013). “Anthropogenic and natural radiative forcing,” in *Proceedings of the Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge: Cambridge University Press)
- 27 Lever MA, Rogers KL, Lloyd KG, Overmann J, Schink B, Thauer RK, Hoehler TM, Jørgensen BB (2015) Life under extreme energy limitation: a synthesis of laboratory- and field-based investigations. *FEMS Microbiol Rev* 39:688–728
- 28 Castro H., Queirolo M., Quevedo M., Muxi L. Preservation methods for the storage of anaerobic sludges // *Biotechnol. Lett.* - 2002. - V. 24, No 4. - P. 329-333
- 29 Ekpenyong K.I., Arawo J.D.E., Melaiye A., Ekwenchi M.M., Abdullahi H.A. Biogas production potential of unextracted, nutrient-rich elephant-grass lignocellulose // *Fuel.* -1995. - V. 74, No 7. - P. 1080-1082
- 30 De Macario, E.C. Taxonomy of Methanogens. In *Bergey’s Manual of Systematic Bacteriology*, 2nd ed.; Springer: New York, NY, USA, 2008. –275p.
- 31 Balch WE, Fox GE, Magrum LJ, Woese CR, Wolfe RS (1979) Methanogens: reevaluation of a unique biological group. *Microbiol Rev* 43:260–296
- 32 Stadtman TC, Barker HA (1951) Studies on the methane fermentation. X. A new formate-decomposing bacterium, *Methanococcus vannielii*. *J Bacteriol* 62:269–280
- 33 Kurr M, Huber R, König H, Jannasch HW, Fricke H, Trincone A, Kristjansson JK, Stetter KO (1991) *Methanopyrus kandleri*, gen. and sp. nov. represents a novel group of hyperthermophilic methanogens, growing at 110 °C. *Arch Microbiol* 156:239–247
- 34 Sakai S, Imachi H, Hanada S, Ohashi A, Harada H, Kamagata Y (2008) *Methanocella paludicola* gen. nov., sp. nov., a methane-producing archaeon, the first isolate of the lineage “Rice Cluster I”, and proposal of the new archaeal order *Methanocellales* ord. nov. *Int J Syst Evol Microbiol* 58:929–936
- 35 Dridi B, Fardeau M-L, Ollivier B, Raoult D, Drancourt M (2012) *Methanomassiliicoccus luminyensis* gen. nov., sp. nov., a methanogenic archaeon isolated from human faeces. *Int J Syst Evol Microbiol* 62:1902–1907
- 36 Iino T, Tamaki H, Tamazawa S, Ueno Y, Ohkuma M, Suzuki K-I, Igarashi Y, Haruta S (2013) Candidatus *Methanogranum caenicola*: a novel methanogen from the anaerobic digested sludge, and proposal of *Methanomassiliicoccaceae* fam. nov. and *Methanomassiliicoccales* ord. nov., for a methanogenic lineage of the class *Thermoplasmata*. *Microbes Environ* 28:244–250
- 37 Kern T, Theiss J, Röske K, Rother M (2016b) Assessment of hydrogen metabolism in commercial anaerobic digesters. *Appl Microbiol Biotechnol* 100:4699–4710

38 Karakashev D, Batstone DJ, Angelidaki I (2005) Influence of environmental conditions on methanogenic compositions in anaerobic biogas reactors. *Appl Environ Microbiol* 71:331–338

39 Lucas R, Kuchenbuch A, Fetzer I, Harms H, Kleinstüber S (2015) Long-term monitoring reveals stable and remarkably similar microbial communities in parallel full-scale biogas reactors digesting energy crops. *FEMS Microbiol Ecol* 91:3

40 Sundberg C, Al-Soud WA, Larsson M, Alm E, Yekta SS, Svensson BH, Sorensen SJ, Karlsson A (2013) 454 pyrosequencing analyses of bacterial and archaeal richness in 21 full-scale biogas digesters. *FEMS Microbiol Ecol* 85:612–626 <https://amb-express.springeropen.com/articles/10.1186/s13568-017-0531-x>

41 Encyclopedia of Microbiology Third Edition 2009 978-0-12-373944-5

42 Marina G. Kalyuzhnaya, David Collins, Ludmila Chistoserdova, *Microbial Cycling of Methane*, Editor(s): Thomas M. Schmidt, *Encyclopedia of Microbiology (Fourth Edition)*, Academic Press, 2019, P. 115-124, ISBN 9780128117378, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.90670-8>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128096338906708>)

43 Gerardi, M.H. *The Microbiology of Anaerobic Digesters; Wastewater Microbiology Series*; Wiley-Interscience: Hoboken, NJ, USA, 2003; ISBN 978-0-471-20693-4.

44 Erqi Nie, Pinjing He, Hua Zhang, Liping Hao, Liming Shao, Fan Lü, How does temperature regulate anaerobic digestion?, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 150, 2021, 111453, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111453>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403212100736X>)

45 Hagos, K, Zong, J, Li, D, Liu, C, Lu, X. Anaerobic co-digestion process for biogas production: progress, challenges and perspectives. *Renew Sustain Energy Rev* 2017;76:1485–96.

46 Rebeca Beltrão Valença, Liliana Andréa dos Santos, Alessandra Lee Barbosa Firmo, Leandro César Santos da Silva, Talita Vasconcelos de Lucena, André Felipe de Melo Sales Santos, José Fernando Thomé Jucá, Influence of sodium bicarbonate (NaHCO<sub>3</sub>) on the methane generation potential of organic food waste, *Journal of Cleaner Production*, Volume 317, 2021, 128390, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128390>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621026032>)

47 Labatut RA, Angenent LT, Scott NR. Conventional mesophilic vs. thermophilic anaerobic digestion: a trade-off between performance and stability? *Water Res.* 2014;53:249–58

48 Wainaina S, Lukitawesa-Awasthi MK, Taherzadeh MJ. Bioengineering of anaerobic digestion for volatile fatty acids, hydrogen or methane production: a critical review. *Bioengineered.* 2019;10(1):437–58.

49 Mohanakrishnan Logan, Masihullah Safi, Piet Lens, Chettiyappan Visvanathan, Investigating the performance of internet of things based anaerobic digestion of food waste, *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 127,

2019, P 277-287, ISSN 0957-5820, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.05.025>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582019304239>).



## Metadane

Tytuł

**Органикалық қалдықтарды өңдеу және биогаз өндіру кезіндегі метаногенез процестерін математикалық жоспарлау және оңтайландыру.docx**

Autorzy

**Зейнова Әдемі Ерғазықызы**

Promotor






**Гуля Джамалова**

Jednostka organizacyjna

**ИГИНГД**

## Alerty

W tej sekcji znajdują się statystyki występowania w tekście zabiegów edytorskich, które mogą mieć na celu zaburzenie wyników analizy. Niewidoczne dla osoby zapoznającej się z treścią pracy na wydruku lub w pliku, wpływają na frazy porównywane podczas analizy tekstu (poprzez celowe błędy pisowni) w celu ukrycia zapożyczeń lub obniżenia wyników w Raporcie podobieństwa. Należy ocenić, czy zaznaczone wystąpienia wynikają z uzasadnionego formatowania tekstu (nadwrażliwość systemu), czy są celową manipulacją.

Znaki z innego alfabetu		14
Rozstrzelenia		0
Mikrospacje		0
Ukryte znaki		0
Parafrazy		20

## Metryka podobieństw

Należy pamiętać, że wysokie wartości Współczynników nie oznaczają automatycznie plagiatu. Raport powinien zostać przeanalizowany przez kompetentną / upoważnioną osobę. Wyniki są uważane za wymagające szczegółowej analizy, jeśli WP 1 wynosi ponad 50%, a WP 2 ponad 5%.



**25**  
Długość frazy dla WP 2



**3638**  
Liczba słów



**28095**  
Liczba znaków

## Aktywne listy podobieństw

Uwagi wymagają szczególnie fragmenty, które zostały włączone do WP 2 (zaznaczone pogrubieniem). Użyj linku "Pokaż w tekście" i zobacz, czy są to krótkie frazy rozproszone w dokumencie (przypadkowe podobieństwa), skupione wokół siebie (parafraza) lub obszerne fragmenty bez wskazania źródła (tzw. "kryptocytaty").

### 10 najdłuższych fragmentów

Kolor w tekście

LP	TYTUŁ LUB ADRES URL ŹRÓDŁA (NAZWA BAZY)	IDENTYCZNYCH SŁÓW (FRAGMENTÓW)	
1	<a href="https://stud.kz/referat/show/115800">https://stud.kz/referat/show/115800</a>	32	0.88 %
2	<a href="https://stud.kz/referat/show/115800">https://stud.kz/referat/show/115800</a>	28	0.77 %
3	<a href="https://official.satbayev.university/download/document/25672/2022_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%90%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D1%81%20%D0%90%D0%B9%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B0.pdf">https://official.satbayev.university/download/document/25672/2022_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%90%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D1%81%20%D0%90%D0%B9%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B0.pdf</a>	20	0.55 %

4	Алматы қаласынан шыққан төгінді суларды ауыр металдардан биологиялық тазалау жолдары 6/3/2021 Satbayev University (ИХиБТ)	19	0.52 %
5	<a href="https://official.satbayev.university/download/document/25672/2022_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%90%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D1%81%20%D0%90%D0%B9%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B0.pdf">https://official.satbayev.university/download/document/25672/2022_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%90%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D1%81%20%D0%90%D0%B9%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B0.pdf</a>	17	0.47 %
6	Алматы қаласынан шыққан төгінді суларды ауыр металдардан биологиялық тазалау жолдары 6/3/2021 Satbayev University (ИХиБТ)	17	0.47 %
7	<a href="https://official.satbayev.university/download/document/25672/2022_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%90%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D1%81%20%D0%90%D0%B9%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B0.pdf">https://official.satbayev.university/download/document/25672/2022_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%90%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D1%81%20%D0%90%D0%B9%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B0.pdf</a>	16	0.44 %
8	<a href="https://official.satbayev.university/download/document/25672/2022_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%90%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D1%81%20%D0%90%D0%B9%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B0.pdf">https://official.satbayev.university/download/document/25672/2022_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%90%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D1%81%20%D0%90%D0%B9%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B0.pdf</a>	14	0.38 %
9	<a href="http://www.dslib.net/kardiologia/rasprostranennost-osnovnyh-faktorov-riska-ishemicheskoy-bolezni-serdca-i.html">http://www.dslib.net/kardiologia/rasprostranennost-osnovnyh-faktorov-riska-ishemicheskoy-bolezni-serdca-i.html</a>	13	0.36 %
10	<a href="https://official.satbayev.university/download/document/15221/2020_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D3%98%D0%B6%D1%96%D0%BC%D0%B1%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D0%B0%20%D0%93%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D0%B7.pdf">https://official.satbayev.university/download/document/15221/2020_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D3%98%D0%B6%D1%96%D0%BC%D0%B1%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D0%B0%20%D0%93%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D0%B7.pdf</a>	12	0.33 %

#### z bazy RefBooks (0.00 %)

LP	TYTUŁ	IDENTYCZNYCH SŁÓW (FRAGMENTÓW)
----	-------	--------------------------------

#### z bazy macierzystej (1.29 %)

LP	TYTUŁ	IDENTYCZNYCH SŁÓW (FRAGMENTÓW)	
1	Алматы қаласынан шыққан төгінді суларды ауыр металдардан биологиялық тазалау жолдары 6/3/2021 Satbayev University (ИХиБТ)	47 (3)	1.29 %

#### z Programu Wymiany Baz (0.00 %)

LP	TYTUŁ	IDENTYCZNYCH SŁÓW (FRAGMENTÓW)
----	-------	--------------------------------

#### z Internetu (7.17 %)

LP	ADRES URL ŹRÓDŁA	IDENTYCZNYCH SŁÓW (FRAGMENTÓW)	
1	<a href="https://official.satbayev.university/download/document/25672/2022_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%90%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D1%81%20%D0%90%D0%B9%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B0.pdf">https://official.satbayev.university/download/document/25672/2022_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D0%90%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D1%81%20%D0%90%D0%B9%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B0.pdf</a>	150 (15)	4.12 %
2	<a href="https://stud.kz/referat/show/115800">https://stud.kz/referat/show/115800</a>	60 (2)	1.65 %
3	<a href="https://official.satbayev.university/download/document/15221/2020_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D3%98%D0%B6%D1%96%D0%BC%D0%B1%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D0%B0%20%D0%93%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D0%B7.pdf">https://official.satbayev.university/download/document/15221/2020_%D0%91%D0%90%D0%9A_%D3%98%D0%B6%D1%96%D0%BC%D0%B1%D0%B0%D0%B5%D0%B2%D0%B0%20%D0%93%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D0%B7.pdf</a>	32 (3)	0.88 %
4	<a href="http://www.dslib.net/kardiologia/rasprostranennost-osnovnyh-faktorov-riska-ishemicheskoy-bolezni-serdca-i.html">http://www.dslib.net/kardiologia/rasprostranennost-osnovnyh-faktorov-riska-ishemicheskoy-bolezni-serdca-i.html</a>	13 (1)	0.36 %

**Lista zaakceptowanych fragmentów (brak zaakceptowanych fragmentów)**

---

LP	TREŚĆ	IDENTYCZNYCH SŁÓW (FRAGMENTÓW)
----	-------	--------------------------------